

13. Музылев Е. Л., Старцева З. П., Успенский А. Б., Волкова Е. В., Василенко Е. В., Кухарский А. В., Зейлигер А. М., Ермолаева О. С. Использование данных дистанционного зондирования для моделирования водного и теплового режимов сельских территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 108–136.
14. Bastiaanssen W. G. M., Noordman E. J. M., Pelgrum H., Davids G., Thoreson B. P., Allen R. G. SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions // J. Irrig. and Drain. Eng. 2005. Vol. 131. № 1. pp. 85–93.
15. Anderson R. G., Lo M.-H., Swenson S., Famiglietti J. S., Tang Q., Skaggs T. H., Lin Y.-H., Wu R.-J. Using satellite-based estimates of evapotranspiration and groundwater changes to determine anthropogenic water fluxes in land surface models // Geoscientific Model Development. 2015. Vol. 8. pp. 3021–3031.
16. Bezerra B. G., Silva B. B., Santos C. A. C., Bezerra J. R. C. Actual evapotranspiration estimation using remote sensing: comparison of SEBAL and SSEB approaches // Advanced Remote Sensing. 2015. Vol. 4. № 3. pp. 234–247.
17. Kuchment L. S., Startseva Z. P. Sensitivity of evapotranspiration and soil moisture in wheat fields to changes in climate and direct effects of carbon dioxide // Hydrol. Sci. J. 2001. Vol. 36. № 6. pp. 631–643.
18. Allen R. G., Pereira L., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements // FAO Irrigation and Drainage Paper. № 56. Rome, Food and Agriculture Organisation, 1998.
19. Зейлигер А. М., Ермолаева О. С. Компьютерный код расчета гидрографических характеристик речной сети и ее водосборной территории по результатам гидрологического анализа цифровой модели рельефа // Экология. Экономика. Информатика. Сб. статей. В 2-х т. Т. 2. Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Вып. 1. Ростов-на-Дону, Изд-во ЮНЦ РАН, 2016а. 348 с. ISSN 2500–123X С. 64–80.
20. Зейлигер А. М., Ермолаева О. С. Результаты компьютерного моделирования водного стресса посевов орошаемой люцерны по данным наземного метеорологического и космического мониторинга температуры подстилающего слоя с использованием ФАО-56 и модели SEBS // Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей. В 2-х т. Т. 2. Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Вып. 1. Ростов-на-Дону, Изд-во ЮНЦ РАН, 2016б. 348 с. ISSN 2500–123X С. 258–273.

DOI:

ВЫБОР И ПРОВЕРКА МОДЕЛИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОМАССЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ

Г. П. Глазунов¹, В. М. Гендугов², М. В. Евдокимова¹, Р. П. Титарев¹,
Н. В. Колодкин¹, М. В. Шестакова¹

¹*Факультет почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова;*

²*Механико-математический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова*

Обоснован подход к выявлению закономерностей сезонной изменчивости наземной фитомассы сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли в рамках законов сохранения механики, а также химической и биохимической кинетики реагирующих биологических систем вблизи состояния равновесия.

Введение

Одной из основных задач мониторинга сельскохозяйственной деятельности является оценка состояния и урожайности сельскохозяйственных культур. Исследование состояния агроэкосистем на основе спутникового мониторинга Земли в настоящее время сводится к чисто математическим приемам анализа временных рядов, основанным на произвольных допущениях, что приводит к разобщенности исследований. В рамках данной работы обоснован подход к выявлению закономерностей сезонной изменчивости наземной фитомассы сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли в рамках законов сохранения механики, а также химической и биохимической кинетики реагирующих биологических систем вблизи состояния равновесия.

Известный в механике подход, основанный на предварительном обезразмеривании переменных модели, позволил обоснованно упростить дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие биологические объекты с определенными соотношениями пространственных масштабов, скоростей миграции веществ и характерных времен функционирования, и найти аналитические решения некоторых задач макроскопической биологической кинетики, включая задачи сезонной динамики показателей биомассы сельскохозяйственных культур (в единицах вегетационного индекса).

