

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОРНЕОБИТАЕМОГО СЛОЯ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

© 2018 г. И.Д. Махатков, Ю.В. Ермолов

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: makhatkov@mail.ru

В работе представлены результаты годового цикла измерений температуры корнеобитаемого слоя в четырёх сообществах северной тайги Западной Сибири. Измерения проводили программируемыми датчиками в пяти повторностях, что позволило оценить среднеквадратичное отклонение измерений, которое рассматривали как меру пространственного варьирования температуры. Рассмотрены сезонные и суточные особенности пространственного варьирования в разных сообществах. Наиболее заметное влияние суточных колебаний температуры корнеобитаемого слоя на её пространственную неоднородность было выявлено в сосновом лесу в течение всего лета, а для бугров плоскобугристого болота - в начале лета, в период интенсивного оттаивания сезонно-мёрзлого слоя.

Ключевые слова: почва, корнеобитаемый слой, температура, варьирование, северная тайга

Цитирование: Махатков И.Д., Ермолов Ю.В. Пространственное варьирование температуры корнеобитаемого слоя почв северной тайги Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2018. 1(1). С.16-24.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловой режим почв – один из важнейших факторов генезиса почв и условий существования наземной биоты. В этой связи ему уделяется пристальное внимание, а изучению температуры почвы посвящено множество исследований.

Как правило, такие исследования ограничены одним профилем для объекта исследований – единиц ландшафта, фитоценоза, сельхозугодий и т.д. В ряде работ на основе кратковременных рядов измерений отмечали значительное горизонтальное варьирование температуры верхних горизонтов почвы, которое в лесных ценозах связано с пространственной неоднородностью древостоя и напочвенного покрова (Природные режимы..., 1977). Исследования температурных полей с длительными временными рядами начались с появлением программируемых датчиков. Большей частью такие исследования связаны с задачами определения свойств сельскохозяйственных угодий (Шейн с соавт., 2009, Mohanty et al, 1995), или сопровождают исследование почвенных процессов, например, засоления (Dale, Miller, 2007).

Пространственная вариабельность температурного режима почв естественных сообществ связана с изреженностью лесного (Ma et al, 2010) и кустарникового (Кожобекова, Бопамбеков, 2014) полога, с локальными свойствами почв (Рыспеков, 2012). Проводят также исследования, посвящённые собственно проблеме пространственного варьирования температуры почвы (Новикова, 2016; Redding et al, 2003) и анализа пространственных и пространственно-временных температурных полей (Seufried, 2016; Tallon, 2014). Однако такие исследования редки, характер пространственного варьирования температуры почвы для многих территорий и наземных экосистем остаются неизвестными. Это относится и к сообществам северной тайги Западной Сибири.

К наиболее распространённым биогеоценозам северной тайги (Ильина др., 1985) можно отнести лесные зональные сообщества лиственничных кустарничково-зеленомошных с участием тёмнохвойных и мелколиственных пород (Хозяинова, Алексеева, 2007) на глееподзолистых почвах и светлозёмах (Смоленцев, 2002), интразональные сосновые кустарничково-лишайниковые леса на подзолах иллювиально-железистых и иллювиально-железисто-гумусовых и комплексные мёрзлые плоскобугристые болота (Шалатонов, 2011), находящиеся здесь вблизи южной границы своего распространения (Кац, 1948). Древостои лесных сообществ, как правило, редкостойные (Хозяинова, 2008), в южной части северной тайги в сложении древостоя значительно участие тёмнохвойных (ели и кедра), сомкнутостью древостоя 0.5 - 0.6. Древостои монодоминантных сосновых лесов более разрежены. Микрорельеф лесных сообществ в основном связан с валежом на разной стадии разложения, в зональных лесах значительная часть микрорельефа связана с ветровальными комплексами. Кустарничковый ярус хорошо развит в напочвенном покрове зональных лесов,

кустистые кладонии образуют редкие отдельные синузии среди сплошного покрова зелёных мхов (Ильина др., 1985). В напочвенном покрове сосновых кустарничково-лишайниковых лесов кустарнички сосредоточены в микропонижениях и вблизи стволов сосны. Здесь же сосредоточены синузии зелёных мхов (Хозяинова, 2007). Плоскобугристые болота представлены комплексом плоских бугров высотой около 1-1.5 м и обводнённых мочажин. На буграх плоскобугристых болот деревья (сосна и кедр) встречаются в виде отдельных угнетённых экземпляров. Микрорельеф выражен только на буграх. Здесь большинство кустарничков тяготеют к микроповышениям 0.2-0.3 м высотой, подбел и черника - к микропонижениям. В мохово-лишайниковом ярусе хорошо выражены синузии кустистых кладоний и сфагновых мхов, распределение которых, так же связано с микрорельефом. Характерная особенность бугров плоскобугристых болот - близкое залегание многолетнемёрзлого слоя торфа, в северной тайге - около 0.5 м (Лисс с соавт., 2001).

