

Динамика температурных колебаний поверхностного почвенного покрова в Арктическом регионе

А.В. Калачев¹, А.С. Печкин², А.С. Красненко²

¹Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

²Научный центр изучения Арктики (Надым, Россия)

Dynamics of Surface Soil Cover Temperature Fluctuations in the Arctic Region

A.V. Kalachev¹, A.S. Pechkin², A.S. Krasnenko²

¹Altai State University (Barnaul, Russia)

²Arctic Research Center (Nadym, Russia)

Для развития и уточнения геоэкологической прогнозной модели изменения климата, а также прогнозирования развития экологической ситуации в арктическом регионе важную роль играют исследования многолетнемерзлых пород. Особенно актуальны данные о динамике температурных колебаний поверхностного почвенного покрова, для регистрации которых необходимы автоматические запоминающие термометры. В статье приведены результаты суточных измерений температуры почвенного покрова на разных глубинах с получасовым временным интервалом регистрации температур в зимний и весенний периоды. Представлены характеристики исследуемого почвенного покрова, являющегося характерным для тундровых образований в районе Надыма.

Температурные данные снимались при помощи специализированного многоканального запоминающего термометра с 21 датчиком температуры. Датчики расположены на шупе на расстоянии пяти сантиметров один от другого, что позволяет производить замеры температурного профиля вплоть до глубины один метр. Исследована временная динамика промерзания снежного и почвенного покровов. На основе измеренных данных оценено влияние свойств физических характеристик почвенного покрова и температуры окружающей среды на сложившуюся геокриологическую ситуацию. Показано формирование границы промерзания и выявлен характерный «активный температурный слой» — слой почвы, подверженный резким суточным изменениям температуры.

Ключевые слова: регистрация температуры, температурный режим тундровых почв, динамика температурных измерений, геоэкологический мониторинг, активный температурный слой, исследования многолетнемерзлых пород, временная динамика промерзания.

Permafrost studies play important role in development and improvement of the geocological predictive model of climate change and prediction of ecological situation development in the Arctic region. Data on the dynamics of surface soil cover temperature fluctuations are extremely crucial. Therefore, thermometers with automatic memory are necessary. This paper presents the results of daily measurements of soil cover temperature at different depths with a half-hour time interval of recording during the winter and spring periods. Also, characteristics of the studied soil cover, typical to tundra areas in the region of Nadym, are presented.

A special multichannel thermometer with 21 temperature sensors is used to measure the temperature and produce the temperature data. Sensors on a probe are separated by the 5 cm distance which allows measuring the temperature of soil up to 1 m in depth. Temperature dynamics of freezing of snow and soil covers is studied. Acquired data is utilized to estimate the influence of physical properties of soil cover and ambient temperature on the prevailing geocryological situation. Freezing boundary formation is demonstrated, and specific “active temperature layer” as the layer of soil subjected to sharp daily temperature fluctuations is revealed.

Key words: temperature registration, temperature regime of tundra soils, dynamics of temperature measurements, geocological monitoring, active temperature layer, studies of permafrost, temporary freezing dynamics.

Введение

Наблюдаемые в последние годы на территории Западной Сибири климатические изменения обуславливают перемену температурного режима почв, способствуют смене растительных ассоциаций и постепенной деградации многолетнемерзлых пород (ММП) [1, 2]. Исследование температурного режима почв, особенно в зоне распространения многолетнемерзлых пород, является необходимой частью в построении геоэкологической прогнозной модели потепления, а также прогнозирования различных сценариев развития экологических последствий в регионе, вызванных климатическими изменениями [3, 4].

За последние 40 лет повышение температуры многолетнемерзлых пород на глубине 10 м составило 0,8–1,4 °С (стационар «Надым») в зависимости от ландшафта. Такое изменение является значимым для высокотемпературных многолетнемерзлых пород [5, 6]. На этот процесс большое влияние, наряду с изменениями температуры воздуха, оказывают нарушения почвенного покрова (как естественные, так и антропогенные). Данные по температурному режиму почв региона немногочисленны [7–9] и относятся в основном к теплomu сезону года. Частота регистрации температур на разных глубинах не превышает 8 раз в сутки.

В данной работе приведены некоторые результаты суточных измерений температур почвы на разных глубинах с временным интервалом регистрации — два раза в час в зимний и весенний периоды.

