Комментарий М.Д. Корзухина (ИГКЭ)
на Тезисы доклада Е.М. Володина «Углеродный цикл в модели климата ИВМ РАН» (научный семинар ИГКЭ, 26.05.2021)

Начиная с пионерной работы Cox 2000, глобальные климатические модели принято соединять с моделями глобальных геохимических циклов, в частности, с важнейшим из них – циклом углерода (C). Тем самым в рассмотрение включается обмен C между атмосферой, растительностью суши и океаном. Новый класс моделей (Earth's System Models) активно развивается все эти годы. К нему принадлежит предлагаемая докладчиком модель INMCM4.0, формализующая, в своем разрешении, все прцессы, необходимые для описания глобального цикла углерода.

Делее я коснусь только сухопутных экосистем и некоторых аспектов формализации в модели.

1. Фотосинтез F_{PSN} (имеется в виду брутто-ассимиляция CO2, GPP) вычисляется по эмпирической формуле:

(GPP) $F_{PSN} = f(TATM)\times f(WSOIL)\times f(RAD)\times f(QATM)\times f(CO2)$ (*)

Это странная формула: согласно Рис 2 Доклада, каждый сомножитель имеет размерность [μmol CO2 m-2 sec-1], так что F_{PSN} имеет абсурдную размерность [μmol CO2 m-2 sec-1]^5 вместо должной [μmol CO2 m-2 sec-1].

2. Основная неправильность счета фотосинтеза: утверждается, что он взят по Bonan 1996, где реально нет формулы (*), но фотосинтез считается по широко применяемой модели Farquhar et al. 1980 (почти мировой стандарт) в обобщении Collatz et al. (1991): "Photosynthesis in C3 plants is based on the models of Farquhar et al. (1980) and Collatz et al. (1991)". В модели Farquhar'a фотосинтез не может быть представлен произведением вида (*), означающим независимое действие факторов. Зависимости же, приводимые автором на Рис 2, взяты с Figure 26 Bonan 1996, и это примеры найденных по алгоритму Farquhar'a **частных зависимостей** Vmax от отдельных факторов (Vmax – максимальная скорость карбоксилирования, одна из внутренних функций модели Farquhar'a. Нет оснований брать произведение зависимостей с Рис 2 для нахождения F_{PSN}, как это сделано в INMCM4.0. В частности, приведенная формула (Bonan 1996, стр 107)

$$f(T_v) = \left[1 + \exp\left(\frac{-220000 + 710(T_v + 273.16)}{8.314(T_v + 273.16)}\right)\right]^{-1}$$

- это вовсе не температурная зависимость полного фотосинтеза, но зависимость внутренней функции модели Vmax(T_v).

3. Использование формулы для фотосинтеза (*) в основной динамической системе

$dCveg/dt = F_{PSN} - F_{PLR} - Cveg/\tau_{VEG} - F_{DFR}$,

$dCsoil/dt = Cveg/\tau_{VEG} - RS - F_{ERS}$

физически некорректно: как может скорость накопления биомассы (F_{PSN}) не зависеть от количества самой биомассы (*Cveg*) и быть просто константой (при фиксированных факторах)? То же повторено в Володин 2007. Например, в аналогичном уравнении модели JSBACH (Brovkin 2009) на месте F_{PSN} стоит, естественно, GPP, которое, конечно, зависит от *Cveg*.

4. Откуда в модели берется важнейшая переменная LAI ? - в Bonan 1996 LAI **задается**, а не вычсляется (Section 3), если то же в INMCM4.0, то это серьезное ограничение модели. Начиная с выдающейся пионерной работы Haxeltine, Prentice 1996, большинство моделей DGVM находит LAI применением различных оптимизационных алгоритмов. Так или иначе, но LAI должно быть независимой динамической переменной.

5. Центральный вопрос: что нового предлагает модель INMCM4.0 по сравнению с многочисленными имеющимися DGVMs ?

6. О представлении модели и результатов (я исхожу из того, что слайды доклада будут воспроизводить формулы и карты текста).

Рис. 1 с числами и многочисленными индексами совершенно не воспринимается.

