

УДК 574:004.942



К.В. Носов¹, Ю.Г. Беспалов¹, Е.В. Высоцкая², А.Н. Страшненко², Е.С. Иванова²

¹ХНУ им. В.Н. Каразина, г. Харьков, Украина, k-n@nm.ru

²ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, evisotska@ukr.net

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКОСМОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕСТОВЫХ МИКРОЭКОСИСТЕМ

Данная статья посвящена определению системных колориметрических параметров микрокосмов, обеспечивающих повышение колориметрической однородности поверхности, в составе тестовых микроэкоосистем. С использованием дискретных моделей динамических систем была получена идеализированная траектория системы, отражающая множество неповторяющихся комбинаций колориметрических параметров поверхности микрокосма. Эффективность использования найденного системного колориметрического параметра была проверена обработкой полученного изображения брюхоногого легочного моллюска, характер которого является признаком наличия или отсутствия токсичности. Это является важным фактором повышения эффективности применения тестовых микроэкоосистем в реальных ситуациях — за счет устранения маскирующего эффекта пестроты поверхности микрокосма на колориметрические признаки токсичности.

МИКРОКОСМ, МИКРОЭКОСИСТЕМА, КОЛОРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЯ, ТРАЕКТОРИЯ СИСТЕМЫ, ДИСКРЕТНЫЕ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ, БАЗА ДАННЫХ

К.В. Носов, Ю.Г. Беспалов, О.В. Высоцка, А.М. Страшненко, Е.С. Иванова. Моделювання колориметричних параметрів мікрокосмів для покращення режимів експлуатації тестових мікроекоосистем. Дана стаття присвячена визначенню системних колориметричних параметрів мікрокосмів, що забезпечують підвищення колориметричної однорідності поверхні, в складі тестових мікроекоосистем. З використанням дискретних моделей динамічних систем була отримана ідеалізована траекторія системи, що відображає безліч неповторюваних комбінацій колориметричних параметрів поверхні мікрокосму. Ефективність використання знайденого системного колориметричного параметру була перевірена обробкою отриманого зображення червоногого легеневого моллюска, характер якого є ознакою наявності або відсутності токсичності. Це є важливим чинником підвищення ефективності застосування тестових мікроекоосистем в реальних ситуаціях — за рахунок усунення маскуючого ефекту строкатості поверхні мікрокосму на колориметричні ознаки токсичності.

МИКРОКОСМ, МИКРОЭКОСИСТЕМА, КОЛОРОМЕТРИЧНИ ПАРАМЕТРИ, ОБРОБКА ЗОБРАЖЕННЯ, ТРАЕКТОРИЯ СИСТЕМИ, ДИСКРЕТНИ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ, БАЗА ДАНИХ

K.V. Nosov, Y.G. Bepalov, O.V. Vysotska, H.M. Strashnenko, E.S. Ivanova. Modeling the colorimetric parameters of microcosms to improve the operation modes of test microecosystems. The article is devoted to the determination of the microcosms system colorimetric parameters, providing an increase in the colorimetric uniformity of the surface, as part of the test micro ecosystems. An idealized system trajectory was obtained with the help of discrete models of dynamic systems. It reflects many non-recurring combinations of colorimetric parameters of the microcosm surface. The efficiency of using the found system colorimetric parameter was verified by image processing of the gastropod pulmonary mollusk, the nature of which is a sign of the presence or absence of toxicity. This is an important factor to increase the effectiveness of the test microecosystems use in real situations — by eliminating the masking effect of the microcosm surface diversity on colorimetric signs of toxicity.

