

А.И. Печерская¹, Е.В. Высоцкая¹, А.Я. Григорьев², Е.Б. Радзишевская³, А.С. Петренко¹

¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

² Харьковская государственная зооветеринарная академия, Харьков

³ Харьковский национальный медицинский университет, Харьков

КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ БИОПЛАТО С ПЛАВАЮЩИМИ РАСТЕНИЯМИ

*В статье рассмотрена проблема определения пространственного распределения в биоплато участков с разным характером биопродукционных процессов. В качестве естественной модели биоплато, в которой роль основных агентов очистки воды играют плавающие растения, использовались заросли *Pistia stratiotes*. Компьютеризированный анализ базировался на использовании математического аппарата дискретного моделирования динамических систем и обработке цифровых фотографий, полученных с борта легких беспилотных летательных аппаратов. Применение компьютеризированного анализа пространственного распределения биопродукционных процессов на дистанционно получаемых изображениях временных биоплато с плавающими растениями позволяет своевременно диагностировать состояния растительного сообщества биоплато, несущие угрозу отмирания водных растений с последующим вторичным загрязнением воды, а также осуществлять их дистанционный контроль.*

Ключевые слова: анализ изображений, биобезопасность, биомасса, биоплато, биопродукционные процессы.

Введение

Сооружения типа биоплато, использующие высшие водные растения, в настоящее время играют значительную роль в природоохранной деятельности [1]. Относительно небольшие объемы трудозатрат и финансирования для сооружения биоплато обуславливают их привлекательность, которая в большой степени увеличивается в экстремальных ситуациях с угрозами биобезопасности питьевого и других видов водопользования, причиной которых могут стать разрушения систем очистки воды и канализации во время природных и техногенных катастроф. Такого рода экстремальные ситуации могут возникнуть также вследствие акций биологического терроризма [2]. Применение биоплато может быть эффективным средством не только для элиминации последствий атак террористов, но и для усиления биобезопасности разных видов водопотребления при наличии потенциальной угрозы этих атак.

Одним из важнейших факторов, обуславливающих достаточно большие сроки введения в строй биоплато, является значительное (соизмеримое с вегетационным периодом) время формирования в нем необходимой биомассы высших водных растений, являющихся главными агентами очистки воды. Это время может быть значительно сокращено в случае использования плавающих растений (ПР), поскольку их активная живая биомасса в не-

обходимом количестве может быть сравнительно просто перенесена из мест естественного произрастания или культивирования в биоплато. Избыточная или отмершая биомасса ПР может быть изъята из биоплато также достаточно просто. Серьезной проблемой является определение сроков своевременного изъятия мертвой или отмирающей растительной биомассы, которая, разлагаясь, может стать фактором не очистки, а вторичного загрязнения воды. Заблаговременное определение этих сроков позволяет иметь необходимое время для оптимальной организации мероприятий по изъятию отмирающей растительной биомассы, а также ее утилизации.

Анализ литературы

В указанных выше экстремальных ситуациях может оказаться необходимым размещение биоплато с ПР на обширных площадях часто труднодоступной местности. В подобных случаях целесообразно использование дистанционных (аэрокосмических) методов диагностики состояния биопродукционных процессов в растительных сообществах, в нашем случае – состояний массивов ПР. Сравнительно простым и дешевым таким дистанционным методом может быть цифровое фотографирование с борта легких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с последующей компьютерной обработкой полученного изображения. Основной задачей обработки изображения является определение простран-

ственного распределения на биоплато участков с разным характером биопродукционных процессов. Далее на основе сопоставления полученной картины такого распределения с заранее выбранными эталонами можно определить наличие или отсутствие в ближайшее время риска массового отмирания ПР. Ранее была показана [3–6] возможность дистанционной регистрации характера биопродукционных процессов в различных растительных сообществах путем анализа RGB-модели их цифровых фотографий с использованием информационных технологий, базирующихся на применении дискретных моделей динамических систем (ДМДС). Этот класс математических моделей уже был использован [7–13] для формализованного описания поведения систем на разных уровнях организации живой материи. Было, в частности, показано [4], что созданные с применением ДМДС модели динамики значений некоторых элементов RGB-модели цифровых фотографий различных растительных сообществ отражают их различия по характеру биопродукционных процессов. Речь идет об элементах RGB-модели, связанных с наличием хлорофилла и других растительных пигментов. В ряде случаев речь также идет о различиях по степени сходства с так называемой Маргалевой моделью сукцессии, в которой наблюдается значительный размах колебаний значений соотношения в биологическом сообществе зеленого пигмента хлорофилла и желто-оранжевых растительных пигментов. На уровне качественного описания показано [4] соответствие некоторых аспектов динамики этих пигментов и динамики значений элементов RGB-модели. Речь идет об аспектах динамики, которые влияют на размах колебаний отношений количества указанных пигментов. Соответственно, можно сформулировать рабочую гипотезу, согласно которой этот размах колебаний отражает характер биопродукционных процессов в разных частях растительного сообщества.

