

УДК 574:004.942

Е. В. ВЫСОЦКАЯ¹, Ю. Г. БЕСПАЛОВ², А. И. ПЕЧЕРСКАЯ¹, Д. А. ПАРВАДОВ¹¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина²Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРГАЛЕФОВОЙ МОДЕЛИ СУКЦЕССИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИЗНАКОВ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ

Предложено для обнаружения признаков малозаметных изменений в посевах культурных растений, вызванных воздействиями антропогенного характера на биопродукционные процессы, применять метод дискретного моделирования динамических систем на основе анализа колориметрических параметров фотоснимков исследуемого участка, полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов. Было установлено, что характер динамики колориметрических параметров участков, подвергшихся, наряду с обычными агротехническими приемами, также и рекультивации, практически полностью совпадает с характером динамики параметров Маргалефовой модели сукцессии, чего нельзя сказать о нерекультивированных участках.

Ключевые слова: дискретное моделирование динамических систем, идеализированная траектория системы, колориметрические параметры, Маргалефова модель сукцессии, растительный покров, системный эффект.

Введение

Технологии дистанционного обнаружения признаков антропогенного воздействия на растительный покров земной поверхности востребованы в настоящее время в самых разных сферах человеческой деятельности. Речь может идти как о естественной растительности, так и о посевах культурных растений на участках, почва которых, наряду с агротехническими воздействиями, подвергалась дополнительному антропогенному воздействию. Например, почва могла использоваться ранее для устройства нефтегазовых скважин. Антропогенные воздействия на растительный покров в большинстве случаев упрощают структуру и динамику входящих в его состав сообществ живых организмов. При этом порой происходит приближение структуры и динамики к таким, которые свойственны простым лабораторным микроскомам. В качестве примера может быть названа Маргалефова модель сукцессии (ММС) [1, 2], находящаяся в арсенале фундаментальной экологии.

1. Постановка задачи исследования

Использование ММС для разработки технологий дистанционного обнаружения признаков антропогенного воздействия на растительный покров земной поверхности представляется перспективным, в частности, в связи с тем, что важнейшие параметры этой лабораторной модели биологического со-

общества могут быть измерены спектроскопическими (при некотором допустимом огрублении – колориметрическими) методами в видимой области спектра. Эти методы аналогичны многим известным дистанционным методам, таким, например, как цифровая фотография с последующей компьютерной обработкой параметров RGB модели. Огрубление исходных данных, обусловленное использованием полученных этим способом колориметрических параметров и трудностями (связанными с облачностью и другими факторами видимости) получения дистанционными аэрокосмическими методами материала, отражающего динамику в реальном времени значений указанных колориметрических параметров, определяет соответствующие требования к используемым информационным технологиям (ИТ). Этим требованиям отвечают информационные технологии, использующие дискретные модели динамических систем (ДМДС) [3 – 5]. Ранее, ДМДС использовались для построения графов отношений значений параметров RGB модели, свойственных изображениям участков земной поверхности, подвергшихся рекультивации и обработке только в рамках обычных агротехнологий [6].

Предметом настоящей работы является анализ возможностей применения ДМДС к обнаружению системных колориметрических параметров (СКП) растительного покрова, аналогичных таковым в динамике ММС. Речь идет о СКП, сближающих динамику биопродукционных процессов сообществ растительного покрова с таковой ММС. Предполагается

дальнейшее использование полученных результатов в дистанционных природоохранных технологиях, позволяющих демаскировать нарушения динамики биопродукционных процессов, связанные с антропогенным воздействием на растительный покров.

2. Материал и методика.

При проведении ДМДС в качестве компонентов системы использовались производные от параметров RGB модели, значения которых были зафиксированы при компьютерной обработке космических снимков участков земной поверхности, засеянных кукурузой и подвергшихся рекультивации и обработке только в рамках обычных агротехнологий [6]. Значения указанных колориметрических параметров нормализовались путем деления на значения аналогичных параметров незасеянной вспаханной почвы того же типа в аналогичном месте в то же время. С помощью ДМДС для начальных условий, характеризовавшихся низкими значениями R, G и B, строились идеализированные траектории системы (ИТС), отражающие цикл изменений значений параметров RGB модели, выраженных в условных баллах. Низкие значения оценивались в 1 балл, высокие – 3, средние – 2. Построение ИТС с помощью ДМДС осуществлялось следующим образом: на основе структуры корреляционных отношений между значениями компонентов систем строился граф отношений между этими компонентами. Речь идет о межкомпонентных отношениях из множества отношений: (0,0), (0,+), (0,-), (-,-), (+,+), (+,-). Внутрикомпонентные отношения могут быть только симметричными: (0,0), (-,-), (+,+). Эти отношения определяются влияниями:

а) позитивными: высокое значение одного компонента (субъекта влияния) на предыдущем услов-

ном шаге по времени способствует росту другого компонента (объекта влияния) при переходе от предыдущего к текущему шагу;

б) негативное влияние, напротив, способствует убыли значений объекта влияния при переходе от предыдущего к текущему шагу при высоких значениях субъекта.