MICROCOSM, MICROECOSYSTEM, COLOROMETRIC PARAMETERS, IMAGE PROCESSING, SYSTEM TRAJECTORY, DISCRETE MODELS OF DYNAMIC SYSTEMS, DATABASE

Введение

В экстремальных условиях техногенных катастроф серьезные угрозы биобезопасности могут создавать локальные очаги токсичности, возникшие в результате разрушения хранилищ токсических веществ и загрязнения ими отдельных участков местности. Важным условием элиминации указанных угроз биобезопасности является своевременное определение локализации этих очагов. Это обстоятельство определяет эффективность применения в таких ситуациях методов

биотестирования токсичности. Весьма эффективными могут оказаться дистанционные методы, предполагающие использование тестовых микроэкоосистем (ТМЭС), совместимых с относительно мало затратными и простыми в эксплуатации модификациями легких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Соответствующие методы и устройства, защищенные патентами Украины на полезную модель [1], в настоящее время разработаны в рамках тем, которые совместно выполнялись ХНУ, ХНУРЭ и ХАИ. Эти методы предполагают

дистанционную регистрацию путем анализа колориметрических параметров (КП) изображений ТМЭС, полученных путем цифрового фотографирования с борта вышеуказанных модификаций БПЛА.

Для такой регистрации может создать трудности наличие рядом с ТМЭС, или даже на ее отдельных конструктивных элементах значимых для определения КП количеств зеленого хлорофилла и других растительных пигментов. Эти пигменты могут, в частности, находится в биопленке, образующей фитобентос и фитоперифитон на мелководье в местах приземления ТМЭС, сброшенных с БПЛА. Могут они также находиться в биопленке, образовавшейся на контейнере ТМЭС. Указанная биопленка является сообществом микроводорослей и бактерий, являющейся весьма близким аналогом так называемых лабораторных микрокосмов, давно используемых в исследованиях в области фундаментальной экологии. В связи с этим мы далее по тексту будем называть эту биопленку «микрокосмом». Колориметрические эффекты, позволяющие дистанционно регистрировать наличие токсичности, во многих случаях будут регистрироваться цифровой фотографией на фоне указанных микрокосмов. Исходные КП микрокосмов, непосредственно получаемые компьютерной обработкой компонентов RGB-модели цифровой фотографии, будут обладать значительной вариабельностью разных сочетаний яркости зеленого и красного. Речь идет о сочетаниях, обусловленных разным содержанием зеленого хлорофилла и желто-оранжевых растительных пигментов на разных стадиях сукцессии микрокосма. В связи с тем, что разные участки поверхности микрокосма могут находиться на разных стадиях его сукцессии, может иметь место значительная пестрота этой поверхности. Возникает проблема устранения маскирующего действия пестрого фона микрокосма на фиксируемые путем цифрового фотографирования ТМЭС колориметрического проявления токсичности. Упрощению решения этой проблемы будет способствовать нахождение обладающих сравнительно малой вариабельностью своих значений системных колориметрических параметров (СКП) микрокосмов. Речь идет о малой вариабельности на всех стадиях сукцессии микрокосма. Соответственно для улучшения режимов эксплуатации ТМЭС нужно формализованное описание смены сочетаний значений КП на разных стадиях сукцессии микрокосма. В экстремальных ситуациях техногенных катастроф возникает задача создания такого формализованного описания на основе ограниченного, имеющего лакуны фактического материала. Эта задача может быть решена с использованием имеющего мировую новизну созданного с участием авторов этой работы в ХНУ и

нашедшего уже применение для формализованного описания систем разной природы [2-4] нового класса математических моделей, получившего название дискретных моделей динамических систем (ДМДС). На основе структуры корреляционных отношений между компонентами системы ДМДС имеется возможность дать формализованное описание структуры межкомпонентных отношений обусловленных взаимными позитивными и негативными влияниями. Эта структура дополняется внутри компонентными негативными и позитивными симметричными отношениями. На основе указанной структуры межкомпонентных и внутрикомпонентных отношений для определенных начальных условий может быть построена идеализированная траектория системы (ИТС), которая отражает смену состояний системы. Речь идет о состояниях, которым соответствуют определенные, неповторяющиеся комбинации значений компонентов. В нашем случае это комбинации значений КП микрокосма. Моделирование с помощью ДМДС представленного в виде ИТС цикла смены значений КП микрокосма позволит найти СКП, значения которых относительно стабильны на всех стадиях его, микрокосма, сукцессии.

