

**АЛГОРИТМЫ РАСЧЁТА ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ  
АТМОСФЕРНО-ПОЧВЕННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

Е.А. Макеев

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Е.А. Дюкарев

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, 634055

E-mail: [forword@sibmail.com](mailto:forword@sibmail.com)

**ALGORITHMS FOR THE SNOW COVER DEPTH CALCULATION FROM MEASUREMENTS  
OF THE SOIL-ATMOSPHERE REGISTERING COMPLEX**

E.A. Makeev

Scientific Supervisor: PhD E.A. Dyukarev

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,

Russia, Tomsk, Academichesky ave, 10/3, 634055

E-mail: [forword@sibmail.com](mailto:forword@sibmail.com)

***Abstract.** Algorithms for the calculation of snow cover depth from measurements of the soil-atmosphere registering complex are presented. Methods for determining the air-snow interface from the temperature sensors near the soil surface are discussed. New method based on the numerical solution of the heat equation developed to determine the thickness of the snow cover depth and show thermal properties.*

**Введение.** Основными величинами, характеризующими снежный покров, являются его высота и плотность. Располагая данными о высоте и плотности снега, можно вычислить запас воды в снежном покрове, сведения о котором представляют большой интерес для ряда отраслей народного хозяйства.

**Метод измерения и расчёта высоты снежного покрова.** Профиль температуры измеряется, используя измерительную рейку, представляющую трёх проводную печатную плату с установленными на ней малогабаритными цифровыми датчиками температуры, количество которых обеспечивает разрешающую способность, а малое сечение рейки снижает паразитную теплопередачу и уменьшает влияние на естественный снежный покров [1].

Теплообмен между приземными слоями атмосферы и грунтами в значительной мере определяется снежным покровом [2]. Теплозащитные свойства снежного покрова зависят от коэффициента теплопроводности снега.

В снежном покрове как пористой среде теплопередача происходит и за счет кондуктивной теплопроводности через ледяные кристаллы, и путем конвекции – диффузии водяного пара. Теплоперенос за счет диффузии водяного пара обусловлен градиентом давления водяного пара, которое зависит от градиента температуры в снежном покрове. От градиента температуры зависит также кондуктивный теплоперенос между неподвижными кристаллами снега. Поток тепла в снежном покрове зависит от градиента температуры в нем и коэффициента пропорциональности, который называется коэффициентом эффективной теплопроводности снега [2].

Для расчёта высоты снежного покрова требуется определить границу между снежным покровом и атмосферой, которую можно опередить за счёт разного коэффициента эффективной теплопроводности воздуха и снежного покрова.

**Алгоритмы расчёта высоты снежного покрова.** В результате обработки полученных данных измерений профиля температуры были разработаны два алгоритма определения границы между снежным покровом и воздухом. В алгоритмах сравнивается разность температуры между соседними датчиками с критерием границы между воздухом и снежным покровом, а результатом является номер датчика. В первом алгоритме разница определяется между значениями верхнего и нижнего датчика, а критерием границы является перепад в  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Во втором алгоритме используется разница между нижним и верхним датчиком, и высота снежного покрова определяется, если разница между значениями меньше  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Разрешающая способность равна расстоянию между датчиками, которое может быть 25 или 50 мм. Измерения профиля температуры по времени приведены на рис. 1. Высота снежного покрова по данным ультразвукового датчика 385 мм. Расчёты выполненные по первому алгоритму определяют высоту от 350 до 375 мм, а по второму от 375 до 400 мм.

