

Изучение криолитозоны Зеравшанского и Гиссарского хребтов

В.Е. Гагарин, А.В. Кошурников, Д.М. Фролов,
Э.И. Додобоев, И.А. Набиев

denisfrolov@mail.ru

(МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)

В работе приведены краткие результаты изучение криолитозоны Зеравшанского и Гиссарского хребтов и описание численного метода для оценки глубины промерзания грунта на основе данных о толщине снежного покрова и температуре воздуха. Приведен пример использования этого численного метода оценки глубины промерзания для составления карты криолитозоны Зеравшанского и Гиссарского хребтов

Вывод уравнения для скорости изменения глубины промерзания грунта :

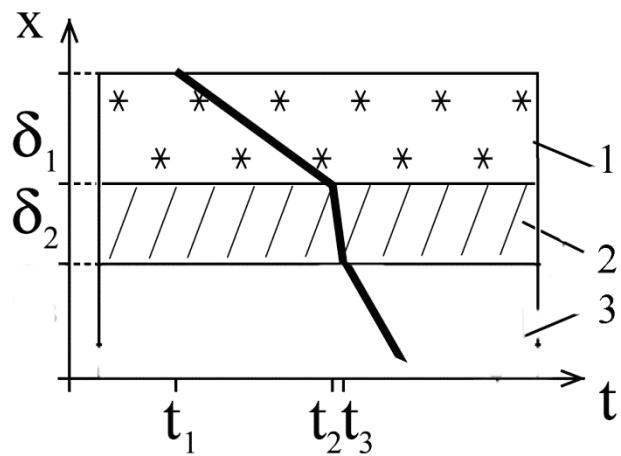


Схема учитывает намерзание грунта снизу (3) на массиве мерзлого грунта (2), покрытого снегом (1) в зимний период на основе данных о ежедневной температуре воздуха и толщине снежного покрова. Уравнение теплового баланса записывалось как $F_1 = cLV + F_2$, или

$$dh_{mg}/d\tau = V = (F_1 - F_2)/cL, \text{ где}$$

F_1 - отток тепла через снежный покров и замёрзший грунт от фронта промерзания ($\text{Вт}/\text{м}^2$);
 cLV - расход тепла на фазовый переход,
 c -влагосодержание грунта ($1-4 \text{ кг}/\text{см}^3\text{м}^2$), (последнее значение соответствует полному заполнению пор водой у легкой глины с плотностью $2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ и коэффициентом пористости 0,617)

L -энергия фазового перехода ($335 \text{ кДж}/\text{кг}$), V -скорость движения фронта промерзания ($\text{см}/\text{с}$)
 F_2 – приток тепла от охлаждения талого грунта перед фронтом промерзания ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Тепловой поток выражался по закону Фурье через градиент температуры и теплопроводность как $F = -\lambda (\text{grad } T)$, а теплопроводность и тепловой поток через комбинацию из двух сред (снег и мерзлый грунт) может быть выражена как:

Здесь $T_{возд}$ – температура воздуха, h_c и h_{mg} – толщина снега и глубина промерзания, а λ_c и λ_{mg} – теплопроводность снега и мёрзлого грунта.

$$F_1 = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} = -\frac{\Delta T}{\left(\frac{\Delta x_c}{\lambda_c} + \frac{\Delta x_{mg}}{\lambda_{mg}} \right)} = \frac{-T_{возд}}{\left(\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_{mg}}{\lambda_{mg}} \right)}$$