В фазовой плоскости зависимости фитомассы от времени (при условии постоянства макроскопических параметров среды и начальных концентраций компонентов субстрата в почве) данная модель описывает колоколообразную кривую сезонного роста фитомассы с использованием трех констант (масштабирующий множитель, коэффициент скорости роста и коэффициент скорости убывания фитомассы). Коэффициенты модели, которые являются свертками стехиометрических коэффициентов химических и биохимических реакций, обеспечивающих рост фитомассы, находятся при помощи регрессионного анализа по экспериментальным данным. При известных

коэффициентах уравнения модели анализ его производных проводится по особым точкам кривой сезонной динамики фитомассы. Попиксельное определение особых точек становится основой для территориального обобщения данных зондирования, выявления пространственных закономерностей варьирования динамики, исследования природных и антропогенных факторов варьирования, а также выявления фаз развития сельскохозяйственных культур.

Выбор модели

Класс моделируемых биологических систем был ограничен следующими особенностями:

1) Интервалы температуры (ΔT), давления (Δp) и плотности ($\Delta \rho$), благоприятные для интенсивного развития растений, малы по сравнению с максимальными значениями данных физических величин, ограничивающими выживаемость растений, то есть $\Delta T/|T|_B \ll 1$; $\Delta p/|p|_B \ll 1$; $\Delta \rho/|\rho|_B \ll 1$ (здесь индекс «В» относится к параметру, характеризующему «выживаемость»), что позволяет считать указанные параметры постоянными $T, p, \rho \approx const$.

2) Химические превращения в клетках растений и окружающей среде определяются n независимыми определяющими реакциями с участием A_{ik} веществ (i – номер определяющей реакции; $i = 1, \dots, n$; A_{ik} – химический символ k -го вещества в i -й реакции; $k = 1, \dots, N_i$) в предположении, что химические

превращения вещества протекают по i -й брутто-реакции
$$\sum_{k=1}^{N_i} A_{ik} \nu'_{ik} \rightleftharpoons \sum_{k=1}^{N_i} A_{ik} \nu''_{ik},$$

со скоростями ε_i , а биохимические превращения протекают с участием всех

веществ по i -й биохимической брутто-реакции
$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{N_i} A_{ik} \mu'_{ik} \rightleftharpoons \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{N_i} A_{ik} \mu''_{ik}.$$

Здесь n – число независимых химических реакций; ν'_{ik}, ν''_{ik} – стехиометрические коэффициенты k -го вещества A_{ik} до и после i -й химической

реакции соответственно; μ'_{ik}, μ''_{ik} – стехиометрические коэффициенты k -го вещества A_{ik} до и после i -й биохимической реакции соответственно.

3) Химические превращения не оказывают влияния на макроскопические параметры T , p и ρ , а реакции протекают вблизи состояния равновесия, причем их реагенты, содержащиеся в малых концентрациях, могут оказывать существенное влияние на скорость изменения биомассы. Таким требованиям удовлетворяет биологическая макрокинетика, записанная следующим образом:

$$F(c_{ik}) = (-KZ + B)\Psi,$$

где $F(c_{ik})$ – коэффициент скорости i -й биохимической реакции с участием k -го вещества A_{ik} ; K – коэффициент скорости увеличения биомассы; B – коэффициент скорости уменьшения биомассы,

$$Z = \frac{1}{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \prod_{k=1}^{N_i} c_{ik}^{\mu'_{ik} - \mu''_{ik}}}},$$

$$\Psi = \left(-\frac{1}{n}\right) \left[\sum_{i=1}^n \frac{m_k \varepsilon_i}{\rho} \sum_{k=1}^{N_i} \frac{(v'_{ik} - v''_{ik})(\mu'_{ik} - \mu''_{ik})}{c_{ik}} \right].$$

