

Комментарии к докладу Е.М. Володина (Институт вычислительной математики РАН) «Представление потоков тепла, влаги и импульса в климатических моделях. Нерadiационные потоки.»

А.В. Елисеев

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

В докладе Е.М. Володина рассматриваются основные методы параметризации потоков тепла, влаги и импульса в атмосфере, включая потоки с подстилающей поверхности и процессы в атмосферном пограничном слое. В частности, отмечается связь сопротивления испарению растениями с интенсивностью ассимиляции ими углерода.

Отдельно перечислены недостатки современного поколения (CMIP5) моделей, в том числе:

- Глобально осредненный поток скрытого тепла в моделях обычно несколько превосходит оценку по данным наблюдений. Например, оценка Hartmann et al. (2013) составляет 70-85 Вт/м², по данным модели ИВМ РАН 87 Вт/м².
- Занижение площади морского льда в Антарктике, особенно летом (рис.3).

В связи с этим можно отметить:

1. Можно выделить два типа параметризаций. Первый тип - это эмпирические формулы, не имеющие (в настоящее время) теоретических обоснований. Ко второму типу относятся формулы, полученные решением задач, основанных на общепризнанных уравнениях физики или других естественных наук, но при использовании тех или иных упрощающих предположений. Балк-формулы для потоков тепла, влаги и импульса относятся ко второму типу параметризаций.

Они могут быть получены в рамках закона турбулентной диффузии для переменной Ψ . Диффузионный поток для этой величины в вертикальном направлении

$$F_{\Psi} = D \partial \Psi / \partial z,$$

где, согласно известным соотношениям молекулярной физики, коэффициент диффузии D пропорционален вертикальному градиенту скорости ветра V :

$$D \sim | \partial V / \partial z |.$$

С учётом условий отсутствия скольжения на поверхности $V|_{z=0} = 0$ и, заменяя вертикальные производные их конечно разностными аналогами, можно получить соотношения

$$F_{\Psi} = C / V (\Psi_s - \Psi_a),$$

подобные балк-формулам. Следует также отметить, что балк-формулы используются не только для расчётов потоков влаги между атмосферой и подстилающей поверхностью, но и потоков других веществ (углекислого газа, метана, соединений азота и т.д.).

2. Сумма потоков скрытого и явного тепла в стационарном приближении компенсируется суммой радиационных потоков на поверхности. Как следствие, завышение потока скрытого тепла может служить индикатором завышения радиационного баланса поверхности.

3. Существуют эмпирические оценки перехвата осадков растениями (с последующим испарением этой воды с поверхности листьев или её стеканием в почву) и вклада транспирации в общую эвапотранспирацию. На глобальном уровне (только для суши, не покрытой ледовыми щитами) растения перехватывают от 7% (по комбинации данных прямых измерений и спутниковых данных MODIS; [Miralles et al., 2010]) до 11% (при учёте только данных прямых измерений; [Wang et al, 2007]). На региональном уровне этот вклад не превышает 30% (рис. 1; и максимален, в частности, в регионах

распространения внетропических лиственных, смешанных и хвойных лесов). Доля вклада транспирации в полную эвапотранспирацию глобально составляет около 2/3 [Schlesinger, Jasechko, 2014], и равно примерно тому же значению в регионах распространения тех же лесных экосистем (рис. 1).

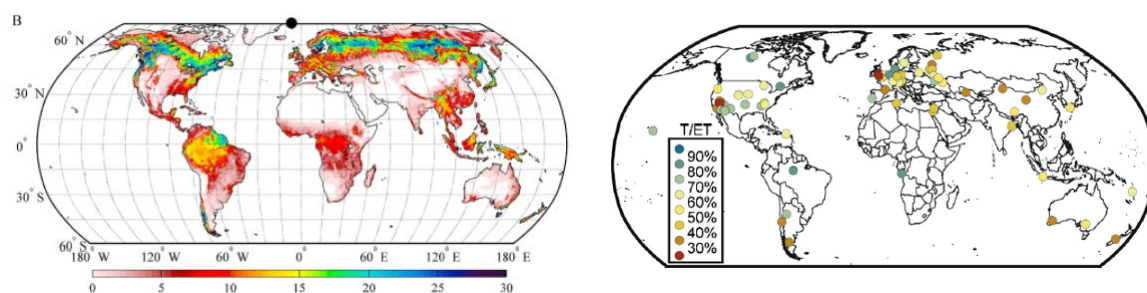


Рис. 1. Доля осадков, перехватываемых растительностью по комбинации прямых измерений и спутниковых данных MODIS [Miralles et al., 2010] (слева) и доля вклада транспирации в полную эвапотранспирацию [Schlesinger, Jasechko, 2014] (справа).