Актуальность решения этой задачи обусловлена практической значимостью решения проблемы улучшения режимов эксплуатации ТМЭС. Речь идет об улучшении режимов эксплуатации за счет элиминации маскирующего колориметрические эффекты токсичности влияния фона, образованного цветом микрокосма. Такое моделирование и является предметом настоящей работы.

1. Анализ последних достижений

Микрокосм представляет собой частный случай биологического сообщества, колориметрические параметры которого определяются содержанием хлорофилла и других растительных пигментов. Речь идет о колориметрических параметрах, которые могут быть зарегистрированы дистанционно.

В работе [5] описываются закономерности колориметрических параметров плавней в устье Дуная. Предполагается, что эти массивы тростника и других высших водных растений могут выполнять функции очистных сооружений, элиминирующих результаты загрязнения источников водоснабжения. Речь идет о функциях очистных сооружений работающих по схеме биоплато [6, 7]. Дистанционный контроль указанных массивов высших водных растений необходим для устранения угрозы вторичного загрязнения воды вследствие отмирания и разложения биомассы высших водных растений.

В работе [8] представлены результаты математического моделирования пространственного распределения колориметрических параметров

сообществ плавающего растения *Pistia stratiotes*. Это тропическое растение внезапно дало вспышку биомассы в водоемах и водотоках умеренной зоны. Такое явление наблюдалось и в Украине и могло стать источником серьезных угроз разных видов водопотребления. С другой стороны, массивы *Pistia stratiotes* могут быть использованы в составе оригинальных конструкций биоплато. Эти конструкции обладают в частности тем достоинством, что существенно облегчает технологии удаления избыточной биомассы *Pistia stratiotes*. Отмирание и разложение этой избыточной биомассы может стать источником вторичного загрязнения воды. Эта угроза биобезопасности водопотребления обуславливает необходимость в указанных технологиях устранения избыточной биомассы. Дополнениям к этим технологиям должны служить методы контроля состояния сообществ этих плавающих растений, которые позволяют своевременно прогнозировать опасность вторичного загрязнения. При размещении таких сооружений на больших площадях труднодоступной местности наилучшими способами указанного контроля являются дистанционные (аэрокосмические). Такими сравнительно малозатратными и простыми в эксплуатации методами являются предусматривающие цифровую фотосъемку с борта легких дронов. Целью описанного в работе [8] математического моделирования является разработка методов такого дистанционного контроля. Речь идет о контроле, использующем колориметрические характеристики, которые могут быть получены с помощью цифровой фотоаппаратуры, входящей в комплект поставки относительно дешевых модификаций легких дронов.

В работе [9] описывается использование спутниковых методов для дистанционной оценки состояния соизмеримых по относительной простоте с микрокосмами сообществ морского фитопланктона и их влияние на оптические параметры. В данной работе речь идет о фитопланктонных сообществах Черного моря. Но следует заметить, что фитопланктон большинства водоемов представляет собой сравнительно простое биологическое сообщество. Законы, которым подчиняются изменения и пространственное распределение колориметрических параметров этого сообщества весьма близки к таковым микрокосма о котором идет речь в настоящей статье.

В работе [10] отмечается значение этих методов для мониторинга локализации в Балтийском море скоплений токсических цианобактерий, которые создают серьезные экологические проблемы. Отмечается, что для этого используется весьма дорогостоящая и сложная в эксплуатации аппаратура. И вместе с тем есть не получившие удовлетворительного решения проблемы, связанные с

необходимостью различения спектральных параметров токсических цианобактерий и других представителей фитопланктона.

В работе [11] для дистанционного обнаружения по колориметрическим параметрам скоплений токсических цианобактерий в Балтийском море предлагается другой подход. Он предполагает разбиение изображения акватории на сегменты, которые, в свою очередь, разбиваются на микро-сегменты. В каждом микро-сегменте, путем компьютерного анализа компонентов RGB-модели его изображения, определяются средние значения красной, зеленой и синей составляющих пикселя (далее по тексту обозначаемые как R, G, B). Затем определяются закономерности, которым подчиняется пространственное распределение в сегменте, микро-сегментов с разными комбинациями значений R, G, B. Эти закономерности в указанной работе [11] определяются с использованием обладающего мировой новизной оригинального класса математических моделей, получившего название дескриптивных бинарных моделей (ДБМ). Далее, проводят сравнительный анализ указанных закономерностей, полученных для скоплений токсических цианобактерий и свободных от них участков акватории. С использованием результатов такого анализа находят СКП, позволяющие повысить контрастность данных в условных цветах изображений этих скоплений на фоне воды.