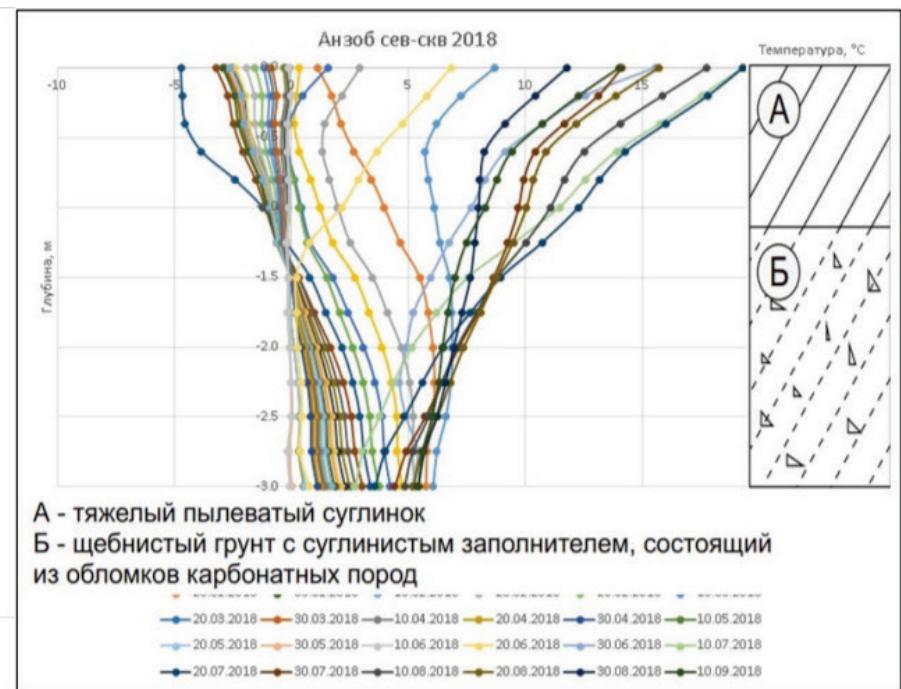
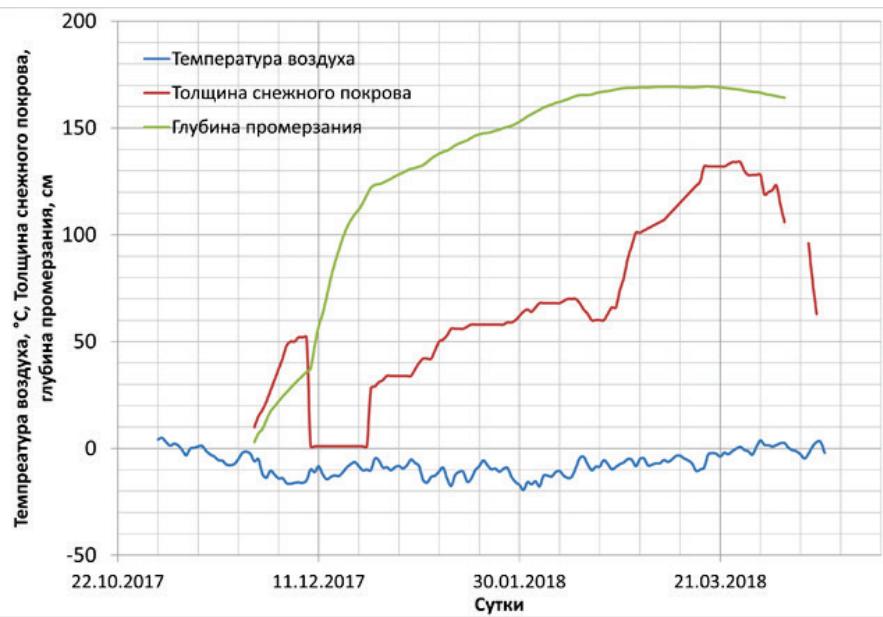
Предполагалось, что на глубине 10 м в грунте находится точка нулевых годовых колебаний температуры T_0 со значением около 3°C. Поэтому

$$F_2 = -\lambda_{m\sigma} \frac{\Delta T}{\Delta x} = \lambda_{m\sigma} \frac{T_0}{10 - h_{m\sigma}}$$