4. Обмен явным и скрытым теплом может модифицировать отклик системы на внешние воздействия. Это ярко проявляется в результатах проекта LUCID (Land-Use and Climate, IDentification of robust impacts) [Pitman et al., 2009]. Если в моделях без учёта отклика транспирации (возникающем из-за замены естественной растительности сельскохозяйственными угодьями) землепользование за последнее примерно столетие приводит у региональному похолоданию из-за увеличения альбедо (рис. 2). Учёт же соответствующего отклика транспирации способен изменить даже знак отклика.

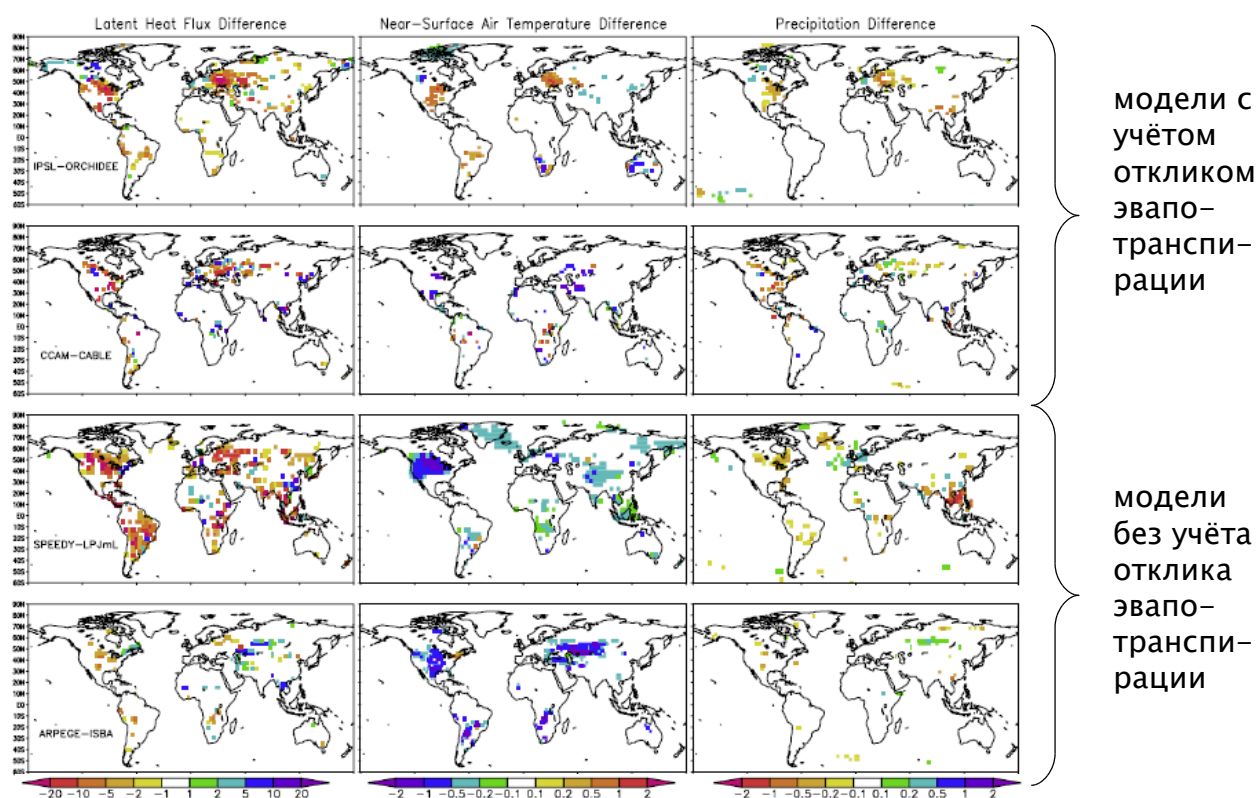


Рис. 2. Отклик в июне-августе на изменение площади сельскохозяйственных угодий (от 1870 г. к 1992 г.; наряду с другими внешними воздействиями на земную систему) по данным проекта LUCID [Pitman et al., 2009]. Представлены примеры для двух моделей с учётом влияния типа растительности на интенсивность транспирации (сверху) и для двух моделей без учёта такого отклика (снизу).

5. Вывод, связанный с воспроизведением морского льда Северного полушария моделями, может быть чувствителен к выбору характеристики морского льда. В частности, он несправедлив при выборе не площади распространения морского льда (оценивается по изолинии 15% для концентрации морского льда, как это сделано на рис. 3 тезисов доклада, являющегося копией рис. 9.23 из IPCC AR5), а именно площади морского льда (суммы произведения площади модельной ячейки на компактность льда; рис. 3 данных комментариев, см. также [Елисеев, Семенов, 2015]).

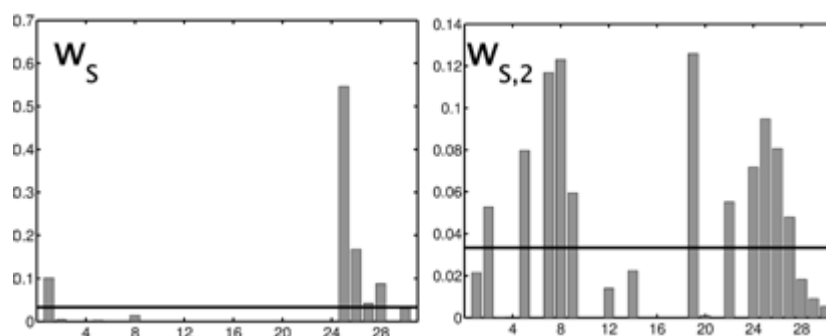