В настоящей работе нахождение сохраняющих относительную стабильность значений СКП микрокосма на всех стадиях его сукцессии, осуществляется похожим образом. Одно из отличий заключается в использовании ДМДС вместо ДБМ. Это позволяет найти закономерности пространственного распределения на поверхности микрокосма разных комбинаций КП на основе сравнительно небольшого по объему фактического материала. Затем эти закономерности используются для нахождения СКП, позволяющего устранить пестроту поверхности микрокосма, маскирующую колориметрические признаки токсичности. Таким образом, целью исследования является нахождение, с использованием ДМДС, системных колориметрических параметров, обеспечивающих повышение колориметрической однородности поверхности, микрокосмов, в составе ТМЭС; эта колориметрическая однородность должна способствовать эффективности эксплуатации ТМЭС – за счет устранения маскирующего эффекта пестроты поверхности микрокосма на колориметрические признаки токсичности.

2. Результаты моделирования колориметрических параметров микрокосмов

Для нахождения системных колориметрических параметров микрокосма были выполнены

следующие этапы:

– построение ИТС, отражающей множество неповторяющихся комбинаций значений КП поверхности микрокосма. Необходимое для построения этой ИТС математическое моделирование с применением ДМДС осуществляется на основе компьютерного анализа компонентов RGB-модели цифровой фотографии поверхности микрокосма [12];

– формулирование, путем анализа вида ИТС, рабочей гипотезы относительно СКП, сохраняющихся, на протяжении всего представленного в ИТС цикла изменений значений КП, относительную стабильность своих значений;

– проверка указанной рабочей гипотезы с использованием специально созданной базы данных (БД). Такая проверка включает следующие операции. Внесение в БД значения того или иного СКП для каждого сегмента изображения вместе с данными о других полях значений – отражающих расположение этого сегмента на изображении;

– построение обработанного изображения ТМЭС с обозначением условными цветами сегментов с разными значениями СКП. Визуальная оценка однородности КП изображения микрокосма, на фоне которого идентифицируются другие элементы ТМЭС и их состояния. Речь идет о состояниях, связанных с наличием или отсутствием токсичности.

В результате настоящей работы, с использованием ДМДС, была получена ИТС, отражающая множество неповторяющихся комбинаций КП поверхности микрокосма. Речь идет о КП, которые отражают разные аспекты биопродукционных процессов на разных стадиях сукцессии микрокосма. Значения этих КП вычислялись на основании полученных компьютерной обработкой значений вышеописанных R, G, B параметров цифровой фотографии поверхности микрокосма:

– $R/(R+G+B)$ – отражает содержание в микрокосме желто-оранжевых растительных пигментов, преобладание которых характерно для старых и мертвых клеток фотосинтезирующих микроорганизмов в составе биопленки;

– $G/(R+G+B)$ – отражает содержание в микрокосме зеленого пигмента хлорофилла, преобладание которого характерно для молодых клеток активно фотосинтезирующих микроорганизмов в составе биопленки;

– $(R+G)/(R+G+B)$ – отражает суммарное содержание в микрокосме биомассы молодых, живых, старых и мертвых клеток фотосинтезирующих микроорганизмов в составе биопленки;

– R/G – «желто-зеленый индекс», который отражает пигментное разнообразие в микрокосме, связанное с его стабильностью.