Целью работы является исследование результатов компьютерной обработки изображения массива ПР используемого в биоплато для определения пространственного распределения в нем участков с разным характером биопродукционных процессов.

Основной материал

В качестве естественной модели биоплато (ЕМБП), в котором роль основных агентов очистки воды играют ПР, использовались заросли *Pistia stratiotes*, стихийно возникшие на участке реки Харьков, на территории Киевского района г. Харькова (Украина). Участок ограничен берегом реки и лежащими параллельно к нему железобетонными строительными конструкциями, глубина воды на

участке до 0.5 м. Массив *Pistia stratiotes* на этом участке, на площади 0.75 м на 1.25 м был ограничен, для предотвращения дрейфа ПР за пределы ЕМБП, плавающими конструкциями устройства, защищенного патентом Украины на полезную модель [14]. По течению реки в ЕМБП втекала обогащенная биогенными элементами речная вода, содержащая необходимые для развития ПР питательные вещества различного состава и происхождения, извлекаемые в ходе протекания по ЕМБП из воды в результате жизнедеятельности *Pistia stratiotes*.

Была проведена обработка цифровых фотографий ЕМБП, сделанных в период с августа по ноябрь 2016 года в условиях, имитирующих фотосъемку с борта легкого БПЛА с высоты 5 м и с расстояния 12 м. В качестве показателя соотношения растительных пигментов использовался индекс С, значение которого определялось по формуле:

$$C = \frac{|R - G|}{R + G + B},$$

где R, G, B, соответственно – проценты красных, зеленых и синих элементов пикселя, величины которых нормализованы путем деления значений соответствующих величин, измеренных для биомассы ПР на такие же значения, измеренные для отражателей, входящих в конструкцию используемого устройства [14].

В связи с характером использовавшегося ЕМБП зафиксировать тонкие различия между участками с разным характером биопродукционных процессов не удалось. Однако при сравнении эталонов, относящихся к заведомо разным состояниям биопродукционных процессов в массиве ПР, были зафиксированы значительные различия. В качестве таких эталонов использовались снимки, сделанные летом – осенью 2016 года. Биопродукционные процессы в массиве ПР были достаточно интенсивными и их характер должен был зависеть от количества доступных растительным организмам питательных веществ. Источником этих веществ было разложение аллохтонного органического вещества различного биогенного происхождения, интенсивно происходившее в благоприятных температурных условиях (летом) во всей толще речной воды и донных отложениях (этот снимок представлен на рис. 1). Представленный на рис. 2 снимок сделан 17.10.2016 года, когда в силу свойственных этому времени года температурных условий разложение органического вещества биогенного происхождения в толще речной воды и донных отложениях уже не могло играть такой роли в качестве внешнего источника питательных веществ для ПР, функционирующих в ЕМБП.

