

Секция «Вычислительная математика, математическое моделирование и численные методы»

## Моделирование промерзающего грунта с учетом фазового перехода «вода—лед»

Научный руководитель – Сибин Антон Николаевич

*Пекарская Татьяна Андреевна*

*Аспирант*

Алтайский государственный университет, Математический факультет, Кафедра дифференциальных уравнений, Барнаул, Россия

*E-mail: pekarskayat@yandex.ru*

В докладе рассматривается математическая модель промерзания и протаивания грунта с учетом фазового перехода «вода—лед» [3, 5] и капиллярных сил.

Грунт рассматривается как сплошная среда, состоящая из четырех фаз: воды, воздуха, льда и грунта. Исследуются взаимодействия между этими фазами через математические уравнения, описывающие сохранение массы, фильтрацию двухфазной среды и тепловой баланс. Система уравнений дополняется гипотезами о постоянной плотности фаз и не учитываются процессы сублимации и испарения. Предполагается, что частицы льда и грунта неподвижны, и температуры всех фаз совпадают.

В работе представлен алгоритм для численного решения одномерной задачи замораживания влагонасыщенного грунта с учетом наличия остаточной влаги в мерзлой зоне. Проведена верификация математической модели и зависимости для интенсивности фазового перехода «лед-вода» опирающейся на идеи из работ [1, 2, 5] на экспериментальных данных из литературных источников [5]. Коэффициент теплопроводности грунта определяется на основе теории теплопроводности многокомпонентных систем из работы [4].

Проведено численное исследование однородного полностью промерзшего грунта в начальный момент времени. Вода не поступает через верхнюю границу рассматриваемой области, образовавшаяся в результате фазового перехода вода фильтруется в нижние слои грунта. Установлены граничные условия для температуры и давление на верхней границе, а также отсутствие ветра. На нижней границе задана температура с условиями непротекания для всех фаз. Два численных эксперимента проводятся для анализа влияния температуры воздуха на фильтрацию. В первом эксперименте поддерживается постоянная положительная температура на поверхности, во втором температура чередуется между положительными и отрицательными значениями. Результаты показывают значительные изменения пористости в верхних слоях грунта во втором эксперименте, что затрудняет фильтрацию талых вод из-за формирования областей с меньшей пористостью и льда. Первоначально водонасыщенность изменяется незначительно, так как вода фильтруется вниз и замерзает.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 24-71-00058).

### Источники и литература

- 1) Колесников А.Г. К изменению математической формулировки задачи о промерзании грунта // ДАН СССР. 1952. Т. 82. № 6. С. 889-891.
- 2) Сибин А. Н., Папин А. А. Тепломассоперенос в тающем снеге // Прикладная механика и техническая физика. 2021. Т. 62. № 1. С. 109-118.

- 3) Сибин А.Н., Папин А.А. Моделирование движения растворимой примеси в тающем снеге // Прикладная механика и техническая физика. 2024. Т. 65. № 1. С. 58-696.
- 4) Цыпкин Г.Г. Фазовый переход вода–лед в ненасыщенном грунте при наличии капиллярного давления// Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2019. Т. 5. С. 93-101.
- 5) Bronfenbrener L. Non-equilibrium crystallization in porous media: Numerical solution// Cold Region Science and Technology. 2013. Vol. 85. P. 137-149.