Вид указанной ИТС представлен в табл. 1

Таблица 1

Вид ИТС, отражающей множество комбинаций значений КП на разных стадиях сукцессии микрокосма

Номера условных шагов по времени	1	2	3	4	5	6	7	8
R/G	1	1	1	1	2	2	2	2
$R/(R+G+B)$	1	1	2	3	3	3	2	1
$G/(R+G+B)$	2	2	2	2	1	1	1	1
$(R+G)/(R+G+B)$	2	3	3	3	2	1	1	1

В табл. 1 столбцы представлены условные шаги по времени. Строки – значения КП в условных баллах (1 – низкое, 2 – среднее, 3 – высокое). Жирным шрифтом обозначены значения КП, максимальные для данной таблицы.

Проводился анализ вида ИТС для нахождения комбинаций значений КП, которые могут сыграть роль сравнительно стабильных СКП. При обработке изображения ТМЭС с использованием таких СКП можно минимизировать пестроту поверхности микрокосма. Поверхность микрокосма является фоном, на котором наблюдаются, колориметрические эффекты наличия или отсутствия токсичности. Пестрота этого фона может маскировать указанные колориметрические эффекты. Соответственно – устранение пестроты фона будет способствовать их демаскировке.

Рассматривалась возможность получения СКП с указанным эффектом путем использования отношений значений определенных пар КП. В этом смысле представляют интерес пары КП, максимальные значения которых редко наблюдаются (или – вообще не наблюдаются) в ИТС на одних и тех же условных шагах по времени. Можно высказать рабочую гипотезу, в соответствии с которой суммы, произведения и частные от деления значений этих пар КП будут относительно стабильны. Соответственно – эти отношения значений КП могут быть использованы как СКП. Речь идет об СКП, использование которых при обработке изображений ТМЭС может снизить пестроту фона, образуемого поверхностью микрокосма. А уменьшение этой пестроты позволит снизить эффект маскировки ею колориметрических токсичности.

Анализ вида ИТС, представленной в табл. 1, позволяет выделить следующие пары:

- $R/(R+G+B)$ и $G/(R+G+B)$;
- $R/(R+G+B)$ и $(R+G)/(R+G+B)$;
- $R/(R+G+B)$ и R/G ;
- $G/(R+G+B)$ и $(R+G)/(R+G+B)$;
- $G/(R+G+B)$ и R/G ;
- $(R+G)/(R+G+B)$ и R/G ;

Можно выдвинуть рабочую гипотезу, в соответствии с которой будут относительно невелики показатели вариабельности суммы, произведения и

частных от деления измеренных для сегментов поверхности микрокосма значений, входящих в эти пары КП.

В рамках настоящей работы эта гипотеза проверялась применительно к паре КП, включающей $R/(R+G+B)$ и $G/(R+G+B)$. Эта пара была выбрана в связи с наибольшей простотой интерпретации ее биологического и оптико-физического смысла. Следует отметить, что в каждой строке Таблицы 1, нормализация значений КП в условных баллах дается в пределах своего интервала значений. Данные в условных баллах значения одних КП не могут быть получены в результате простых арифметических действий над другими КП.

Предполагалось, что вариабельность значений СКП, полученных делением суммы $(R+G)$ на сумму $(R+G+B)$, а затем на произведение $R \cdot G$ для изображения микрокосма будет относительно невелика. В качестве меры вариабельности использовалось среднее квадратичное отклонение. Его значение определялось для выборки значений, измеренных для множества микросегментов каждого сегмента изображения. Результаты такого определения значения среднего квадратичного отклонения заносились в БД. В запись, относящуюся к конкретному сегменту, вместе с этими результатами вносились данные полей значений, несущие информацию о расположении сегмента на изображении. При обработке изображения значения среднего квадратичного отклонения указанного СКП на сегменте обозначалось определенным условным цветом. Результаты такой обработки изображения ТМЭС представлены на рис. 1, 2, 3.

На рис. 1 на фоне микрокосма биопленки прозрачного контейнера ТМЭС изображен брюхоногий легочный моллюск, положение которого в средней части контейнера - показатель отсутствия острой токсичности. Это положение может быть зафиксировано визуально или по изменению оптических параметров средней части контейнера.