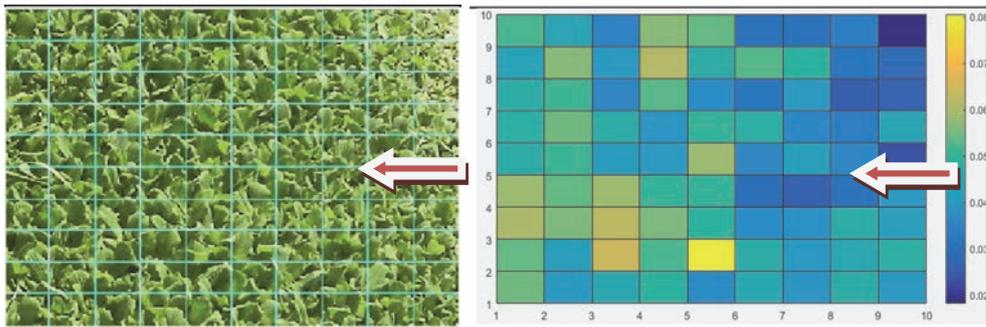


Рис. 1. Вид массива ПР, функционирующего в ЕМБП 01.08.2016 года. Слева – необработанное изображение, справа – обработанное и шкала условных цветов, обозначающих величину среднего квадратичного отклонения значения индекса С. Направление движения воды в ЕМБП справа-налево

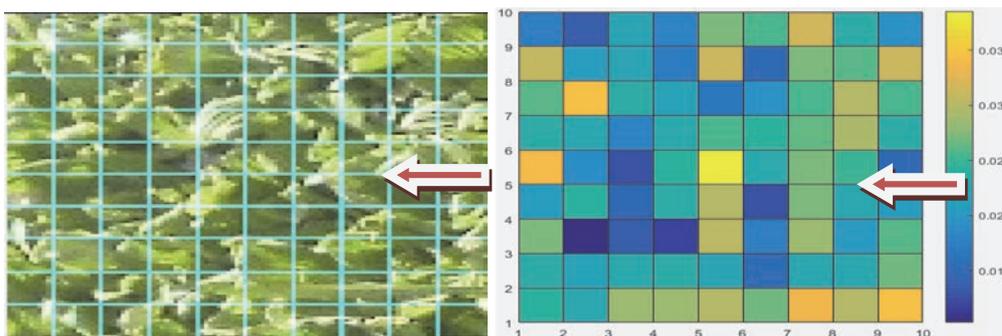


Рис. 2. Вид массива ПР, функционирующего в ЕМБП 17.10.2016 года. Слева – необработанное изображение, справа – обработанное и шкала условных цветов, обозначающих величину среднего квадратичного отклонения значения индекса С. Направление движения воды в ЕМБП справа-налево

Соответственно, на фоне общего снижения интенсивности биопродукционных процессов возрастает роль автохтонных для ЕМБП питательных веществ и снижается влияние роли обеспеченности питательными веществами на значительно снизившуюся интенсивность биопродукционных процессов. Сравним изображения, представленные на рис. 1 и рис. 2, выполняющие роль эталонных для двух заведомо сильно различающихся состояний биопродукционных процессов в ЕМБП. Без обработки эти изображения не имеют заметных различий между собой и между разными участками одного изображения. Определим среднее квадратичное отклонения значения индекса С каждого из участков анализируемых изображений и сравним распределение его значений. Для наглядности сравнения обозначим каждый из участков изображения условным цветом, соответствующим величине среднего квадратичного отклонения значения индекса С.

После обработки на рис. 1 видим весьма заметное различие между правой и левой частями изображения. В части, где в ЕМБП попадает вода, обогащенная питательными веществами, преобладают малые значения среднего квадратичного отклонения значения индекса С. Этот эффект объясняется следующим. В эту часть ЕМБП поступают аллохтон-

ные питательные вещества, что придает ей выраженные черты открытой системы. Это обуславливает ее отличие от Маргалефовой модели сукцессии, которая является закрытой системой с большим размахом значений отношений желто-оранжевых пигментов и зеленого хлорофилла. В части ЕМБП, которая удалена от места поступления аллохтонных питательных веществ, характер биопродукционных процессов более схож с закрытыми системами. Соответственно в этой части ЕМБП наблюдаются и большие значения среднего квадратичного отклонения значения индекса С. На обработанном изображении, представленном на рис. 2, подобного разделения на участки с высокими и низкими значениями среднего квадратичного отклонения значения индекса С не наблюдается. Этому есть достаточно логичное объяснение: в погодных условиях второй половины октября фотосинтез еще возможен. О наличии хлорофилла свидетельствует ярко-зеленый цвет розетки листьев *Pistia stratiotes* на необработанной части снимка. Через две недели (рис. 3) этот цвет растительной биомассы сменился бледно-бурым цветом увядания, отмирания и разложения. При этом фотосинтез еще возможен, но его интенсивность в одной части ЕМБП не такова, чтобы создать дефицит питательных веществ в другой.

