

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМОРЕГУЛЯЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАНЕТЫ В МОДЕЛИ "DAISYWORLD"

А.П. Мельник

Морской Гидрофизический Институт НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: Alex.Melnik@mail.ru

В статье рассмотрена модель "DaisyWorld", предложенная английским ученым Дж. Лавлоком [1]. Проведенные с моделью эксперименты показали, что сообщество, состоящее из двух видов растений, стабилизирует среднюю температуру поверхности планеты путем изменения количества отраженного солнечного тепла [2]. Для построения модели использован метод адаптивного баланса влияний [3].

Введение. Согласно модели, на планете, близкой по параметрам к Земле обитают маргаритки только двух видов: с темными и светлыми цветами. Светлые маргаритки отражают солнечный свет, понижая при этом температуру поверхности. Темные же поглощают солнечный свет, нагревая при этом планету. Оба вида способны существовать в температурном диапазоне от 5 до

40°C, имея одинаковые условия роста и распространения по планете. Целью экспериментов с моделью явилось подтверждение факта стабилизации температуры поверхности планеты в результате процессов саморегуляции растений.

Построение модели "DaisyWorld" методом адаптивного баланса влияний. Всю площадь поверхности планеты обозначим G_0 . Пусть поверхность планеты S_w , занятая светлыми маргаритками имеет температуру T_w , а поверхность S_b , занятая темными - температуру T_b . Температуру непокрытой площади S_g обозначим T_g . Фактор роста GF_w светлых и GF_b темных маргариток определяет диапазон температур, при котором возможно существование маргариток. Линейно растущая во времени солнечная радиация SR вызывает повышение локальных температур, в результате чего фактор роста увеличивает или уменьшает площадь поверхности, занятую этим видом маргариток.

Средняя температура планеты T_{cp} складывается из суммы количеств тепла, поглощенных светлой, темной и непокрытой поверхностями, а также тепла, вызванного ростом солнечной радиации. На рисунке 1 приведена диаграмма взаимодействия процессов в рассматриваемой модели.

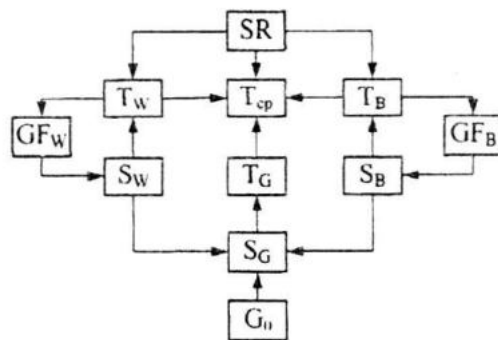


Рисунок 1 – Диаграмма взаимодействия процессов в модели

Площади, занимаемые светлыми и темными маргаритками, зададим следующим соотношением:

$$S_k = 2 * S_j * [1 - 0,1 * (S_j - a_{GF} * GF * SR)], \quad (1)$$

где коэффициент a_{GF} показывает влияние фактора роста GF на изменение площади маргариток и сохраняет постоянное

значение в пределах выбранного интервала времени (в наших расчетах $a_{GF} = 0,1$).

Для расчета фактора роста маргариток используем гауссовский закон:

$$GF = \exp [-0,1 * (22,5 - T)^2], \quad (2)$$

где T равно T_w или T_b .

Температура площади поверхности пропорциональна количеству солнечной радиации, умноженному на коэффициент, обратный отражающей способности. Пусть альbedo светлой площади равно 0,75, темной - 0,25, а альbedo непокрытой поверхности равно 0,5:

$$T_W = (1-0,75) * SR = 0,25 * SR \quad (3)$$

$$T_B = (1-0,25) * SR = 0,75 * SR \quad (4)$$

$$T_G = (1-0,5) * SR = 0,5 * SR \quad (5)$$

Количество тепла, поглощенное светлой, темной и непокрытой площадями:

$$Q_W = 0,25 * S_W \quad (6)$$

$$Q_B = 0,75 * S_B \quad (7)$$

$$Q_G = 0,5 * S_G \quad (8)$$

Средняя температура поверхности планеты T_{cp} равна:

$$T_{cp} = Q_G + Q_W + Q_B + SR \quad (9)$$

Временная зависимость средней температуры поверхности планеты T_{cp} от сценариев расселения маргариток обоих видов показана на рисунке 2.