Целью наших исследований было определение пространственного варьирования температуры корнеобитаемого слоя (КС), тепловой режим которого оказывает наибольшее ценотическое влияние, в пределах локальных биогеоценозов центрального сектора северной тайги Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в окрестностях г. Ноябрьска, ЯНАО. Для наблюдений было выбрано 4 участка в типичных условиях трёх наиболее распространённых типах местных биогеоценозов: зонального лиственничника кустарничково-зеленомошного леса (75° 4' 59,16" СШ, 63° 9' 34,2" ВД), соснового кустарничково-лишайникового леса (75° 29' 36,6" СШ, 62° 14' 37,32" ВД) и 2 участка плоскобугристого болота (76° 49' 45,48" СШ, 61° 9' 28,44" ВД) – бугра и прилегающей мочажины. Локальные климатические условия можно считать сходными: крайние участки по долготе отстояли примерно на 33, а по широте - на 10 км.

Для измерения температуры использовали программируемые автономные регистраторы температуры DS1921G (<http://www.elin.ru/Thermochron/?topic=descr>), установленные на глубине 10 см, и регистрировавшие температуру с точностью 0,5°C каждые 4 часа в сроки - 1, 5, 9, 13, 17 и 21 час по местному административному времени, которое незначительно, на 5 минут, отличается от местного астрономического времени. На каждом участке было установлено по 5 датчиков в трансектах через каждые 3 м. В лесных ценозах глубину закладки датчиков отмеряли от поверхности минеральных отложений, т.е. от нижней границы лесной подстилки, в болотных – от поверхности сфагнового покрова, а в лишайниковых синузиях – от поверхности торфа. Один из датчиков, установленных в сосновом лесу, вышел из строя, что сократило здесь повторность измерений до 4. Наблюдения проводились с 20 августа 2015 по 19 августа 2016 г., т.е. полный годовой цикл. Из-за недостаточного объёма памяти регистраторов температуры данные снимали дважды – в июне и августе.

Для корректировки измерений автономные регистраторы температуры вместе со срочным термометром предварительно помещались в контрастные температурные условия, полученные измерения использовали для определения коэффициентов полиномов первого порядка каждого датчика.

К работе были привлечены данные по метеостанции г. Ноябрьска с сайта <https://rp5.ru/>.

В качестве меры варьирования температуры принимали величину среднеквадратичного отклонения значений температуры, измеренной разными датчиками в один срок:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

где n - количество наблюдений (датчиков), $x_i - \bar{x}$ - отклонение i-го наблюдения от среднего значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период наблюдений среднегодовая температура воздуха составила -1.5°C, превышая среднемноголетнюю -2.3°C. Наиболее холодный месяц - январь, наиболее тёплый - июль (рис. 1). Снежный покров начал формироваться в начале октября, и наращивал мощность до конца марта, достигнув 67 см, затем, в течение апреля почти полностью стаял, хотя в первой половине мая в отдельные дни наблюдались небольшие снегопады.