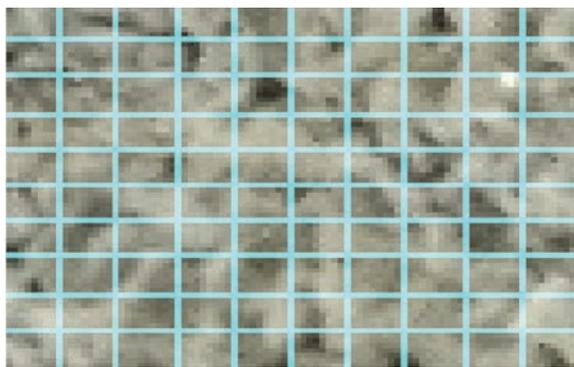


Рис. 3. Вид массива ПР, функционирующего в ЕМБП 01.11.2016 года. Необработанное изображение. Направление движения воды в ЕМБП справа-налево

Проведем теперь сравнение изображений ЕМБП в хронологическом порядке – от начала августа (рис. 1) к началу октября (рис. 4) и к концу его первой декады (рис. 5), и наконец, снова к его второй половине (рис. 2). Необработанные части изображения не обнаруживают еще какой-либо заметной тенденции к изменению цвета. Тенденция же изменений обработанной части изображений достаточно однозначна и соответствует различиям между августовским изображением на рис. 1 и ноябрьским на рис. 2. А именно: отсутствуют различия между

частями ЕМБП, которые могут быть обусловлены разными условиями получения ими аллохтонных питательных веществ. Отсутствие таких различий в начале, конце первой декады и во второй половине октября выглядят на обработанных изображениях по-разному. Это может служить признаком, позволяющим диагностировать начало преобладания над процессами фотосинтеза процессов отмирания растительной биомассы. Результаты преобладания наглядно проявились через месяц и для их фиксации не нужна обработка изображений (рис. 3).

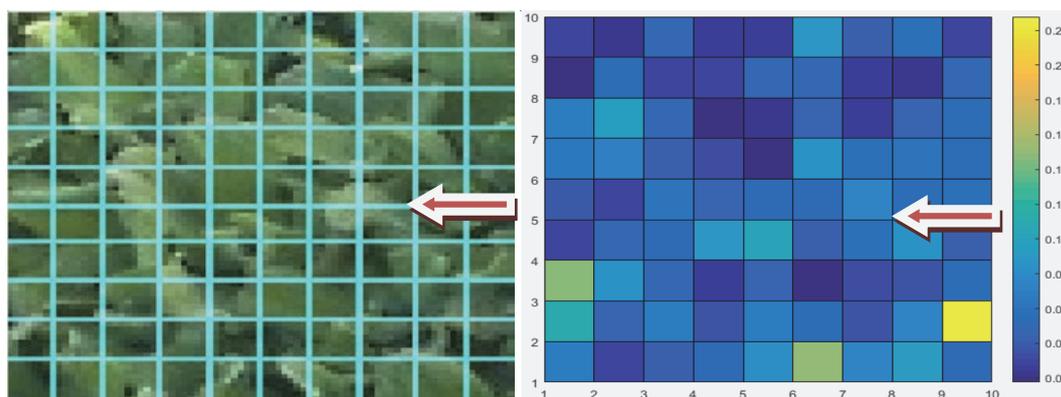


Рис. 4. Вид массива ПР, функционирующего в ЕМБП 02.10.2016 года. Слева – необработанное изображение, справа – обработанное и шкала условных цветов, обозначающих величину среднего квадратичного отклонения значения индекса С. Направление движения воды в ЕМБП справа-налево