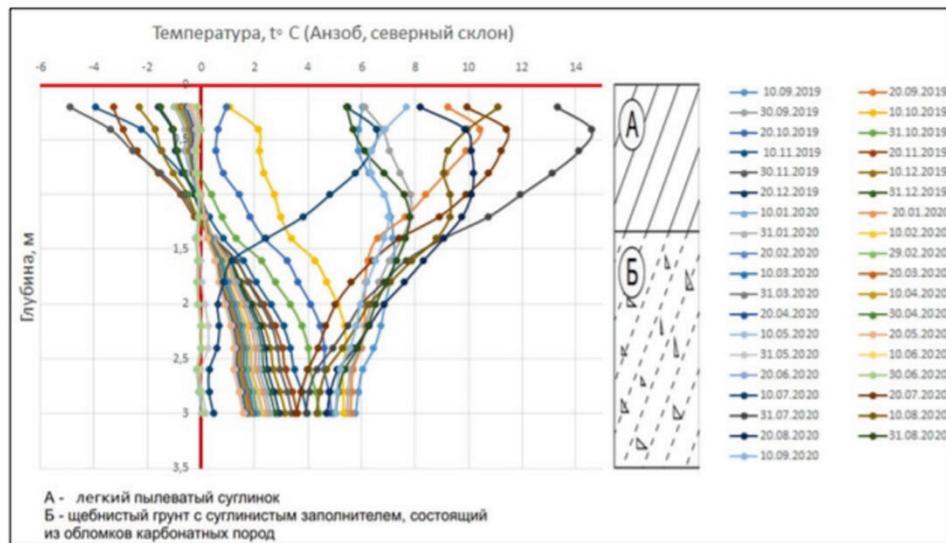
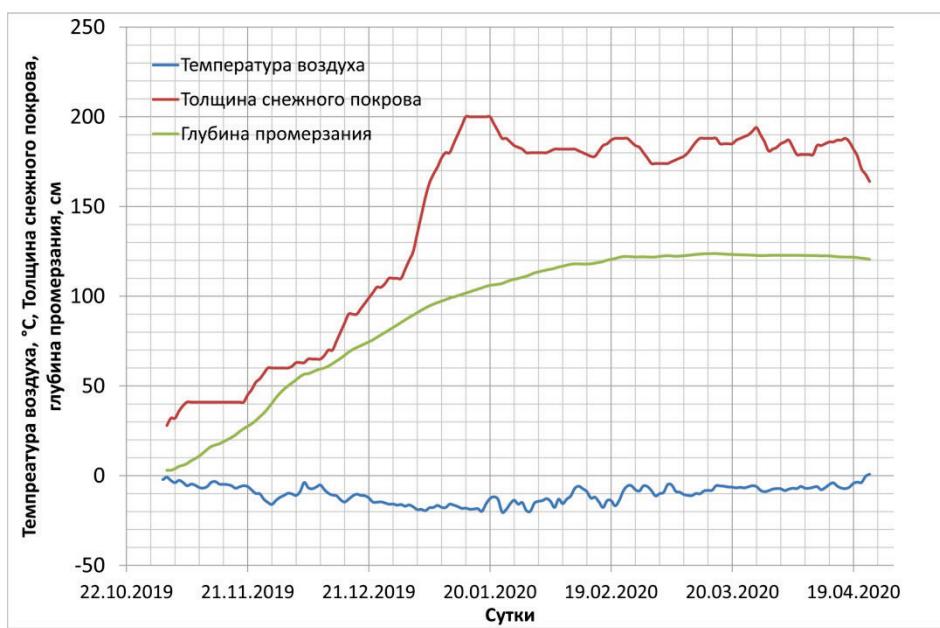
Средняя теплопроводность снега λ_c – была взята как 0,18 Вт/м°C, а средняя теплопроводность талого и мерзлого глинистого грунта λ_{tg} и λ_{mg} – была взята как 1,5 и 1,8 Вт/м°C.

Аппроксимация дифференциального уравнения для изменения глубины промерзания грунта проводилась явным методом Эйлера: $h_{mg}(t_{n+1}) = h_{mg}(t_n) + \Delta t V(t_n)$. Вычисления производились с шагом в один день. На первый момент предполагалось, что толщина мерзлого грунта h_{mg} равна 0,5 см. На каждом шаге по времени (каждый день) вычислялась (рассчитывалась) скорость промерзания V и значение толщины мерзлого грунта h_{mg} для следующего дня (шага по времени).

