

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОБОГАЩЕНИЮ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ**

Зуянов Никита Сергеевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: zuyanov.ns@yandex.ru

Обмен CO_2 между атмосферой и биосферой является важным регулятором концентрации CO_2 в атмосфере и глобального климата. За последние 60 лет средняя концентрация CO_2 изменилась с 315 ppm (*parts per million*) в 1958 году до 410,94 ppm в октябре 2017 года и продолжает повышаться. Ценным источником информации и данных об обратной реакции лесных экосистем на обогащенную углеродом атмосферу стали эксперименты FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment). Однако проведение подобных экспериментов требует больших денежных и временных ресурсов, что делает вопрос подбора математической модели особенно актуальным.

В данной работе рассматривается распределенная математическая система из двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\delta_1 B c}{1 + \delta_2 c^2} + \alpha c + \beta + k_x \frac{\partial c}{\partial x} + k_y \frac{\partial c}{\partial y} + \Delta c \\ \frac{\partial B}{\partial t} = \text{NPP} - \frac{B}{\tau}. \end{cases}$$

Первое из них описывает динамику распределения CO_2 на плоскости, второе — динамику биомассы леса. Численная калибровка параметров системы выбрана была проведена с реальных данных экспериментов на площадке «Oak Ridge National Laboratory» (ORNL, Tennessee, USA). На сайте лаборатории [5] доступны данные измерений концентрации углекислого газа, погодных условий, биологических характеристик почвы, воздуха и деревьев. Для связи измерений показателя NPP с единицами биомассы было использовано связующее уравнение, приведенное в работе [1]:

$$\text{NPP}(C_a) = \text{NPP}_0 \left(1 + \gamma \ln \left(\frac{C_a}{C_n} \right) \right),$$

где C_a — фактическая концентрация CO_2 в атмосфере, C_n — нормальная концентрация, γ — корректирующий параметр.

Был проведен анализ положений равновесия системы без учета пространственной неоднородности, согласно которому имеется два положения равновесия: устойчивое — узел и неустойчивое — седло. Дана экологическая интерпретация результатов.

Для распределенной системы с заданными граничными условиями было проведено численное моделирование, имитирующее реальную местность. Получена анимация распределения плотности CO_2 и биомассы леса во времени, подтверждающая основные экологические аспекты выбранной модели.

Литература

1. Alexandrov G. A., Oikawa T. TsuBiMo: a biosphere model of the CO_2 -fertilization effect // Climate Research, vol. 19: 256–270, 2002.
2. Alexandrov G. A. Explaining the seasonal cycle of the globally averaged CO_2 with a carbon cycle model // Earth System Dynamics 5 (2014), 345–354.
3. Norby R. J., Iversen C M., Childs J., Tharp M L. ORNL Net Primary Productivity Data. Carbon Dioxide Information Analysis Center <http://cdiac.ornl.gov>, U.S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
4. Братусь А. С., Новожилов А. С., Платонов А. П. Динамические системы и модели биологии. М.: Физматлит, 2010.
5. FACE Data Management System www.facedata.ornl.gov