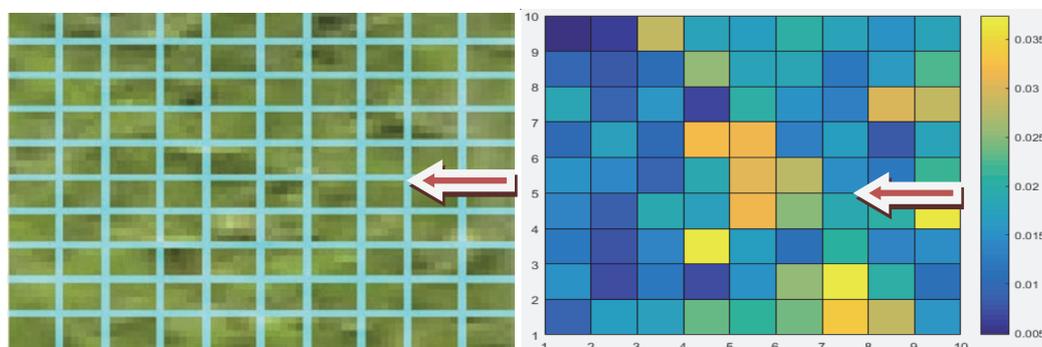


Рис. 5. Вид массива ПР, функционирующего в ЕМБП 10.10.2016 года. Слева – необработанное изображение, справа – обработанное и шкала условных цветов, обозначающих величину среднего квадратичного отклонения значения индекса С. Направление движения воды в ЕМБП справа-налево

Выводы

Таким образом, представленные в настоящей работе результаты обработки изображений растительных сообществ создают определенные предпосылки для разработки методов, которые позволят заблаговременно прогнозировать состояние сообщества ПР нежелательное для практических целей функционирования биоплато. Результаты настоящей работы, которые авторы считают лишь предварительными, свидетельствуют о перспективности подхода к обработке дистанционно полученных изображений растительных сообществ, базирующегося на использовании ДМДС.

Практическое применение предлагаемого подхода наиболее целесообразно в экстремальных ситуациях, требующих введения в строй и эксплуатации временных биоплато, в частности – биоплато с плавающими растениями, в условиях острого дефи-

цита времени. Используемая в настоящей работе ЕМБП в наибольшей степени соответствует именно временным биоплато, в качестве которых в экстремальных условиях во многих случаях придется использовать уже имеющиеся на местности объекты. Именно условиям эксплуатации таких временных биоплато соответствует предлагаемый подход к контролю и коррекции биопродукционных процессов в них. Применение компьютеризированного анализа пространственного распределения биопродукционных процессов на дистанционно получаемых изображениях временных биоплато с плавающими растениями позволяет своевременно диагностировать состояния растительного сообщества биоплато, несущие угрозу отмирания водных растений с последующим вторичным загрязнением воды, а также осуществлять их дистанционный контроль.

Список литературы

1. Stolberg F.V. Natural Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climate. Chapter 9. Bioplato technology for ecological rehabilitation of eutrophied water bodies / F.V. Stolberg. – WIT Press, 2002. – 152 p.
2. Lerner K.L. Bioterrorism, Protective measures / K.L. Lerner // Encyclopedia of Espionage, Intelligence, and Security. – 2004. – Vol. 1. – P. 125-127.
3. Vysotskaya E.V. Unmasking the soil cover's disruption by modeling the dynamics of ground vegetation parameters / E.V. Vysotskaya, G.N. Zholtkevych, T.A. Klochko, Yu.G. Bepalov, K.V. Nosov // Вісник Національного Технічного Університету України «КПІ». Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2016. – № 64. – С. 101-109.
4. Высоцкая Е.В. Использование Маргалёвой модели сукцессии в технологиях дистанционного обнаружения признаков антропогенных воздействий на растительный покров / Е.В. Высоцкая, Ю.Г. Беспалов, А.И. Печерская, Д.А. Парвадов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2016. – № 2 (76). – С. 15-19.