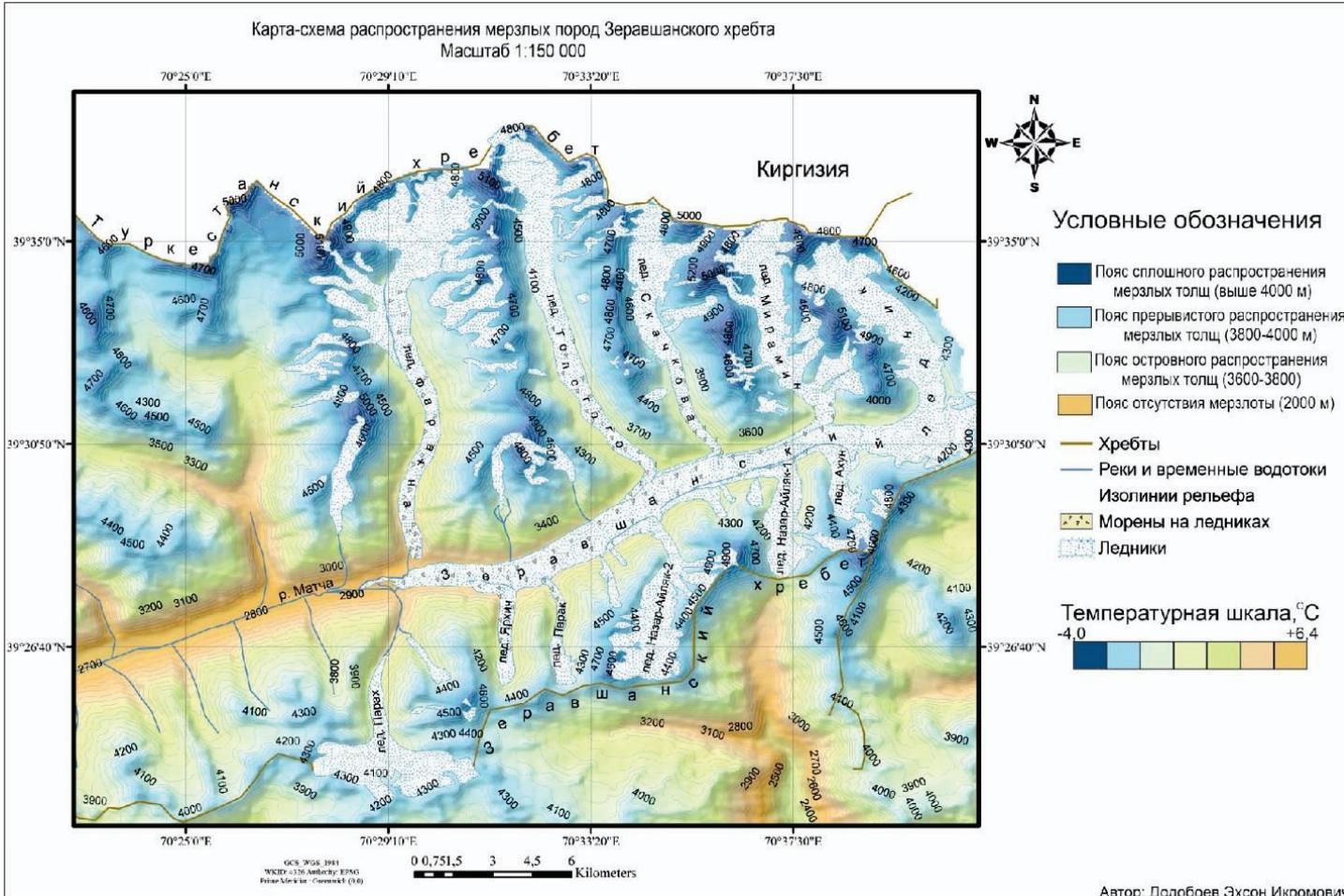
Изменение глубины промерзания грунта на Анзобском перевале зимой 2017/2018 г