4) Скорости диффузии $\bar{\omega}$ подчиняются закону Фика, а коэффициенты диффузии $\bar{D}$ равны между собой, то есть $\bar{\omega} = \rho \bar{D} \text{grad} \ln c_i$ ($i = 0, \dots, N$), при этом

$$\sum_{i=0}^{N+1} \bar{\omega}_i = 0.$$

В указанных предположениях математическая модель макроскопической кинетики фитомассы q сводится к системе $N + 2$ уравнений вида:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} = D \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + D \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} + F_{(c_{ik})} q. \quad (1)$$

$$\frac{\partial c_{ik}}{\partial t} + u \frac{\partial c_{ik}}{\partial x} + v \frac{\partial c_{ik}}{\partial y} + w \frac{\partial c_i}{\partial z} = D \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial y^2} + D \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial z^2} +$$

$$+ \frac{m_k}{\rho} (v''_{ik} - v'_{ik}) \varepsilon \quad (i = 1, \dots, N). \quad (2)$$

Здесь $\frac{\partial}{\partial t}, \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}$ – операторы частных производных по времени (t) и

пространственным координатам x, y, z .

Данная система уравнений является достаточно общей, однако и в таком виде она не всегда отражает реальные процессы. Поэтому в настоящей работе был использован системный подход теории подобия к построению частных моделей, отражающих условия опыта или наблюдения, которые могут быть разными (Седов, 1970). Суть подхода состоит в обезразмеривании уравнений модели путем введения параметров таким образом, чтобы каждая обезразмеренная переменная модели была порядка единицы. При таком условии различия во вкладе переменных будут определяться значениями коэффициентов при них.

Безразмерные величины (выделены чертой сверху) были введены следующим образом:

$$t = \tau \bar{t}, x = \delta_x \bar{x}, y = \delta_y \bar{y}, z = \delta_z \bar{z}, u = U \bar{u}, v = V \bar{v}, w = W \bar{w}, q = Q \bar{q}, \varepsilon = \frac{1}{\tau_x} \bar{\varepsilon}. \quad (3)$$

При подстановке (3) в (1) и (2) было получено:

$$\frac{Q}{\tau} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{t}} + \frac{QU}{\delta_x} \bar{u} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{x}} + \frac{QV}{\delta_y} \bar{v} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{y}} + \frac{QW}{\delta_z} \bar{w} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{z}} = \quad (1')$$

$$= \frac{QD}{\delta_x^2} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{QD}{\delta_y^2} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{QD}{\delta_z^2} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{z}^2} + \frac{Q}{\tau} \bar{F}_{(c_{ik})} \bar{q}$$

$$\frac{1}{\tau} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{t}} + \frac{U}{\delta_x} \bar{u} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{x}} + \frac{V}{\delta_y} \bar{v} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{y}} + \frac{W}{\delta_z} \bar{w} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{z}} = \quad (2')$$

$$= \frac{D}{\delta_x^2} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{D}{\delta_y^2} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{D}{\delta_z^2} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{z}^2} + \frac{m_k}{\rho} (v''_{ik} - v'_{ik}) \frac{1}{\tau_x} \bar{\varepsilon}$$

С учетом того, что все коэффициенты в (1') и (2') имеют размерность $1/c$,

в (1') и (2') были введены обозначения

$$\frac{U}{\delta_x} = \frac{1}{\tau_x}; \frac{V}{\delta_y} = \frac{1}{\tau_y}; \frac{W}{\delta_z} = \frac{1}{\tau_z}; \frac{D}{\delta_x^2} = \frac{1}{\tau_{Dx}}; \frac{D}{\delta_y^2} = \frac{1}{\tau_{Dy}}; \frac{D}{\delta_z^2} = \frac{1}{\tau_{Dz}} \text{ и после сокращения в (2')}$$

Q было получено:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{t}} + \frac{1}{\tau_x} \bar{u} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{x}} + \frac{1}{\tau_y} \bar{v} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{y}} + \frac{1}{\tau_z} \bar{w} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{z}} = \\ = \frac{1}{\tau_{Dx}} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{1}{\tau_{Dy}} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{1}{\tau_{Dz}} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{z}^2} + \frac{1}{\tau_{xum}} \bar{F}_{(c_{ik})} \bar{q}. \end{aligned} \quad (1'')$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{t}} + \frac{1}{\tau_x} \bar{u} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{x}} + \frac{1}{\tau_y} \bar{v} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{y}} + \frac{1}{\tau_z} \bar{w} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{z}} = \\ = \frac{1}{\tau_{Dx}} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{1}{\tau_{Dy}} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{1}{\tau_{Dz}} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{z}^2} + \frac{m_k}{\rho} (v''_{ik} - v'_{ik}) \frac{1}{\tau_x} \bar{\varepsilon}. \end{aligned} \quad (2'')$$

Здесь $\tau, \tau_{xum}, \tau_x, \tau_y, \tau_z, \tau_{Dx}, \tau_{Dy}, \tau_{Dz}$ – характерные времена биологического процесса, химической реакции, конвективного переноса и диффузионного переноса вдоль осей x, y, z соответственно.