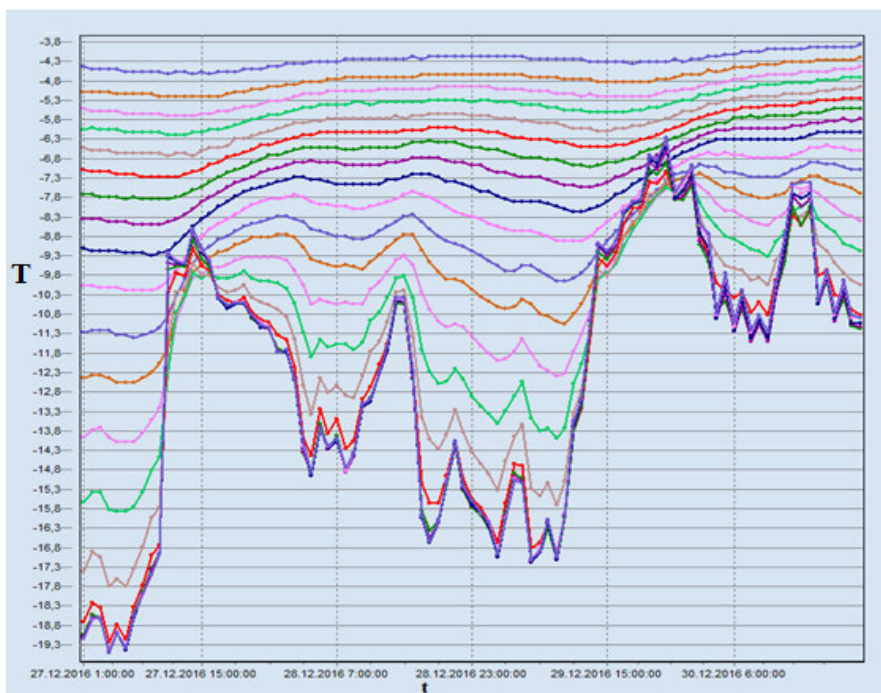


Рис. 1. Профиль температуры

В результатах расчёта выполненного по первому алгоритму присутствуют значительные ошибки. Температура воздуха меняется с большей амплитудой, чем температура в снеге, поэтому температура профиля выравнивается и не удаётся определить перепад в  $0,5^{\circ}\text{C}$ , необходимый для определения границы между воздухом и снегом, особенно во время процесса снеготаяния. Используя для расчёта второй алгоритм, определение границы между снегом и воздухом происходит со значительно меньшим количеством ошибок, но присутствуют значения, завышающие реальную высоту снежного покрова. Сравнения результатов расчёта по двум алгоритмам с данными измерения ультразвукового датчика приведены на рис. 2.

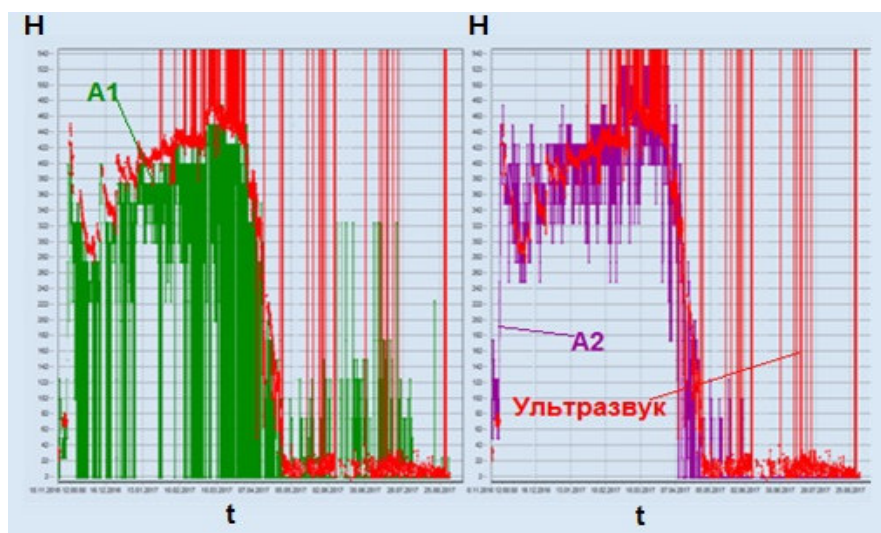


Рис. 2. Результаты расчёта

**Новый метод расчёта высоты снежного покрова.** Метод основан на моделировании профиля температуры. Одним из наиболее распространенных методов расчета динамики тепловой энергии является численное решение уравнения теплопроводности [3]. Для этого используются методы конечных разностей и конечных элементов. Уравнение теплопроводности [3] имеет вид

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \times \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad (1)$$

где  $\theta$  – температура, °С;  $t$  – время;  $z$  – вертикальная координата, м;  $\frac{\lambda}{c\rho}$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

Для решения уравнения (1) начальным условием будет значение датчиков профиля температуры в определённый момент времени, а граничными условиями температура верхнего и нижнего датчика измерительной рейки по времени.

Разработан алгоритм решения уравнения (1) с помощью метода прогонки с заданием коэффициента температуропроводности для разных сред. Входными данными для предположительного значения высоты снежного покрова используются данные расчёта по второму алгоритму. Расчёт производится для интервала равного одним суткам. Варьируя высоту снежного покрова и коэффициент температуропроводности, подбирается наилучшее совпадение результатов моделирования и данных натуральных измерений профиля температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2542598 Российская Федерация, МПК G01W 1/14. Датчик высоты снежного покрова / Кураков С.А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. - № 2013136310/28; заявл. 01.08.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5. – 4 с.
2. Павлов А. В. Мониторинг криолитозоны / А. В. Павлов. Новосибирск, Академ. изд-во “Гео”, 2008. – 229 с.
3. Кучмент Л.С., Гельфан А.Н., Демидов А.И. Модель формирования стока на водосборах зоны многолетней мерзлоты (на примере верхней Колымы) // Водные Ресурсы. – 2000. – Т. 27. – № 4. – с. 435–444.