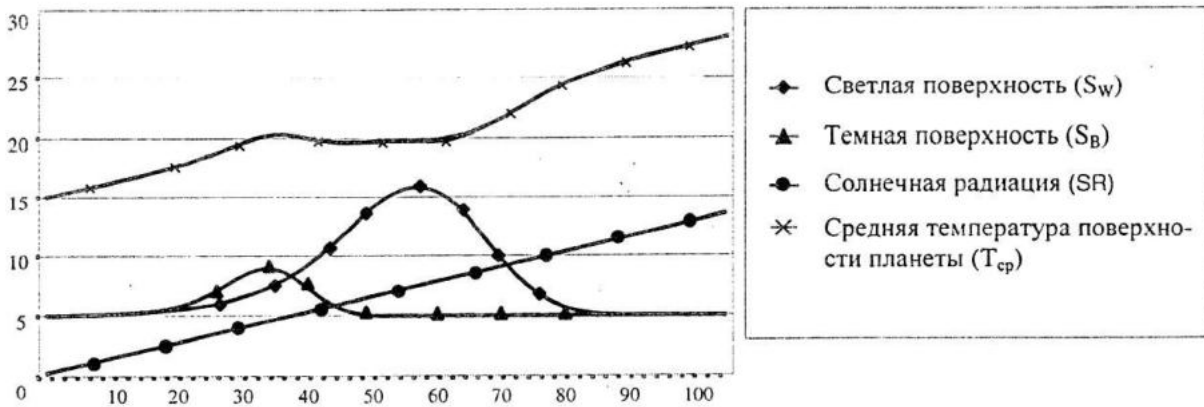


Рисунок 2 – Временная зависимость T_{cp} от возможных сценариев расселения маргариток обоих видов

Из рисунка 2 видно, что с 20 по 35 шаг темные маргаритки растут быстрее, т.к. температура их поверхности выше, чем у светлых. Затем, после 35 шага, эта температура становится слишком высокой, и они начинают отмирать. Светлая поверхность растет медленнее, но когда она начинает превышать темную, то, даже при постоян-

ном росте солнечной радиации, наблюдается стабилизация средней температуры планеты с 30 по 70 шаг. Во втором эксперименте имитируем случайные колебания солнечной радиации. Временная зависимость средней температуры поверхности планеты T_{cp} при случайных колебаниях солнечной радиации рассмотрена на рисунке 3.

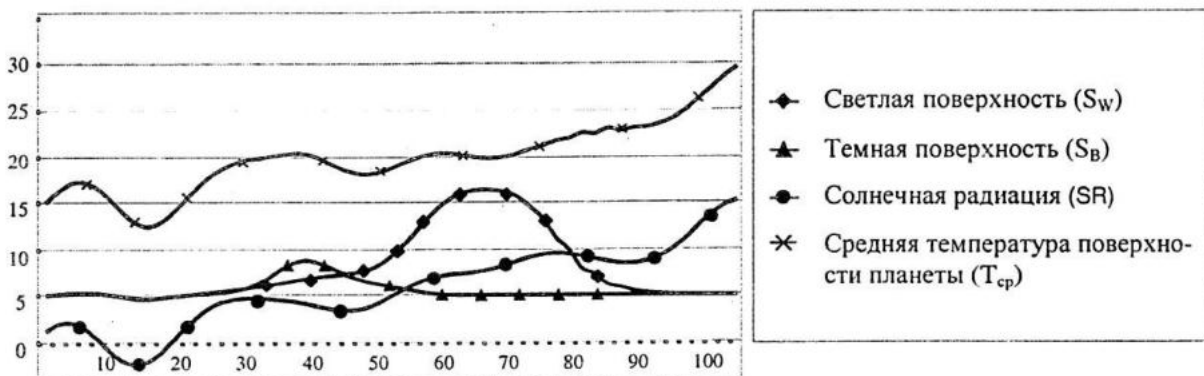


Рисунок 3 – Временная зависимость средней температуры планеты T_{cp} от сценариев расселения маргариток обоих видов при случайных колебаниях солнечной радиации