Объекты и методы исследования

Для автоматизации мониторинга температурного профиля почвенного покрова был разработан многоканальный запоминающий термометр. Прибор ориентирован на наблюдения за суточными и сезонными изменениями температуры поверхностного слоя степных, болотистых и солончаковых почв, а также для мониторинга температурного профиля мерзлотных почв в условиях Крайнего Севера. Необходимость разработки прибора вызвана фактическим отсутствием регистраторов, обеспечивающих одновременно и возможность длительного хранения большого количества данных, и большое количество измерительных каналов. Основные требования к прибору: малое потребление энергии, возможность длительной автономной работы, большой объем хранимых данных, простота обслуживания.

С учетом этих факторов было принято решение применять в приборе серийные интегральные компоненты. Результирующая структурная схема многоканального запоминающего термометра представлена на рисунке 1.

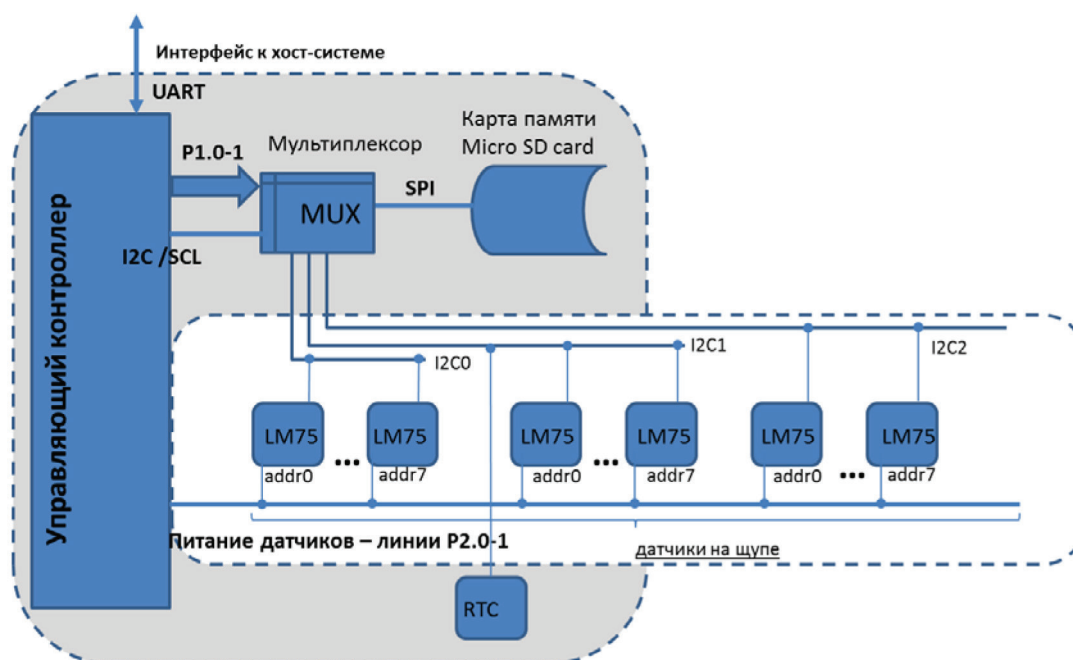


Рис. 1. Структурная схема многоканального запоминающего термометра

В качестве датчиков температуры применяют интегральные цифровые датчики с интерфейсом I2C, ставшие де-факто промышленным стандартом — LM75 производства ST Microelectronics. Данные датчики обладают диапазоном измерения температур

от -55 до $+125$ °С с погрешностью 0.5 °С в наиболее интересной области от -20 до $+40$ °С. Еще одним их преимуществом является широкий диапазон питающих напряжений, что является важным для устройств, ориентированных на длительную

автономную работу (возможность продолжения работы при сильном разряде аккумуляторов), а также малый уровень потребления тока: суммарно все датчики температуры потребляют ток менее 1 мА. Датчики расположены на пластиковом щупе с интервалом 5 см, тем самым можно захватывать диапазон глубин до одного метра.

Технические возможности: 21 канал измерения температуры; запись данных на карту памяти microSD (до 4 Гбайт); встроенные часы реального времени с независимым питанием; система подзарядки аккумуляторов от солнечных батарей; UART интерфейс управления и передачи данных.

В качестве управляющего контроллера применен контроллер с ультранизким энергопотреблением серии MSP430 от Texas Instruments [10].

