СРАВНЕНИЕ ТЕМПОВ РОСТА ПЛАВУЧЕГО ЛЬДА ПРИ НАЛИЧИИ И ОТСУТСТВИИ КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА В ЕГО СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ

П.В. Богородский, О.Р. Сидорова

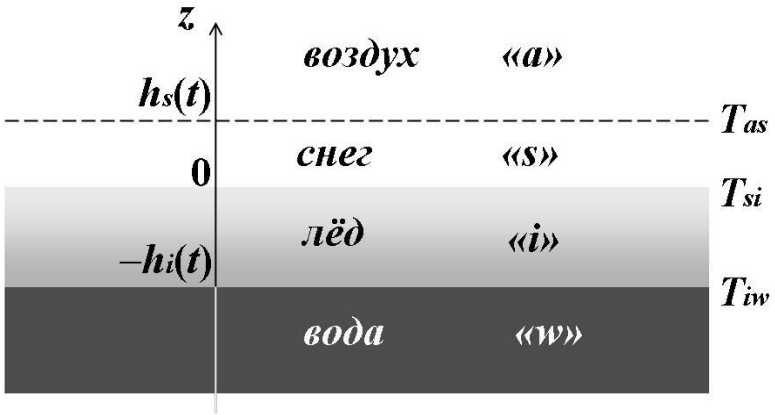
Арктический и Антарктический НИИ, С.-Петербург, Россия

bogorodski@aari.ru

Введение

Снежный покров является неотъемлемой частью зимнего арктического ландшафта, как на суше, так и на море. Несмотря на ряд различий, снежный покров всех природных сред имеет одинаковую структуру, состоящую из ледяного скелета и насыщенных воздухом пор, что существенно замедляет темпы замерзания лежащих под ним сред. Однако в порах снега может возникнуть конвекция, влияние которой на энерго- и массообмен не учитывается моделями льдообразования [Жекамухов и Шухова, 1999]. Авторам известна единственная работа по этому вопросу [Жекамухова, 2006], в которой методом малого параметра было получено приближённое решение задачи Стефана для грунта под снежным покровом постоянной глубины, на основании которого делался вывод о незначительности влияния конвективных движений воздуха на скорость промерзания грунта.

Модель: постановка и параметризации
[*Жекамухов М.К. и Шухова Л.З.*, 1999; 2. *Жекамухова И.М.*, 2006]



$$\frac{dh_i(t)}{dt} = -\frac{\lambda_i}{\rho_i L}\frac{T_{as}-T_{iw}}{\left[h_i(t)+\frac{\lambda_i h_s}{\lambda_s}\left(\frac{\exp(Pe)-1}{Pe}\right)\right]}$$

$$\lambda_s = 0.138 - 1.01\rho_s + 3.233\rho_s^2,\ Pe = \frac{Muh_s}{\chi_s^*},\ h_s = nh_i(t), \varepsilon = 1-\frac{\rho_s}{\rho_i},$$

$$M = \frac{\varepsilon\rho_a c_a}{\rho_s c_s}\left(1+\frac{L_w^2\rho_{w0}}{R_w\Theta_0^2\rho_a c_a}\right), u = \frac{\varepsilon\beta g K(T_{si}-T_{as})}{\nu},$$

$$\chi_s^* = \frac{\lambda_s}{\rho_s c_s}\left(1+\frac{L_w^2\rho_{w0}\lambda_s}{R_w D_w\Theta_0^2}\right),\ K = 0.77r^2\exp(-0.078\rho_s),$$

$$T_{si} = \frac{\lambda_s T_{as}+n\lambda_i T_{iw}}{n\lambda_i h_s+\lambda_s},\ T_{iw} = -mS_w,\ \rho_s = 67.92+51.23\exp\left(\frac{T_a}{2.59}\right),$$

$$h_s^* = h_i(t)\frac{\rho_w-\rho_i}{\rho_s}$$

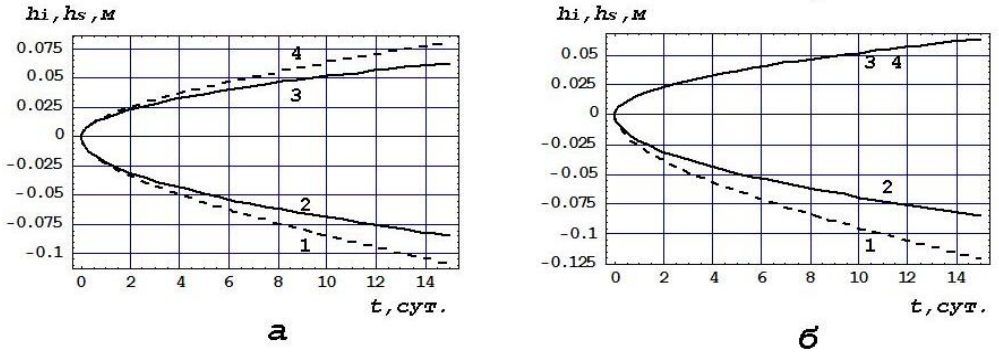
Модель: входные данные и параметры
[*Жекамухов М.К. и Шухова Л.З.*, 1999; 2. *Жекамухова И.М.*, 2006]