В результате обезразмеривания (1) и (2) была получена система уравнений (1'') и (2''), в которой каждая переменная близка к единице, то есть в новой системе вклад каждой переменной определяется коэффициентом при ней. Для количественного сравнения коэффициентов их следует привести к общему знаменателю. Для этого все члены (1'') и (2'') были разделены на коэффициент при первом слагаемом, $1/\tau$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{t}} + \frac{\tau}{\tau_x} \bar{u} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{x}} + \frac{\tau}{\tau_y} \bar{v} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{y}} + \frac{\tau}{\tau_z} \bar{w} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \bar{z}} = \\ = \frac{\tau}{\tau_{Dx}} \frac{\partial^2 \bar{q}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\tau}{\tau_{Dy}} \frac{\partial^2 \bar{q}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{\tau}{\tau_{Dz}} \frac{\partial^2 \bar{q}}{\partial \bar{z}^2} + \frac{\tau}{\tau_{xum}} \bar{F}_{(c_{ik})} \bar{q}. \end{aligned} \quad (1''')$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{t}} + \frac{\tau}{\tau_x} \bar{u} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{x}} + \frac{\tau}{\tau_y} \bar{v} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{y}} + \frac{\tau}{\tau_z} \bar{w} \frac{\partial c_{ik}}{\partial \bar{z}} = \\ = \frac{\tau}{\tau_{Dx}} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\tau}{\tau_{Dy}} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{\tau}{\tau_{Dz}} \frac{\partial^2 c_{ik}}{\partial \bar{z}^2} + \frac{m_k}{\rho} (v''_{ik} - v'_{ik}) \frac{\tau}{\tau_x} \bar{\varepsilon}. \end{aligned} \quad (2''')$$

Возможны различные варианты отношения характерных времен (коэффициентов при переменных), определяющих модель. Ниже будут рассмотрены некоторые из них.

Если в (1''') и (2''') $\frac{\tau}{\tau_x} \approx \frac{\tau}{\tau_y} \approx \frac{\tau}{\tau_z} \approx \frac{\tau}{\tau_{Dx}} \approx \frac{\tau}{\tau_{Dy}} \approx \frac{\tau}{\tau_{Dz}} \approx \frac{\tau}{\tau_{xum}} \approx 1$, то все

слагаемые одного порядка (единицы) и их вклад в развитие исследуемого

биологического процесса одинаков. Отсюда следует, что оснований для упрощения модели нет и возвращение в (1''') и (2''') к размерным переменным приведет к исходным уравнениям (1) и (2), то есть к математической модели общего вида.

Число различных моделей, получаемых из (1) и (2), соответствует числу различных комбинаций характерных времен и их соотношений. Если в (1''') и (2''') $\frac{\tau}{\tau_{хим}} \approx 1$, а $\frac{\tau}{\tau_x} \approx \frac{\tau}{\tau_y} \approx \frac{\tau}{\tau_z} \approx \frac{\tau}{\tau_{Dx}} \approx \frac{\tau}{\tau_{Dy}} \approx \frac{\tau}{\tau_{Dz}} \ll 1$, что соответствует протеканию

биологического процесса в слабоподвижной среде, то, пренебрегая вкладом в изучаемый биологический процесс переменных с малыми коэффициентами ($\ll 1$) и оставляя в обезразмеренных уравнениях лишь те слагаемые, у которых коэффициенты при переменных близки к единице (≈ 1), после возвращения к размерным переменным авторы получили математическую модель в форме:

$$\frac{dq}{dt} = F_{(c_{ik})} q \quad (i = 1, \dots, N). \quad (1a)$$

$$\frac{dc_{ik}}{dt} = \frac{m_k}{\rho} (v_{ik}'' - v_{ik}') \varepsilon. \quad (2a)$$