Общая схема прибора построена таким образом, что при паузах между измерениями отключается питание всех периферийных устройств (датчиков температуры, карты памяти, коммутатора), кроме часов реального времени, имеющих собственное независимое питание, в результате чего дежурный ток потребления составил всего 1 мкА. Карта памяти позволяет пользователю получить данные даже в случае выхода прибора из строя, а также оперативно менять носитель при снятии показаний (актуально при обслуживании прибора в зимний период).

Исследования температурного режима почв проводились с 14 декабря 2016 г. по 25 мая 2017 г. в северо-западной части Надыма, на торфянике. Измерения осуществляли с интервалом 35 минут.

В данной работе представлены графики суточного хода температуры воздуха на высоте 2 м и температуры почвы на глубинах 0–80 см с декабря по май 2017 г. Для удобства отображения графиков были выбраны 10 датчиков с равным шагом 10 см от максимального поверхностного датчика на высоте 10 см до минимального глубинного датчика — 80 см.

Характеристика района исследования

Мониторинговая площадка представляла собой плоскую и слабонаклонную кочковатую поверхность бугристого торфяника, сменяющуюся вблизи долины ручьев кустарниковыми ерниками (ёрник — малорослый кустовой лес, заросли низкорослых или стелющихся кустарников. — *Ред.*). Почвенный покров площадки выражен как торфяные олиготрофные перегнойно-торфяные криотурбированные горизонты на мерзлых торфах гидролакколита.

Характеристика почвенных горизонтов

Горизонт О — 0–5 см, состоит из растительных остатков слабой степени разложения, светло-бурый, влажный, пронизан корнями растительности, переход заметный по цвету, граница слабоволнистая.

Горизонт ТО₁ — 5–25(30) см, бурый, влажный, состоит из растительных остатков от слабой до средней

степени разложения, пронизан корнями растительности, уплотнен, переход заметный по цвету, граница волнистая.

Горизонт ТО_{2h} — 25(30)–35(40) см, темно-бурый, влажный, состоит из растительных остатков сильной степени разложения, мажется, уплотнен (плотнее предыдущего), переход резкий по цвету, граница слабоволнистая (языковатая).

Горизонт ВС_{g — 35(40)–45 см, неоднородно окрашенный, бурый, с языками и линзами темно-бурой окраски и сизоватым оттенком, мокрый, ореховато-призматический, плотный, среднесуглинистый, переход резкий по цвету, граница слабоволнистая.}

Горизонт ТО_{3 — 45–80 см, светло-бурый (желтый), мокрый, плотный, состоит из растительных остатков сильной степени разложения.}

Многолетнемерзлые породы залегают на глубине 80 см.

Температурный режим почв в зимний период

Зимний период наступает вместе с сезонным промерзанием верхней части тундровых мерзлотных почв, с приходом устойчивых отрицательных температур воздуха, средняя многолетняя дата установления периода — первая декада октября [11]. Промерзание почв начинается преимущественно с поверхности. В это время температура снижается до отметки -5°C на разных глубинах, вплоть до границы с многолетнемерзлыми породами, формирует-ся также ясная граница промерзания.

На графике (см. рис. 2) видно, что с 15 по 17 декабря 2016 г. температура на глубинах от 20 см и ниже практически неизменна, с понижением вглубь происходит потепление в каждой глубинной отметке на $5-7^{\circ}\text{C}$ от предыдущей, а на глубине 80 см, соответствующей границе многолетнемерзлых пород и сезонно-талого слоя, температура держится на отметке 0°C . Наибольшая изменчивость температурных показателей наблюдается от поверхности до глубины 10 см. На этой глубине происходит формирование границы «активного температурного слоя». Под активным температурным слоем подразумевается слой почвы определенной толщины, где происходят резкие колебания суточных температурных показателей, как и на поверхности почвенного покрова [12]. Граница промерзания почвы в декабре выражена неясно. Возможно, график имеет такой вид из-за крайне низких температур воздуха, зафиксированных в это время и опускавшихся до -50°C .