На основании структуры указанных отношений строилась ИТС. Динамика значений параметров, присутствующая в ИТС, сравнивалась с данными о динамике параметров ММС. Принималось, что G (среднему количеству зеленых элементов пикселя) соответствует содержащая наибольшие количества хлорофилла молодая биомасса растений, а при проведении аналогий с ММС – фотосинтетическая продуктивность. Среднее количество красных элементов пикселя, R, описывает более старую и менее продуктивную часть растительной биомассы, в которой преобладают желто-оранжевые пигменты. При проведении аналогий с ММС сумма R+G отождествлялась с суммарной биомассой растений.

3. Полученные результаты

В результате моделирования с применением ДМДС были получены ИТС, отражающие циклы изменения значений в условных баллах вышеупомянутых колориметрических параметров участков:

а) подвергшихся рекультивации наряду с обычными агротехническими приемами;

б) подвергшихся только обычным агротехническим приемам.

Вид этих ИТС представлен в таблицах 1-6. Колориметрический параметр B не получил однозначной интерпретации, пригодной для сравнительного анализа вида ИТС и динамики ММС. Поэтому его значения не представлены в таблицах.

Таблица 1

Идеализированная траектория системы отношений колориметрических параметров растительного покрова на трех участках, подвергшихся рекультивации наряду с обычной агротехнической обработкой

Колориметрические параметры	Условные шаги по времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R	1	1	1	2	3	3	3	2
G	1	2	3	3	3	2	1	1
R+G	1	1	1	2	2	2	2	1

Таблица 2

Идеализированная траектория системы отношений колориметрических параметров растительного покрова на одном из участков, подвергшемся рекультивации наряду с обычной агротехнической обработкой

Колориметрические параметры	Условные шаги по времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R	1	1	1	2	2	2	2	1
G	1	2	3	3	3	2	1	1
R+G	1	1	1	2	2	2	2	1

В таблицах, представляющих ИТС, могут встречаться условные шаги по времени с одинаковыми комбинациями вошедших в таблицы колориметрических параметров, но отличающиеся по значениям параметра В.

В таблицах 3-6, представляющих ИТС, построенные на материале участков, подвергшихся только обычной агротехнической обработке без рекультивации, эта закономерность, характерная для ММС, выражена гораздо слабее либо совсем не выражена.

В таблице 3 на первых четырех шагах не происходит никаких изменений значения отношения G к $R+G$. При значительно меняющихся значениях отношения R к G , при переходе от четвертого шага к пятому, значения отношения G к $R+G$ меняются (уменьшаются) и остаются затем до предпоследнего шага цикла неизменными на фоне изменений значений отношения R к G . При этом при переходе от предпоследнего седьмого шага к последнему восьмому наблюдается параллельное увеличение значе-

ний обоих этих отношений.

В представленных в табл. 4 и 6 ИТС наблюдаются стабильные на протяжении всего цикла значения отношения G к $R+G$ на фоне некоторых изменений значений отношения R к G . В представленной в табл. 5 ИТС стабильность значений отношения G к $R+G$ и значений отношения R к G наблюдается на протяжении всей первой половины цикла. И лишь во второй половине цикла наблюдаются зависимости, аналогичные таковым в ММС.

Для динамики ММС характерно совпадение максимума значений отношения продукции к биомассе и минимума значений показателя разнообразия пигментов.

В ИТС, построенных для участков, подвергшихся рекультивации, рост значений отношения G к $R+G$ должен совпадать с уменьшением значений отношения R к G и наоборот. В таблицах 1 и 2 эта закономерность выражена предельно четко на протяжении почти всего цикла.