Рис. 3. Байесовые веса (функции правдоподобия) для моделей ансамбля CMIP5. Слева представлены веса, рассчитанные с учётом воспроизведения моделями средней многолетней за 1971-2000 гг. площади морского льда Северного полушария в марте и сентябре и коэффициентов трендов этой переменной в те же месяцы за 1960-2014 гг. Справа представлены подобные веса, но без учёта средней многолетней площади морского льда в марте. В качестве эталонных данных был выбран массив HadISST-2.

Литература

Елисеев А.В., Семенов В.А. Изменения климата Арктики в XXI веке: ансамблевые модельные оценки с учетом реалистичности воспроизведения современного климата // ДАН [в печати].

Miralles D.G., Gash J.H., Holmes T.R.H., de Jeu R.A.M., Dolman A.J. Global canopy interception from satellite observations // J. Geophys. Res.: Atmospheres. 2010. V. 115. № D16. D16122. doi 10.1029/2009JD013530.

Pitman A.J., de Noblet-Ducoudré N., Cruz F.T., Davin E.L., Bonan G.B., Brovkin V., Claussen M., Delire C., Ganzeveld L., Gayler V., van den Hurk B.J.J.M., Lawrence P.J., van der Molen M.K., Müller C., Reick C.H., Seneviratne S.I., Strengers B.J., Voldoire A. Uncertainties in climate responses to past land cover change: First results from the LUCID intercomparison study // Geophys. Res. Lett. V. 36. № 14. L14814. doi 10.1029/2009GL039076.

Schlesinger W.H., Jasechko S. Transpiration in the global water cycle // Agric. Forest. Meteorol. 2014. V. 189-190. P. 115-117. doi 10.1016/j.agrformet.2014.01.011.

Wang D., Wang G., Anagnostou E.N. Evaluation of canopy interception schemes in land surface models // J. Hydrol. 2007. V. 347. № 3-4. P. 308-318. doi 10.1016/j.jhydrol.2007.09.041.