С 15 по 17 января 2017 г. в окрестностях Надыма установилась температура воздуха не ниже -21°C (см. рис. 2). Из приведенных на рисунке 2 графиков видно, что влияние температуры воздуха на температуру почвенного покрова прослеживается до глубины 10 см. Также видно, что показатели датчика на глубине 20 см с меньшей амплитудой и небольшим временным отставанием повторяют ход графиков верхних датчи-

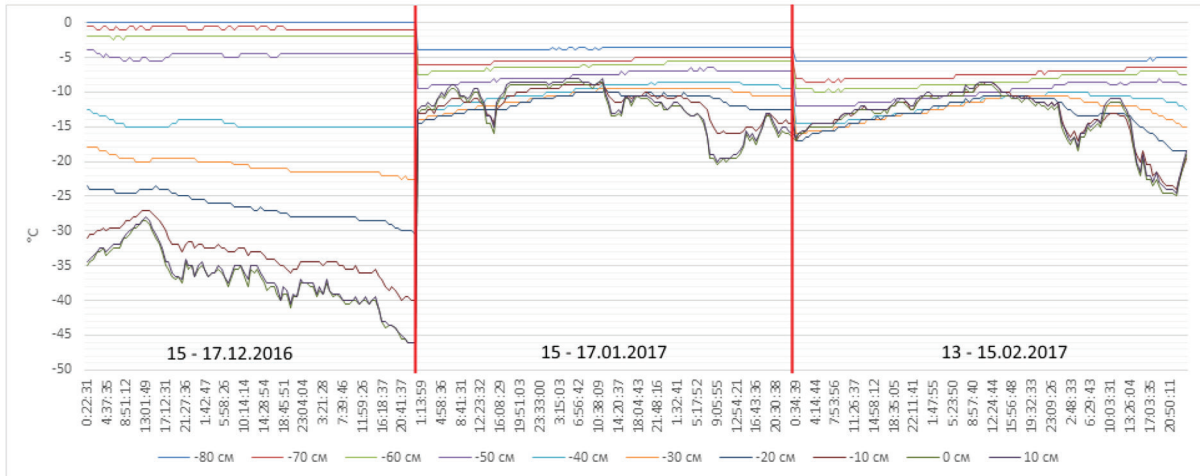


Рис. 2. Графики температурного режима почв в окрестностях Надьма на разных глубинах в зимний период

ков. Из анализа температурных зависимостей следует, что на глубине 20 см в январе устанавливается граница промерзания, так как на остальных датчиках, расположенных ниже 20 см, температура изменяется слабо. На глубине 80 см температура почвы равна -5°C .

С 13 по 15 февраля 2017 г. граница промерзания устанавливается на глубине 30 см (рис. 2). В этот временной период температурные вариации в меньшей степени и с небольшой временной задержкой повторяют вариации температуры, зарегистрированные датчиками температуры, установленными в «активном температурном слое» (0–10 см), а датчик, расположенный на глубине 20 см, также с не-

большой временной задержкой, но уже в большей степени повторяет амплитуду более верхних датчиков. Показатели датчика на границе «сезонно-талый слой — многолетнемерзлые породы» держатся на отметке -5°C .

Температурный режим почв в весенний период

Весенний период характеризуется наиболее сильным промерзанием почв по сравнению с зимним, формированием новой границы и более крупной амплитудой показателей верхних датчиков в первой половине периода и повышением температурных показателей на глубине во второй половине периода до 0°C .

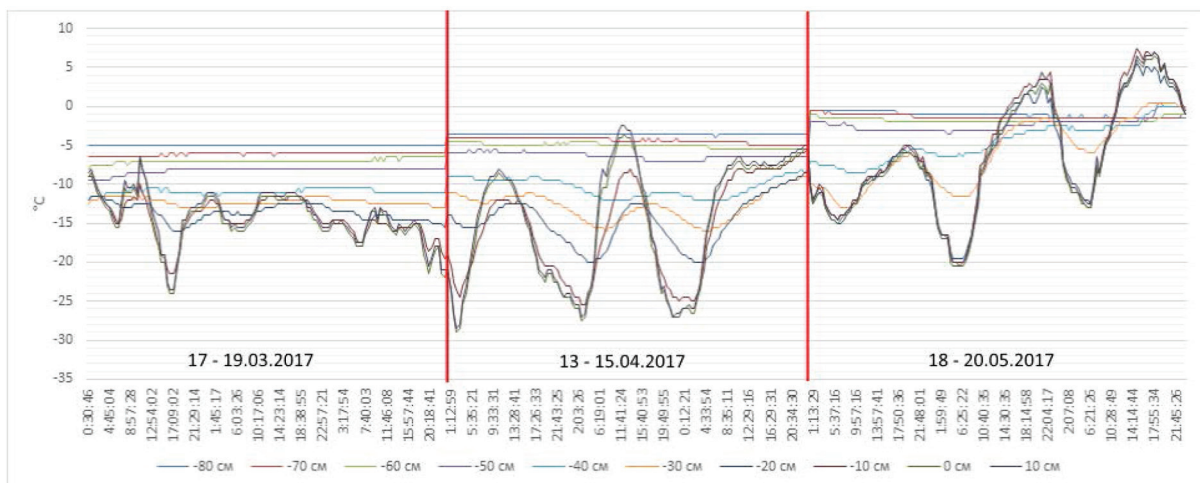


Рис. 3. Графики температурного режима почв в окрестностях Надьма на разных глубинах в весенний период