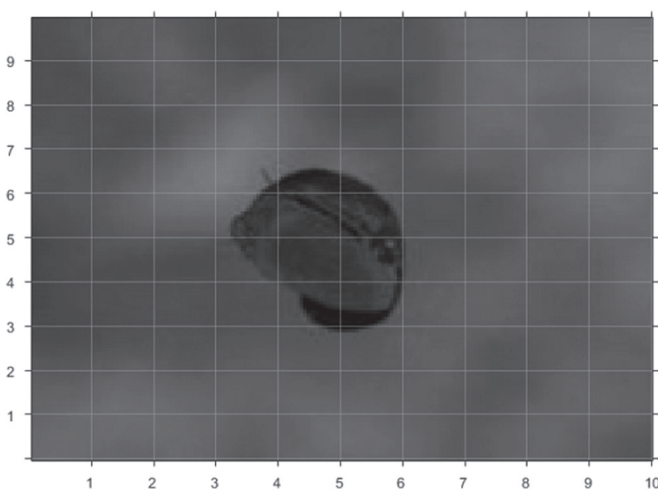


Рис. 1. Исходный вид цифровой фотографии ТМЭС

Как видно из сравнения рис. 2 и 3, обработка с применением полученного в результате настоящей работы СКП повышает колориметрическую однородность изображения микрокосма. Вследствие этого пестрота образованного им фона не маскирует изображение элемента ТМЭС (брюхоногого легочного моллюска), характер которого является признаком наличия или отсутствия токсичности. Это является важным фактором повышения эффективности применения ТМЭС в реальных ситуациях.

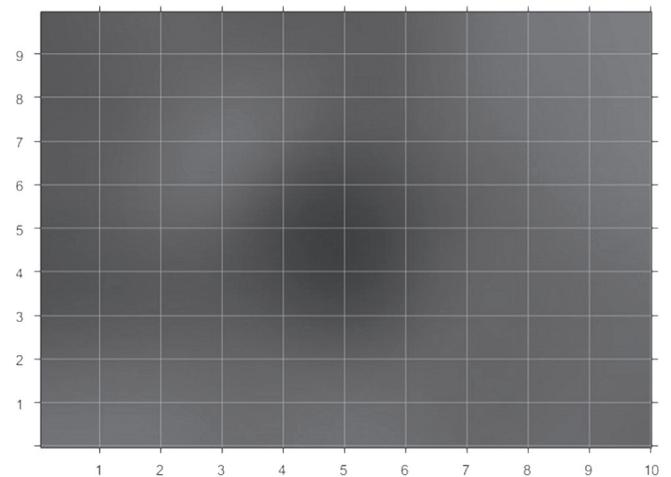


Рис. 2. Результат компьютерной обработки, искусственно уменьшающей контрастность изображения представленного на рис. 1.

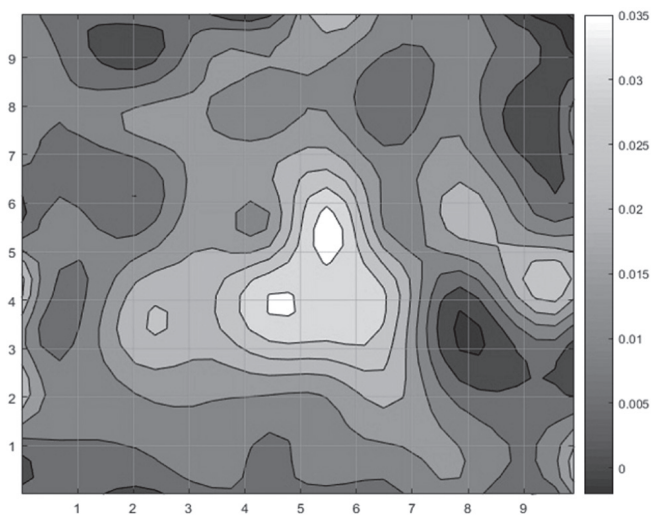


Рис. 3. Результат обработки с использованием полученного СКП изображения, представленного на рис.2