5. Григорьев А.Я. Математическая модель системных эффектов динамики спектральных характеристик травяного покрова, демаскирующих скопления саранчи / А.Я. Григорьев, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов, Ю.Г. Беспалов // Ветеринарна медицина. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – 2014. – № 98. – С. 154-157.
6. Григорьев А.Я. Дискретные модели динамических систем, определяющих стабильность гидробиоценозов / А.Я. Григорьев, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов, Ю.Г. Гамуля и др. // Ветеринарна медицина. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – 2014. – № 99. – С. 164-167.
7. Bepalov Y. Discrete Dynamical Modeling of System Characteristics of a Turtle's Walk in Ordinary Situations and After Slight Stress / Y. Bepalov, I. Gorodnyanskiy, G. Zholtkevych, I. Zaretskaya et al. // Бионика интеллекта. – 2011. – № 3 (77). – С. 54-59.
8. Zholtkevych G.N. Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Anthropogenic Eutrophication / G.N. Zholtkevych, Y.G. Bepalov, K.V. Nosov, M. Abhishek // Acta Biotheoretica. – 2013. – № 61(4). – P. 449-465.
9. Беспалов Ю.Г. Дискретная модель системы с отрицательными обратными связями / Ю.Г. Беспалов, Л.Н. Дереча, Г.Н. Жолткевич, К.В. Носов // Вісник Харківського національного університету Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». – 2008. – № 833. – С. 27-38.
10. Беспалов Ю.Г. Дискретное моделирование динамических систем, определяющих влияние сердечно-сосудистых заболеваний на параметры сердечного ритма / Ю.Г. Беспалов, К.В. Носов, Г.Н. Жолткевич, А.И. Печерская, Е.П. Масалитин // Пятый международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника: состояние и перспективы развития». 14 – 17 октября 2014 г. – Харьков, 2014. – С. 140-142.
11. Беспалов Ю.Г. Математическая модель влияния генерализованного адаптационного синдрома на параметры сердечного ритма / Ю.Г. Беспалов, К.В. Носов, Г.Н. Жолткевич, А.И. Печерская, А.А. Мендрик // Пятый международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. состояние и перспективы развития». 14 – 17 октября 2014 г. – Харьков, 2014. – С. 138-139.
12. Высоцкая Е.В. Прогнозирование течения atopического дерматита у детей с использованием дискретного моделирования динамических систем / Е.В. Высоцкая, А.П. Порван, Ю.Г. Беспалов, К.В. Носов и др. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014 – № 3/4 (69). – С. 21-25.
13. Высоцкая Е.В. Математическое моделирование стрессированности водоплавающих птиц для дистанционного выявления угроз биобезопасности / Е.В. Высоцкая, Ю.Г. Беспалов, Н.А. Баздырева, И.А. Жукова и др. // Материали за