С 17 по 19 марта 2017 г. граница промерзания остается, как и в феврале, на отметке в 20 см (рис. 3). Амплитуда на отметке 30 см в меньшей степени напоминает амплитуду верхних горизонтов, а горизонт 20 см уже в большей степени, но пока еще с незначи-

тельной временной задержкой. Показания датчика на границе сезонно-талого слоя и многолетнемерзлых пород, так же, как и в зимний период, стабильно держатся на отметке -5°C .

В середине апреля граница промерзания достигает 30–40 см (см. рис. 3). Важно отметить, что максимальные пики амплитуды температур верхней части почвенного покрова (h_{10} и h_0) в апреле уже начинают достигать температурных отметок на границе сезонноталого слоя и многолетнемерзлых пород. Температурные показатели на отметке 80 см стабильно держатся в этот период на отметке $-3,5$ °C. Следовательно, можно сделать предположение о потеплении в апреле.

К 18 мая 2017 г. граница промерзания достигла 40 см, а граница «активного температурного слоя» фиксировалась до глубины 50 см (см. рис. 3). Как и в апреле, но уже в большей степени, амплитуды активного слоя отметок от h_{10} до h_{20} становятся похожими. 20 мая температурные показатели всех датчиков сводятся к 0 °C, что может свидетельствовать о наступлении периода положительных температур и летнего сезона.

Выводы

Проведены испытания прибора для наблюдения за суточным и сезонным изменением температурного профиля мерзлотных почв в условиях Крайнего Севера.

Представлены результаты исследований температурных режимов почв от поверхности до глубины 80 см в зимний и весенний периоды 2016–2017 гг. Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы: в зимний период происходит понижение температуры почвенного покрова до -5 °C на разных глубинах, вплоть до границы с многолетнемерзлыми породами, а также осуществляется формирование границы промерзания. В весенний период, в результате максимального промерзания почвенного покрова, наблюдается формирование границы проникновения «активного температурного слоя». В это время года также происходит повышение температурных показателей на границе сезонноталого слоя и многолетнемерзлых пород до 0 °C.

Библиографический список

1. Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А., Москаленко Н.Г. Продуцирование диоксида углерода почвами северной тайги Западной Сибири (Надымский стационар) // Криосфера Земли. — 2014. — № 2.
2. Курганова И.Н., Типе Р. Влияние процессов заморозания — оттаивания на дыхательную активность почв // Почвоведение. — 2003. — №9.
3. Shiklomanov N.I., Anisimov O.A., Zhang T., Marchenko S., Nelson F.E., Oelke C. Comparison of model produced active layer fields: Results for northern Alaska // J. Geophys. Res. — 2007. — V. 112.
4. Комплексный мониторинг северо-таежных геосистем Западной Сибири / под ред. В.П. Мельникова. — Новосибирск, 2012.
5. Павлов А.В., Москаленко Н.Г. Термический режим почвы на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. — 2001. — Т. V, № 2.
6. Москаленко Н.Г. Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли. — 2012. Т. XVI, № 2.
7. Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А., Москаленко Н.Г., Пономарева О.Е. Температурные режимы северо-таежных почв Западной Сибири в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород // Почвоведение. — 2015. — № 12.
8. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Влияние динамики температуры воздуха и высоты снежного покрова на промерзание грунта // Криосфера Земли. — 2015. Т. XIX, № 1.
9. Богородский П.В., Макштас А.П., Кустов В.Ю., Грубый А.С., Мовчан В.В. Динамика сезонного протаивания вечной мерзлоты в районе гидрометеорологической обсерватории Тикси // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2015. — № 4 (106).
10. Иванов Р. MSP430 Value Line: 16 бит по цене 8 бит! // Новости электроники. — 2011. — №4.
11. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. — 2012. — №2 (6).
12. Nixon F.M., Taylor A.E., Allen V.S., Wright F. Active layer monitoring in natural environments, lower Mackenzie Valley, Northwest Territories // Current Res., Geol. Surv. Can. B. — 1995.