Выводы

Представленные в настоящей работе результаты проведенного с применением ДМДС математического моделирования говорят об эффективности его применения в рамках информационной технологии повышающей эффективность применения ТМЭС, имеющих в своем составе микрокосмы. Речь идет об использовании ДМДС

в качестве инструмента порождения рабочих гипотез. Преимущество ДМДС, как средства формулирования рабочих гипотез, определяется возможностью непосредственно наглядно представить структуру обратных связей и следующую из нее динамику исследуемой системы. Это преимущество весьма значимо, например, в сравнении с описанными в работе [13] подходами, основанными на использовании различных мер биоразнообразия. Формирование базирующихся на этих подходах гипотез о различных аспектах (в частности – стабильности) функционирования конкретных биологических систем требует больших объемов фактического материала. Применение ДМДС требует для этого значительно меньших объемов фактического материала, который может иметь лакуны и непосредственно не отражать динамику исследуемых процессов в реальном времени.

В рамках настоящей работы показана возможность практического применения технологии, включающей формулирование с помощью ДМДС рабочих гипотез и их проверка путем анализа изображений ТМЭС с помощью специально созданной БД.

Список литературы:

1. Спосіб дистанційного біологічного тестування гострої токсичності водного середовища: пат. 115829 Україна: МПК G01N33/18(2006/01); заявл. 30.11.16; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. 2. Беспалов Ю.Г., Бых А.И., Печерская А.И., Высоцкая Е.В. Оценка состояния гидробиоценоза с использованием дискретных моделей динамических систем. Современные проблемы математики, механики и информатики, 2013. С. 87-88. 3. Zholtkevych G.N., Bespalov Y.G., Nosov K.V., Abhishek M. Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Antropogeneous Eutrophication. Acta Biotheoretica, 2013. – 61(4). P. 449-465. 4. Bespalov Yu., Nosov K., Kabalyants P. Modeling systemic colorimetric parameters as a tool for

processing images of clumps of toxic cyanobacteria targeted at their boundaries detection. bioRxiv 232413. URL: <https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/early/2017/12/13/232413.full.pdf> 5. Balym Y., Georgiyants M., Vysotska O. Pecherska A. [et al.] Mathematical modeling of the colorimetric parameters for remote control over the state of natural bioplato. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. Vol 4. No 10 (88). 6. Мелехин А.Г., Шукин И.С. Анализ существующих биоинженерных сооружений очистки поверхностного стока и возможности их применения в условиях Западного Урала *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*, 2013. №2. С. 40-51. 7. Станкевич В.В., Тарабарова С.Б., Береза А.Ю. Використання біоплато для доочищення стічних вод від малих населених пунктів. Гігієна населених місць, 2015. № 65. С. 108-113. 8. Печерская А.И., Высоцкая Е.В., Григорьев А.Я., Радзишевская Е.Б. [и др.] Компьютеризированный анализ пространственного распределения биопродукционных процессов на изображениях биоплато с плавающими растениями. Системы обработки информации, 2017. № 5(151). С. 96-102. 9. Карабашев Г.С., Евдошенко М.А. О сезонной изменчивости максимума спектра коэффициента яркости Черного моря по спутниковым данным. Океанология, 2015. Т. 55. No 2. С. 182–191. 10. Карабашев Г.С. Евдошенко М.А. Спектральные признаки цветения цианобактерий в Балтийском море по данным сканера MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. Т. 12. No 3. С. 158-170. 11. Nosov K., Zholtkevych G., Georgiyants M., Vysotskaya O. [et al.] Development of the descriptive binary model and its application for identification of clumps of toxic cyanobacteria. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. 4(4 (88)). С. – 4-11. 12. Zholtkevych G.N., Bespalov Y.G., Nosov K.V., Abhishek M. Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Antropogeneous Eutrophication. Acta Biotheoretica, 2013. 61(4). С. 449-465. 13. Bukvareva E.N., Aleshchenko G.M. Optimization, Niche and Neutral Mechanisms in the Formation of Biodiversity. American Journal of Life Sciences, 2013. V. 1. No. 4. P. 174-183.

Поступила в редколлегию 02.02.2018