Смысл формул для *Rm, Rg* вряд ли доступен аудитории ИГКЭ, состоящей в основном из геофизиков, и даже аккуратное разъяснение всех величин дела не улучшит (многие ли из слушателей знают, что такое дыхание поддержания и роста ?). Независимо от этого, формулы слишком громоздки для быстрого восприятия в ходе доклада. То же касается пяти формул для давления углекислого газа в океане.

Рис. 2. Легенда содержит Vmax25 – параметр модели Farquhar'a, который а) не используется в INMCM4.0 ввиду неиспользования самой модели, б) нигде не разъясняется, в) разные значения которого задают множество кривых на рисунках, совершенно излишнее для доклада.

«Рис. 4. Углерод почвы (кг/м2) по данным модели вверху и Zinke (1984)»: Данные Zinke (1984) принадлежат уважаемой ORN, однако, имеют 37-летнюю давность. Я бы привел, например, более свежую Harmonized World Soil Database (HWSD) (от 2008 года и дальше).

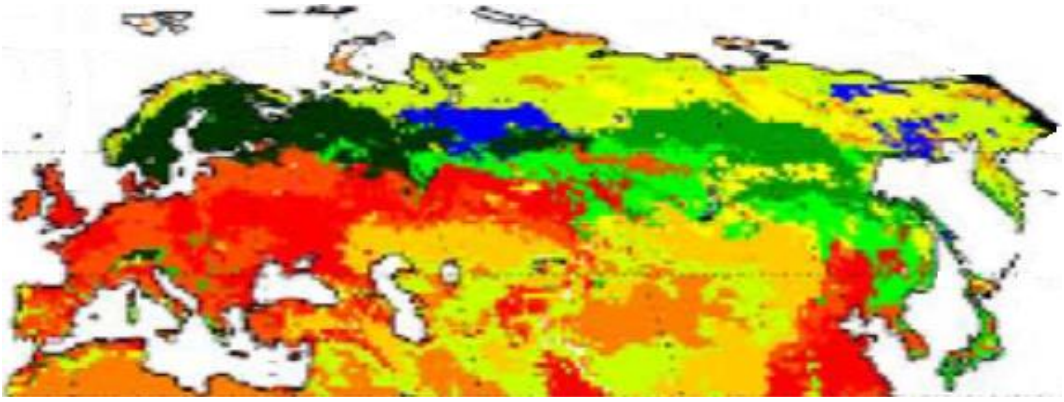
«Рис. 5. Первичная продукция, **микромоль/(м2 с)** в модели (вверху) и оценка по наблюдениям (внизу)»: это совершенно не воспринимаемые единицы. Не ясно даже «секунда» – для светового дня, для вегетационного периода или для года. Мировой стандарт лесной экологии для эмпирических и модельных данных, в частности, для DGVMs – NPP [gC m-2 annum-1]. «оценка по наблюдениям» - что за наблюдения, их много, обязательна ссылка; я бы привел, например, annual NPP MODIS.

«Рис.9. Среднеклиматический годовой ход **продукции роста**»: в экологии такого понятия нет.

Рис. 10: эта таблица с трудом воспринимается даже в тексте и абсолютно не годится для экрана (что значает «#» ?), не говоря о не разъясненных надписях справа «вверх ногами».

Таблица 1: «Данные Friedlingstein et al. (2006)»: область DGVM энергично развивается, и ссылка на 2006 год выглядит устаревшей.

Одним из результатов, обычно даваемых DGVMs, является воспроизведение географического расположения типов растительности (PFTs), это сильный референтный критерий (карты хотелось бы видеть в докладе).



В заключение я бы рекомендовал автору:
- модернизировать блок счета ассимиляции CO2 хотя бы до общепринятого стандарта по алгоритму Farquhar'a, а лучше совместить этот алгоритм с теорией оптимального поведения устьиц (по Cowan 1977); алгоритм описан в Arneth et al. 2002. Насколько мне известно, этот подход до сих пор не реализовывался в DGVMs.
- приводить в результатах все базовые переменные углеродного цикла CO2, и делать это в общепринятых в экологии обозначениях и размерностях [gC m-2 a-1]:
GPP, NPP (полное «брутто» и чистое «нетто» поглощение углерода)
RE (гетеротрофное дыхание экосистемы)
RH (гетеротрофное дыхание почвы)
NEP (чистая продукция экосистемы)
NBP (чистая биомная продукция)