ρ_{w0} =4.84×10^{-3} кг/м3; *cs* =2.1×103 Дж/(кг ºС); L =3.335×10^{5} Дж/кг; L_w =2.84×10^{3} Дж/кг;
χ^*_s =1.181×10^{-6} м^2/с; λ_a =0.023 Вт/(мºС); c_a = 10^3 Дж/(кг ºС); ρ_a =1.29 кг/м^3; ν = 11.7×10^{-6} м^2/с;
β= 3.67×10^{-3} 1/ ºС; R_w = 461 Дж/(кгºС);
T_a = –12°С; S_w =30‰; m = –0.054 °С/‰; r = 5 мм;

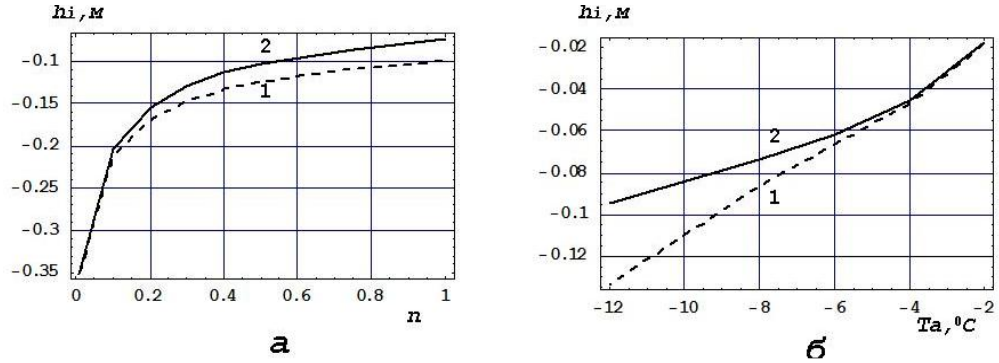
<u>n=0.5</u>

M = 1.6×10^{-2}; u = 1.24 мм/с; ε = 0.93; K =4.52×10^{-8} м^2 ; ρ_s = 68.42 кг/м^3; T_{si}, = – 2.31°С;
T_{iw},= – 1.62°С; χ_s^* = 7.08×10^{-7} м^2/с; h_s^*=1.21605 $h_i(t)$

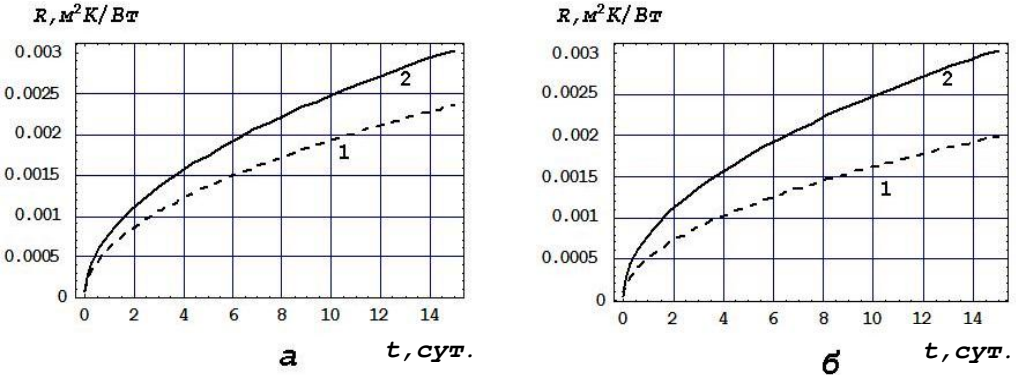
Результаты



Динамика толщины льда (1, 3) и снега (2, 4) при наличии (пунктирные кривые) и отсутствии конвекции (сплошные кривые) для одинаковых темпов снегонакопления (n=0.5) и одинаковых глубин снега (n=0.5 и n=0.75)



Зависимость толщины льда от глубины снега (а) и температуры воздуха (б) при наличии (1) и отсутствии конвекции (2) на 15-ые сутки льдообразования (n=0.5)



Динамика термического сопротивления снежного покрова при наличии (пунктирные кривые) и отсутствии конвекции (сплошные кривые) для одинаковых темпов снегонакопления (а) и одинаковых температур поверхностей снега и льда (б) (n=0.5)

Заключение

Несмотря на упрощения модельного подхода, влияние конвекции в порах снега на тепломассоперенос во льду не вызывает сомнений. Это свидетельствует о необходимости её учёта в энерго- и массообмене атмосферы с замерзающим морем, особенно в начальный период льдообразования, наиболее интенсивный с точки зрения теплового и динамического взаимодействия обеих сред.

Из-за трудностей работ на морском льду, полученные оценки пока не могут быть подтверждены экспериментально. Полученные результаты нуждаются в проверке с помощью современных средств (ИК радиометров, игольчатых зондов, датчиков тепловых потоков, и т.п.). Поэтому, несмотря на правдоподобность их величин на качественном уровне, их следует рассматривать только как приблизительные, характеризующие качественные значения параметров эволюции рассматриваемой системы.

Можно констатировать, что их величины отвечают интуитивным представлениям о процессе, а также способствуют углублению современных представлений об особенностях процессов тепло- и массопереноса, сопровождающих льдообразование в арктических условиях и стимулируют дальнейшее продолжение исследований этих процессов.

Спасибо за внимание!