Таблица 3

Идеализированная траектория системы отношений колориметрических параметров растительного покрова на первом участке, подвергшемся только агротехнической обработке

Колориметрические параметры	Условные шаги по времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R	1	2	3	3	3	2	1	1
G	1	1	1	2	3	3	3	2
R+G	1	1	1	2	2	2	2	1

Таблица 4

Идеализированная траектория системы отношений колориметрических параметров растительного покрова на втором участке, подвергшемся только агротехнической обработке

Колориметрические параметры	Условные шаги по времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R	1	1	1	2	3	3	3	2
G	1	1	1	2	2	2	2	1
R+G	1	1	1	2	2	2	2	1

Таблица 5

Идеализированная траектория системы отношений колориметрических параметров растительного покрова на третьем участке, подвергшемся только агротехнической обработке

Колориметрические параметры	Условные шаги по времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R	1	1	1	2	2	1	1	1
G	1	1	1	2	3	3	3	2
R+G	1	1	1	2	2	1	1	1

Таблица 6

Идеализированная траектория системы отношений колориметрических параметров растительного покрова на четвертом участке, подвергшемся только агротехнической обработке

Колориметрические параметры	Условные шаги по времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R	1	1	1	2	3	3	3	2
G	1	1	1	2	2	1	1	1
R+G	1	1	1	2	2	1	1	1

Таким образом, в ИТС, построенных на материале участков, подвергшихся рекультивации наряду с обычными агротехническими приемами, наблюдается характер динамики выбранных колориметрических параметров, практически полностью совпадающий с характером динамики параметров МСС, тождественных этим колориметрическим параметрам. Отставание только на один шаг некоторых параметров вполне объяснимо инерционностью моделируемых биологических объектов и дискретностью математической модели. Такое совпадение наблюдается во всех четырех ИТС, построенных на материале рекультивированных участков.

Во всех четырех ИТС, построенных на материале участков, подвергшихся только обычным агротехническим приемам, без рекультивации, такого совпадения с динамикой ММС не наблюдается.

Таким образом, полученные различия в ИТС сравниваемых участков позволяют демаскировать дополнительное (в результате рекультивации) воздействие человека на биопродукционные процессы.

Заключение

В настоящей работе целью исследования было нахождение системных колориметрических эффектов, позволяющих относительно простыми и дешевыми дистанционными методами обнаружить признаки сравнительно малозаметных изменений в характере антропогенного воздействия на биопродукционные процессы в посевах культурных растений. Речь идет о следующих малозаметных изменениях: подготовка почвы к посеву культурных растений на месте осуществления рекультивации после ликвидации каких-либо сооружений может отличаться от обычных агротехнических работ лишь большей тщательностью. В работе [6] представлены результаты, свидетельствующие о возможности выявления связанных с этим различий лишь в рамках одной, более или менее обширной, территории с одинаковым составом почв, микрорельефом и прочими природными условиями. Это обстоятельство предполагает, что использование указанной возможности при разработке соответствующих ИТ потребует учета указанных природных условий, информация о которых должна быть занесена в специальный банк данных.

Результаты настоящей работы говорят о возможности при построении таких ИТ использовать банк данных не о влиянии на колориметрические параметры природных условий в конкретной местности, а об элементарных, типа ММС, пригодных для использования в качестве эталонов в конкретной ситуации, моделях динамики колориметрических параметров растительного покрова земной поверх-

ности, в том числе - посевов культурных растений. Возможность получения таких параметров с использованием беспилотных летательных аппаратов путем фотографирования анализируемых участков земли снижает стоимость и сроки работы ИТ дистанционного обнаружения признаков антропогенных воздействий на растительный покров земной поверхности.

Таким образом, применение ДМДС для нахождения системных колориметрических эффектов, имеющих аналоги в ММС, которые позволяют обнаружить признаки сравнительно малозаметных изменений в характере антропогенного воздействия на биопродукционные процессы в посевах культурных растений, представляется обоснованным, целесообразным и перспективным.

Литература

1. Нинбург, Е. А. Введение в общую экологию (подходы и методы) [Текст] / Е. А. Нинбург. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 138 с.
2. Одум, Е. Экология [Текст] / Е. Одум. – М. : «Просвещение», 1968. – 328 с.
3. Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Antropogeneous Eutrophication [Text] / G. N. Zholtkevych, Y. G. Bespalov, K. V. Nosov, M. Abhishek // *Acta Biotheoretica*. – 2013. – № 61(4). – P. 449 – 465.
4. Математическая модель системных эффектов динамики спектральных характеристик травяного покрова, демаскирующих скопления саранчи [Текст] / А. Я. Григорьев, Г. Н. Жолткевич, К. В. Носов, Ю. Г. Беспалов // *Ветеринарная медицина*. – 2014. – Вып. 98. – С. 154–157.
5. Дискретная модель системы с отрицательными обратными связями [Текст] / 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.
6. Umasking the soil cover's disruption by modeling of ground vegetation parameters [Text] / O. V. Vysotska, G. V. Zoltrevitch, T. A. Klochko, Yu. G. Bespalov, K. V. Nosov // *Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2016. – № 64. – С. 101 – 109.