XIII міжнародна научна практична конференція, «Будущие исследования - 2017», 15 - 22 февруари 2017 г. на Физика. Технически науки. Математика. – Република България, гр.София, 2017. – С. 70-72.

14. Патент UA 111265, G01N 1/10, G01N 21/01. Пристрій для культивування плаваючих водних рослин / О.В. Бетін, О.Я. Григор'єв, Г.М. Жолткевич, А.П. Порван и др. – № 2016 03494; заявл. 04.04.2016; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21. – 5 с.

References

1. Stolberg, F.V. (2002), *Natural Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climate. Chapter 9. Bioplato technology for ecological rehabilitation of eutrophied water bodies*, WIT Press, 152 p.
2. Lerner, K.L. (2004), Bioterrorism, Protective measures, *Encyclopedia of Espionage, Intelligence, and Security*, Vol. 1, pp. 125-127.
3. Vysotskaya, E.V., Zholtkevych, G.N., Klochko, T.A., Bespalov, Yu.G. and Nosov, K.V. (2016), Unmasking the soil cover's disruption by modeling the dynamics of ground vegetation parameters, *Visnik Natsionalnoho Tekhnichnoho Universitetu Ukraini «KPI». Seriya – Radiotekhnika. Radioaparatabuduvannia*, No. 64, pp. 101-109.
4. Vysotskaia, E.V., Bespalov, Yu.H., Pecherskaia, A.I. and Parvadov, D.A. (2016), “Ispolzovanie Marhalefovoi modeli suk-tsessii v tekhnolohiiakh distantsionnoho obnaruzheniia pri-znakov antropohennykh vozdeistvii na rastitelnyi pokrov” [Using of margalef succession model in remote detection technologies for indications of human impact on vegetation cover], *Radioelectronic and Computer Systems*, No. 2(76), pp. 15-19.
5. Hrihorev, A.Ia., Zholtkevich, H.N., Nosov, K.V. and Bespalov, Yu.H. (2014), “Matematicheskaia model sistemnykh efektov dinamiki spektralnykh kharakteristik travianoho pokrova, demaskiruiushchikh skopleniia saranchi” [A mathematical model of systemic effects of the dynamics of the spectral characteristics of the grass cover, unmasking locust aggregates], *Veterinarna meditsina: Mizhvidomchii tematichnii naukovii zbirnik*, No. 98, pp. 154-157.
6. Hrihorev, A.Ia., Zholtkevich, H.N., Nosov, K.V. and Hamulia, Yu.H. (2014), “Diskretnye modeli dinamicheskikh sistem, opredeliaiushchikh stabilnost hidrobiotsenozov” [Discrete models of dynamic systems that determine the stability of hydrobiocenoses], *Veterinarna Meditsina: Mizhvidomchii tematichnii naukovii zbirnik*, No. 99, pp. 164-167.
7. Bespalov, Y., Gorodnyanskiy, I., Zholtkevych, G. and Zaretskaya, I. (2011), Discrete Dynamical Modeling of System Characteristics of a Turtle's Walk in Ordinary Situations and After Slight Stress, *Bionika Intellekta*, No. 3(77), pp. 54-59.
8. Zholtkevych, G.N., Bespalov, Y.G., Nosov, K.V. and Abhishek, M. (2013), Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Antropogeneous Eutrophication, *Acta Biotheoretica*, No. 61(4), pp. 449-465.
9. Bespalov, Yu.H., Derecha, L.N., Zholtkevich, H.N. and Nosov, K.V. (2008), “Diskretnaia model sistema s obratnymi svyaziami” [Discrete model of a system with negative feedbacks], *Visnik Kharkivskoho natsionalnoho universitetu. Seriya «Matematichne modelivannia. Informatsiini tekhnolohii. Avtomatizovani sistemi upravlinnia»*, No. 833, pp. 27-38.
10. Bespalov, Yu.H., Nosov K.V., Zholtkevich H.N., Pecherskaia A.I and Masalitin, E.P. (2014), “Diskretnoe modelirovanie dinamicheskikh sistem, opredeliaiushchikh vliianie serdechno-sosudistykh zabolevaniia na parametry serdechnoho ritma” [Discrete modeling of dynamic systems that determine the effect of cardiovascular diseases on the parameters of the heart rhythm], *Piatyi mezhdunarodnyi radioelektronnyi forum «Prikladnaia radioelektronika. Sostoianie i perspektivy razvitiia»*, Kharkov, pp. 140-142.
11. Bespalov, Yu. H., Nosov K.V., Zholtkevich H.N., Pecherskaia A.I. and Mendrik, A.A. (2014), “Matematicheskaia model vliianiia heneralizovannoho adatatsionnoho sindroma na parametry serdechnoho ritma” [Mathematical model of the influence of the generalized additional syndrome on the parameters of the heart rhythm], *Piatyi mezhdunarodnyi radioelektronnyi forum «Prikladnaia radioelektronika. Sostoianie i perspektivy razvitiia»*, Kharkov, pp. 138-139.
12. Vysotskaia, E.V., Porvan, A.P., Bespalov, Yu.H., Nosov, K.V., Klimenko, V.A. and Trubitsyn, A.A. (2014), “Prohnozirovanie techeniia atopicheskoho dermatita u detei s ispolzovaniem diskretnoho modelirovaniia dinamicheskikh sistem” [Predicting the course of atopic dermatitis in children using discrete modeling of dynamic systems], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 3/4 (69), pp. 21-25.
13. Vysotskaia, E.V., Bespalov, Yu.H., Bazdyreva, N.A. and Zhukova, I.A. (2017), Matematicheskoe modelirovanie stressirovannosti vodoplavaiushchikh ptits dlia distantsionnoho vyivleniia uhroz biobezopasnosti” [Mathematical modeling of the stress of waterfowl for remote detection of biosafety threats], *Materiali XIII Mezhdunarodna nauchna praktichna konferentsiia*, pp.70-72.
14. Betin, O.V., Hrihorev, O.Ia., Zholtkevich, H.M. and Porvan, A.P. (2016), “Pristrii dlia kultivatsii plavaiuchikh vodianikh roslin” [Appliance for cultivation of floating water springs], UA, 111265.