Система уравнений (1a) и (2a) в точности совпадает с системой уравнений модели микробного роста в неподвижном многокомпонентном субстрате, для которой было получено аналитическое решение (Гендугов, Глазунов, 2014)

$$q = \alpha (tz)^{-B} \exp\left(\frac{-K}{tz}\right), \quad (4)$$

применимое, следовательно, и к биопроцессу в слабоподвижной среде. К такому процессу можно отнести рост наземной фитомассы, характеризующейся вегетационным индексом NDVI, при оговоренных выше ограничениях модели.

Константы решения (4) имеют структуру (Гендугов, Глазунов, 2014), а выражение для результирующей начальной концентрации компонентов

субстрата z имеет вид: $z = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (c_{i1}^{\circ})}$.

Поскольку среднее геометрическое начальных концентраций всех компонентов субстрата постоянно ($z = const$), его введение в константы

уравнения (4), $\alpha z^{-B} = \lambda$ и $\kappa/z = k$ приводит к формуле зависимости показателя фитомассы от времени:

$$q = \lambda e^{-k/t} t^{-B}, \quad (5)$$

где λ – масштабирующий коэффициент; k – коэффициент скорости увеличения фитомассы в результате роста; B – коэффициент скорости уменьшения фитомассы в результате отмирания (рост и отмирание идут одновременно с различными скоростями, изменяющимися с течением времени).

Методика и результаты проверки модели

Решение модели (5) было использовано для выявления сезонной динамики показателей биомассы яровых и озимых культур Краснодарского края по многолетним данным (2010–2016 гг.), полученным с использованием спутникового сервиса ВЕГА (<http://sci-vega.ru>). Сезонная динамика вегетационного индекса агрокультур подчиняется уравнению (5), а константы уравнения и особые точки являются индивидуализирующими характеристиками (табл., рис.).

Таблица. Параметры модели (5) сезонной динамики вегетационного индекса NDVI яровых и озимых культур Краснодарского края

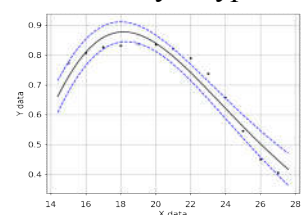
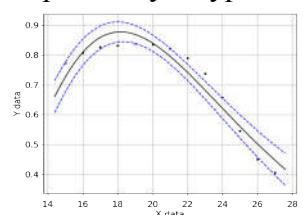
Год	Культура	λ	B	k
2016	яровые	2,80E+15	8,46E+00	2,17E+02
	озимые	2,68E+16	9,74E+00	1,77E+02
2015	яровые	8,90E+27	1,51E+01	4,05E+02
	озимые	4,26E+23	1,36E+01	2,71E+02
2014	яровые	9,87E+08	5,27E+00	1,05E+02
	озимые	9,64E+16	9,98E+00	1,87E+02
2013	яровые	3,09E+09	5,37E+00	1,25E+02
	озимые	3,44E+19	1,16E+01	2,06E+02
2012	яровые	1,61E+10	5,78E+00	1,33E+02
	озимые	3,73E+22	1,31E+01	2,57E+02
2011	яровые	6,69E+08	4,97E+00	1,19E+02
	озимые	8,47E+24	1,44E+01	2,86E+02
2010	яровые	2,29E+07	4,32E+00	8,83E+01
	озимые	6,67E+15	9,38E+00	1,70E+02

Год

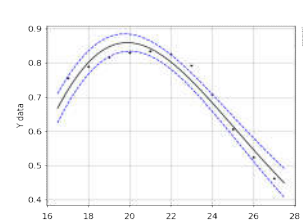
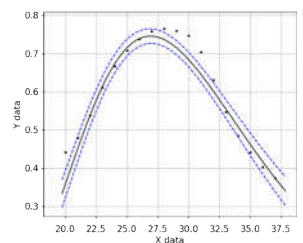
Яровые культуры