References

1. Ninburg, E.A. *Vvedenie v obshchuyu ekologiyu* [Introduction to the general ecology]. Moscow, KMK Publ., 2005. 138 p.
2. Odum, E. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow, «Prosveshchenie» Publ., 1968. 328 p.
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 Anthropogeneous Eutrophication. *Acta Biotheoretica*, 2013, no. 61(4), pp. 449 – 465.

4. Grigor'ev, A. Ya., Zholtkevych, G. N., Nosov, K. V., Bespalov, Y. G. Mathematical model of the grass cover spectral characteristic dynamics systemic effects which unmasking locust swarms. *Veterinarnaya meditsina. – Veterinary medicine*, 2014, no. 98, pp. 154–157. (In Russian).

5. Bespalov, Yu. G., Derecha, L. N., Zholtkevych, G. N., Nosov, K. V. Discrete model of the system with negative feedback. *Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo*

universitetu. Seriya «Matematichne modelyuvannya. Informatsiini tekhnologii. Avtomatizovani sistemi upravlinnya» – Journal of Kharkov National University. The series "Mathematical modeling. Information Technology. Automated control systems", 2008, no. 833, pp. 27–38. (In Russian).

6. Vysotska, O. V., Zoltrevitch, G. V., Klochko, T. A., Bespalov, Yu. G., Nosov, K. V. Umasking the soil cover's disruption by modeling of ground vegetation parametres. *Proceedings of the National Technical University of Ukraine "KPI" Series Radio. Constructing of radio devices*, 2016, no. 64, pp. 101 – 109.

Поступила в редакцію 28.04.2016, рассмотрена на редколлегии 12.05.2016

ВИКОРИСТАННЯ МАРГАЛЕФОВОЇ МОДЕЛІ СУКЦЕСІЇ В ТЕХНОЛОГІЯХ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ НА РОСЛИННИЙ

О. В. Висоцька, Ю. Г. Беспалов, А. І. Печерська, Д. А. Парвадов

Запропоновано для виявлення ознак малопомітних змін в посівах культурних рослин, викликаних впливами антропогенного характеру на біопродукційні процеси, застосовувати метод дискретного моделювання динамічних систем на основі аналізу колориметричних параметрів фотознімків досліджуваної ділянки, отриманих з використанням безпілотних літальних апаратів. Було встановлено, що характер динаміки колориметричних параметрів ділянок, які поряд зі звичайними агротехнічними прийомами піддавалися також і рекультивациі, практично повністю збігається з характером динаміки параметрів Маргалефової моделі сукцесії, чого не можна сказати про нерекультивовані ділянки.

Ключові слова: дискретне моделювання динамічних систем, ідеалізована траєкторія системи, колориметричні параметри, Маргалефова модель сукцесії, рослинний покрив, системний ефект.

USING OF MARGALEF SUCCESSION MODEL IN REMOTE DETECTION TECHNOLOGIES FOR INDICATIONS OF HUMAN IMPACT ON VEGETATION COVER

O. V. Vysotska, Yu. G. Bespalov, A. I. Pecherska, D. A. Parvadov

Using the method of discrete modeling of dynamic systems, based on analysis of photo's colorimetric parameters investigated area, obtained using unmanned aerial-up apparatus, is proposed for detection signs of subtle changes in crops of cultivated plants due to anthropogenic impacts on biological production processes. Nature of areas colorimetric parameters exposed reclamation, along usual cultural practices, almost completely coincides with the character of Margalef model of succession parameters dynamics, which is absent on not remediated areas, has been found.

Keywords: discrete modeling of dynamic systems, idealized trajectory of system, colorimetric parameters Margalef model of succession, vegetation, system effect.

Висоцька Елена Владимировна – д-р техн. наук, профессор кафедры Биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: olena.vysotska@nure.ua.

Беспалов Юрий Гаврилович – ст. науч. сотр. факультета Математики и информатики, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Харьков, Украина, e-mail: bespalov@univer.kharkov.ua.

Печерская Анна Ивановна – науч. сотр. каф. Биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: anna.pecherska@nure.ua.

Парвадов Денис Андреевич – студент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: denys.parvadov@nure.ua.

Vysotska Olena – Dr. Sci. (Technical Sciences), Professor of Biomedical Engineering Department, Kharkiv national university of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: olena.vysotska@nure.ua.

Bespalov Yuriy – Chief Research Scientist of Mathematics and Informatics Department, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: bespalov@univer.kharkov.ua.

Pecherska Anna – PhD (Technical Sciences), Research Scientist of Biomedical Engineering Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: anna.pecherska@nure.ua.

Parvadov Denis – Biomedical Engineering Student, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: denys.parvadov@nure.ua.