Поступила в редколлегию 5.10.2017

Одобрена к печати 16.11.2017

Відомості про авторів:

Печерська Анна Іванівна

кандидат технічних наук старший науковий співробітник кафедри Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7069-0674>
 e-mail: anna.pecherska@nure.ua

Information about the authors:

Pecherska Anna

Candidate of Technical Sciences Senior Research Associate of Department of Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7069-0674>
 e-mail: anna.pecherska@nure.ua

Висоцька Олена Володимирівна

доктор технічних наук доцент
професор кафедри Харківського національного
університету радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3723-9771>
e-mail: olena.vysotska@nure.ua

Vysotska Olena

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Professor of Department of Kharkiv National University
of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3723-9771>
e-mail: olena.vysotska@nure.ua

Григор'єв Олексій Якович

кандидат ветеринарних наук професор
завідувач кафедри Харківської державної
зооветеринарної академії,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9726-4154>
e-mail: agrigoriev.zoo@gmail.com

Grigoriev Alexey

Candidate of Veterinarian Sciences Professor
Head of Department of Kharkiv State
Zoological and Veterinarian Academy,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9726-4154>
e-mail: agrigoriev.zoo@gmail.com

Радзішевська Євгенія Борисівна

кандидат фізико-математичних наук доцент
доцент кафедри Харківського національного
медичного університету,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9149-7689>
e-mail: radzishevaska@ukr.net

Radzishevaska Yevheniia

Candidate of Physics and Mathematics Sciences
Associate Professor Senior Lecturer of Department
of Kharkiv National Medical University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9149-7689>
e-mail: radzishevaska@ukr.net

Петренко Андрій Сергійович

бакалавр студент Харківського національного
університету радіоелектроніки,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3255-2961>
e-mail: andrii.petrenko@nure.ua

Petrenko Andrii

Bachelor Student of Kharkov National University
of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3255-2961>
e-mail: andrii.petrenko@nure.ua

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ БІОПРОДУКЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ БІОПЛАТО З РОСЛИНАМИ, ЩО ПЛАВАЮТЬ

А.І. Печерська, О.В. Висоцька, О.Я. Григор'єв, Є.Б. Радзішевська, А.С. Петренко

*У статті розглянута проблема визначення просторового розподілу в біоплато ділянок з різним характером біопродукційних процесів. В якості природної моделі біоплато, в якій роль основних агентів очищення води грають рослини, що плавають, використовувалися зарості *Pistia stratiotes*. Комп'ютеризований аналіз базувався на використанні математичного апарату дискретного моделювання динамічних систем і обробці цифрових фотографій, отриманих з борту легких безпілотних літальних апаратів. Застосування комп'ютеризованого аналізу просторового розподілу біопродукційних процесів на одержаних дистанційно зображеннях тимчасових біоплато з рослинами, що плавають, дозволяє своєчасно діагностувати стани рослинного співтовариства біоплато, що несуть загрозу відмирання водоростей з наступним вторинним забрудненням води, а також здійснювати їх дистанційний контроль.*

Ключові слова: аналіз зображень, біобезпека, біомаса, біоплато, біопродукційні процеси.

COMPUTERIZED ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF BIOPRODUCTION PROCESSES ON BIOPLATO IMAGES WITH FLOATING PLANTS

A. Pecherska, O. Vysotska, A. Grigoriev, Y. Radzishevaska, A. Petrenko

*The article considers the problem of determining the spatial distribution in bioplasts of sites with a different nature of bioproduction processes. As a natural model of the bioplate, in which the role of the main water purification agents is played by floating plants, thickets of *Pistia stratiotes* were used. Computerized analysis was based on the use of the mathematical apparatus of discrete modeling of dynamic systems and the processing of digital photographs obtained from the side of light unmanned aerial vehicles. The nature of bioproduction processes in an array of floating plants depended on the amount of nutrients available to plant organisms. The source of these substances was the decomposition of allochthonous organic matter of various biogenic origin. The comparison was made from the point of view of the distribution of values of the mean square deviation of the index value, the value of which was determined on the basis of the percentage of red green and blue pixels. The use of a computerized analysis of the spatial distribution of bioproduction processes on remotely acquired images of temporary bioplasts with floating plants allows timely diagnosis of the state of the plant community of the bioplate, which threaten the dying out of aquatic plants with subsequent secondary water pollution, as well as their remote control. The results of processing images of plant communities presented in this paper create certain prerequisites for the development of methods that allow the prediction of undesirable for the practical purposes of the functioning of the bioplate the state of the community of floating plants.*

Keywords: image analysis, biosafety, biomass, bioplate, bioproduction processes.