На рисунке 3 видно, что сначала, в интервале с 0 по 30 шаг, поверхность планеты остается непокрытой и ее средняя температура пропорциональна потоку солнечной радиации SR. Далее, в интервал времени с 30 по 40 шаг рост темных маргариток происходит быстрее светлых, в результате чего средняя температура поверхности несколько повышается, несмотря на некоторое снижение солнечной радиации. После 40 шага температура темной поверхности становится слишком высокой для жизни, и темные маргаритки начинают отмирать. Примерно с 45 шага светлая поверхность начинает преобладать и происходит стабилизация средней температуры планеты T_{cp} в период с 45 по 70 шаг, несмотря на рост солнечной радиации в этом временном интервале. После 70 шага температура светлой поверхности в свою очередь становится слишком высокой, и теперь начинают отмирать светлые маргаритки. В итоге, к 90 шагу планета возвращается в исходное состояние.

Заключение. Проведенные с моделью вычислительные эксперименты подтвердили предположение Лавлока о том, что сообщество, состоящее из темных и светлых маргариток, которые адаптируются к локальной среде обитания может стабилизировать в определенном интервале времени среднюю температуру поверхности планеты путем изменения количества отраженного солнечного тепла, компенсируя эффект увеличения яркости свечения солнца.

Как известно, уже около четырех миллиардов лет средняя температура Земли остается в пределах 10 – 22 °С. При этом солнечная радиация за этот период увеличилась на одну треть. С точки зрения Лавлока, такое постоянство температуры в пределах экосистемы должно поддерживаться определенными процессами саморегуляции [2]. Здесь ключевая концепция состоит в том, что эволюция сообщества биологических организмов связана с эволюцией окружающей их среды в масштабе планеты и вместе они составляют единую саморазвивающуюся систему, которая обладает саморегуляторными свойствами. Для существования саморегуляции экосистема должна об-

ладать способностью к адаптации при изменении внешних воздействий. Это становится возможным при наличии механизма отрицательных обратных связей, которые обеспечивают саморегуляцию в процессе эволюции.

Модель, рассмотренная в этой статье, в целом работает с отрицательной обратной связью, тогда как каждый из ее элементов в отдельности - с положительной. Это является характерной особенностью именно живых систем.

Результаты экспериментов показали перспективность исследования процессов развития в динамических системах методом адаптивного баланса влияний.

В частности, ABC-метод позволяет построить математическую модель экосистемы, если выделены ее главные процессы и определены причинно-следственные связи между ними.

Кроме того, ABC модели удобно использовать для имитационного моделирования сценариев развития процессов в экосистемах при различных внешних воздействиях ввиду быстрой сходимости итерационных алгоритмов решения уравнений [3].

Построенная математическая модель позволяет рассчитать реакцию системы на известные из наблюдений или имитируемые внешние влияния, например, солнечную радиацию SR при заданных коэффициентах влияния a_{GF} . Также с помощью этой модели возможен прогноз сценариев развития процессов на основе предполагаемых изменений внешних воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.J. Watson and J.E. Lovelock. 1983. Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. – *Tellus*, 1983. – 35B:284.
2. Lovelock J.E. Gaia: The practical science of planetary medicine. – Gaia book limited, 1991. – 192 pp.
3. Еремеев В.Н., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е. Моделирование эколого-экономических систем. Севастополь. "Экоци – гидрофизика", 2004. – 321 с.