Озимые культуры

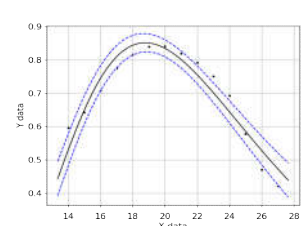
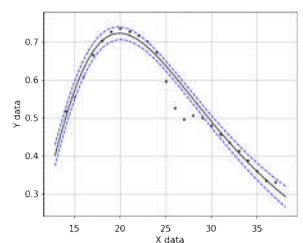
2016



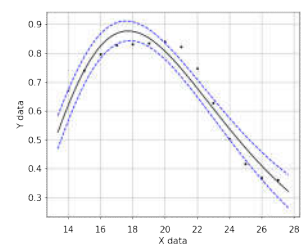
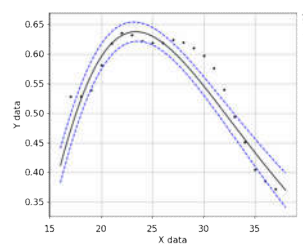
2015



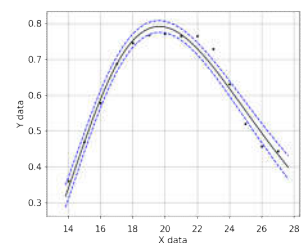
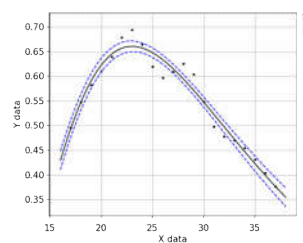
2014



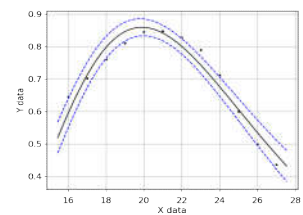
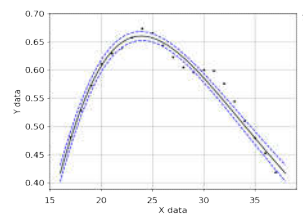
2013



2012



2011



2010

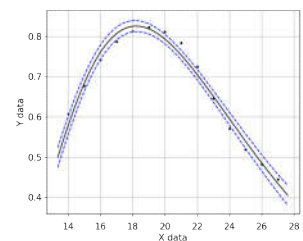
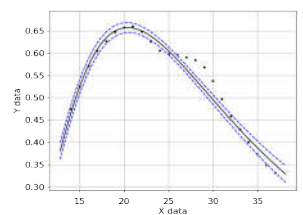


Рис. Сезонная динамика вегетационного индекса NDVI яровых и озимых культур Краснодарского края (точки – эксперимент; сплошная линия – расчет по уравнению (5); пунктирные линии – доверительные интервалы для модели; X data – время, недели в году; Y data – значение вегетационного индекса NDVI, б/р)

Заключение

Сезонная динамика вегетационного индекса NDVI яровых и озимых культур Краснодарского края подчиняется законам сохранения механики и макроскопической кинетики биологических реагирующих систем, что позволяет находить особые точки, разделяющие фазы роста, и подтверждает обоснованность применения модели к анализу состояния агроценозов.

Благодарности

Работа поддержана Грантом РФФИ № 18-34-00037 «Разработка количественных методов экологического мониторинга и оценки состояния почв и растительного покрова в окрестностях крупного горно-обогатительного комбината по данным дистанционного зондирования Земли».

Список литературы

1. Гендугов В. М., Глазунов Г. П. Макрокинетическая модель микробного роста на многокомпонентном субстрате // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2014. № 3. С. 10–16.
2. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970. Т. 1. 492 с.

DOI:

ТЕХНОЛОГИЯ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ (СЗФО)

Е. В. Василенко¹, Л. Л. Тарасова²

¹*ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии
«Планета»;*

²*ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской
Федерации»*

Технология спутникового мониторинга агрометеорологических условий проведения полевых работ основана на анализе данных об относительной влажности верхнего слоя почвы, получаемых с активного микроволнового зондировщика ASCAT (ИСЗ MetOp-A,B). Оценка состояния верхнего слоя почвы проводится по грациям. Новый информационный продукт может использоваться в области агрометеорологии, агрономии и страхования.