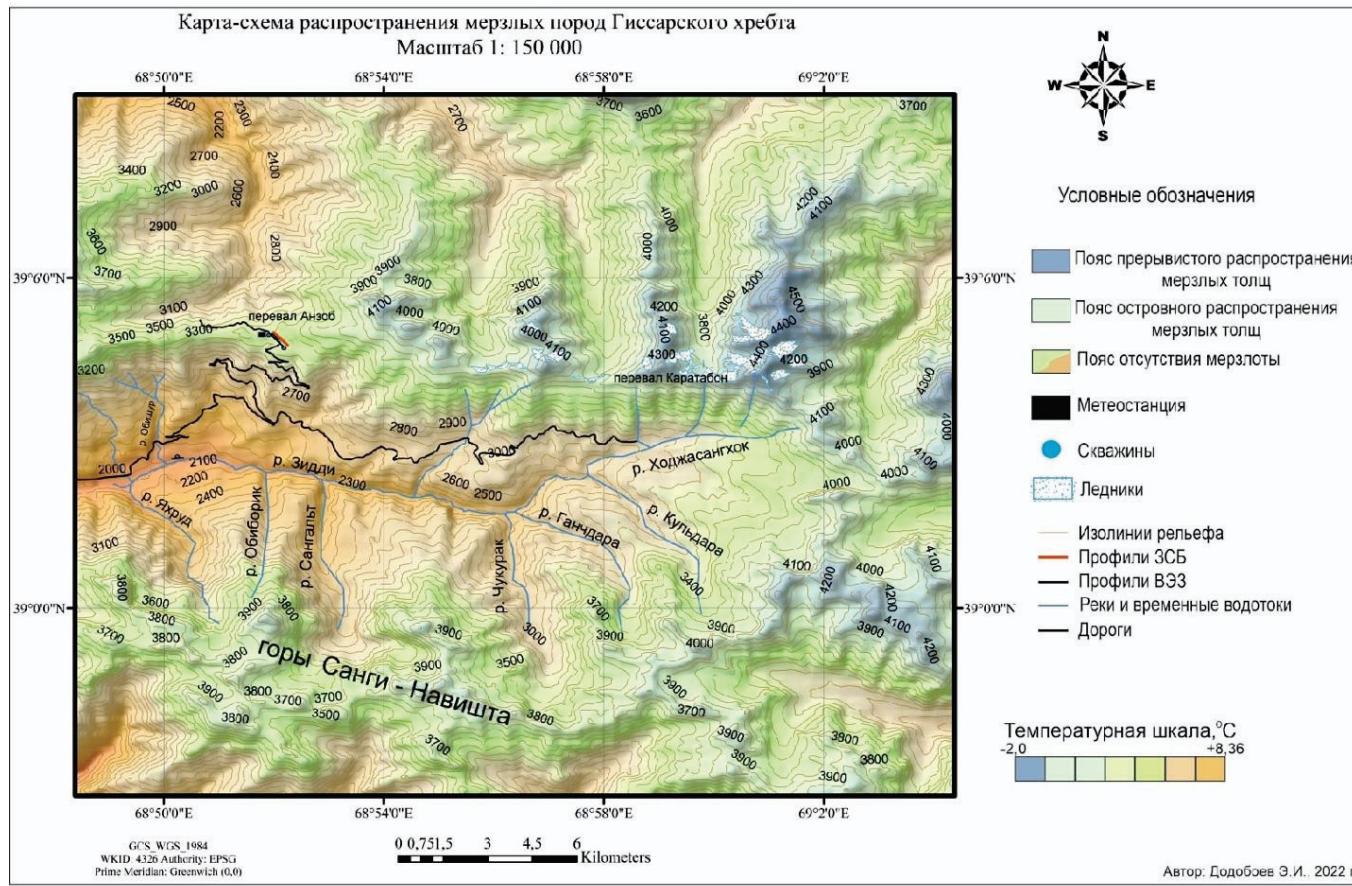
Изменение глубины промерзания грунта на Анзобском перевале зимой 2019/2020 г



Карта криолитозоны в верховье реки Зеравшан (река Матча).



Карта криолитозоны в верховье реки Варзоб (река Зидех).



Заключение

Расчётная разностная схема была построена посредством аппроксимации выведенного дифференциального уравнения для изменения глубины промерзания грунта для решения численным методом. По полученной разностной схеме были произведены расчёты изменения глубины промерзания грунта и сравнение полученных результатов расчётов с данными фактических наблюдений.

Примененный метод расчёта является хорошо физически обоснованным.

Решение по методу хорошо описывает процесс изменения глубины промерзания в течение зимнего сезона. Важным для успешной работы метода является наиболее возможно точное задание начальных данных.

Рассмотренный метод линейных градиентов отличается от рассмотренного ранее, например, в классическом учебнике А.Н. Тихонова и А.А. Самарского "Уравнения математической физики" (1-ое издание - 1951 г) и в ряде других случаев (у А.В. Павлова, 1966) тем, что там для расчёта сезонной динамики глубины промерзания грунта используются дифференциальные уравнения теплопроводности второго порядка в частных производных, а здесь используется обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка. И его решение численным методом намного проще и может легко производиться в программе Excel.

Опыт использования этого численного метода оценки глубины промерзания для составления карты криолитозоны Зеравшанского и Гиссарского хребтов оказался успешным

A photograph of a winter landscape. In the foreground, there are several birch trees with white bark and dark, peeling patches, heavily laden with thick, white frost. The ground is covered in a layer of snow. In the background, there are more trees and a rolling hillside, all under a clear, pale blue sky.

Спасибо за внимание