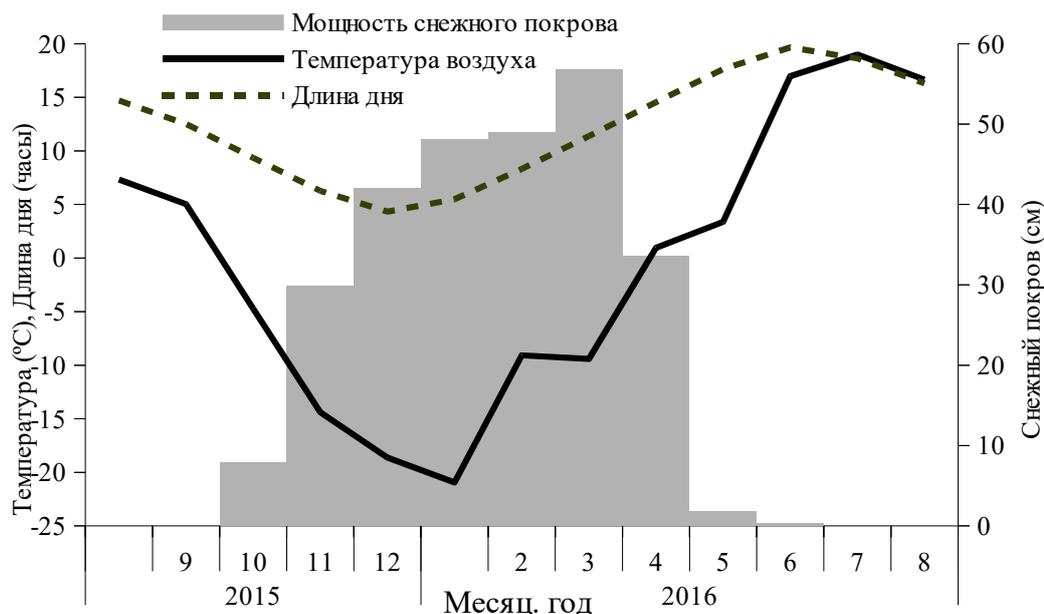


Рисунок 1. Динамика основных климатических условий за период наблюдений: среднемесячная температура воздуха, длина светового дня и мощность снежного покрова.

На широте г. Ноябрьска в течение года существенно меняется длина светового дня - от 4 часов в декабре, до 19 часов 40 минут в июне, что в летнее время в ясную погоду обеспечивает большой суточный поток прямой солнечной радиации.

По итогам измерений среднегодовая температура и диапазон зафиксированных температур КС лиственничного леса оказались меньше КС соснового леса (таблица). При этом среднеквадратичное отклонение одновременных измерений, усреднённое за год, оказалось выше в лиственничном лесу. Самым холодным оказался КС бугра, здесь же отмечали наибольший размах зафиксированных значений температуры и наибольшее среднеквадратичное отклонение. Только в КС лиственничного леса не было зафиксировано отрицательных температур.

Таблица. Годовые итоги измерений

Участок	Температура			Среднеквадратичное отклонение		
	Средняя	Максимальная	Минимальная	Среднее	Максимальное	Минимальное
Лиственничный лес	3,3	15,0	0,0	0,73	3,00	0,34
Сосновый лес	4,0	21,5	-1,0	0,63	3,93	0,10
Бугор	1,6	20,9	-8,0	0,98	3,51	0,07
Мочажина	4,5	20,6	-1,1	0,54	3,43	0,12

Среднесуточная температура КС на всех участках в бесснежный период в целом следовала за температурой воздуха, при погодных изменениях запаздывая на 1-2 дня. В октябре, с началом формирования снежного покрова и до его схода, температура почвы на всех участках слабее реагировала на изменения температуры воздуха (рис. 1, 2). Наиболее низкие среднесуточные температуры наблюдали на буграх плоскобугристого болота. Здесь КС мёрзлый с середины октября по первой половины апреля, в самое холодное время среднесуточная температура опускалась до $-5,1^{\circ}\text{C}$. В сосновом лесу и мочажине плоскобугристого болота промерзание КС наблюдали только с конца декабря, и до второй половины апреля. Средняя срочная температура здесь опускалась до $-0,4^{\circ}\text{C}$ в мочажине и до $-0,5^{\circ}\text{C}$ в сосновом лесу.

На всех участках наибольшие среднеквадратичные отклонения измерений свойственны началу тёплого сезона. В лесных ценозах наибольшее варьирование наблюдается в июне, уже после схода снега, в период активного прогревания почвы, и связано, вероятно, с неоднородностью напочвенного покрова и лесной подстилки. На эту неоднородность может влиять и прямая солнечная радиация, которая особенно велика именно в это время. Очень большие среднеквадратичные отклонения температуры в это время показывает температура КС соснового леса, различия одновременных измерений иногда достигают 9,6°C. Сходный диапазон измерений температуры КС выявлен в сосняках мшистых Заволжья на глубине 5 см (Демаков, Исаев, 2013).

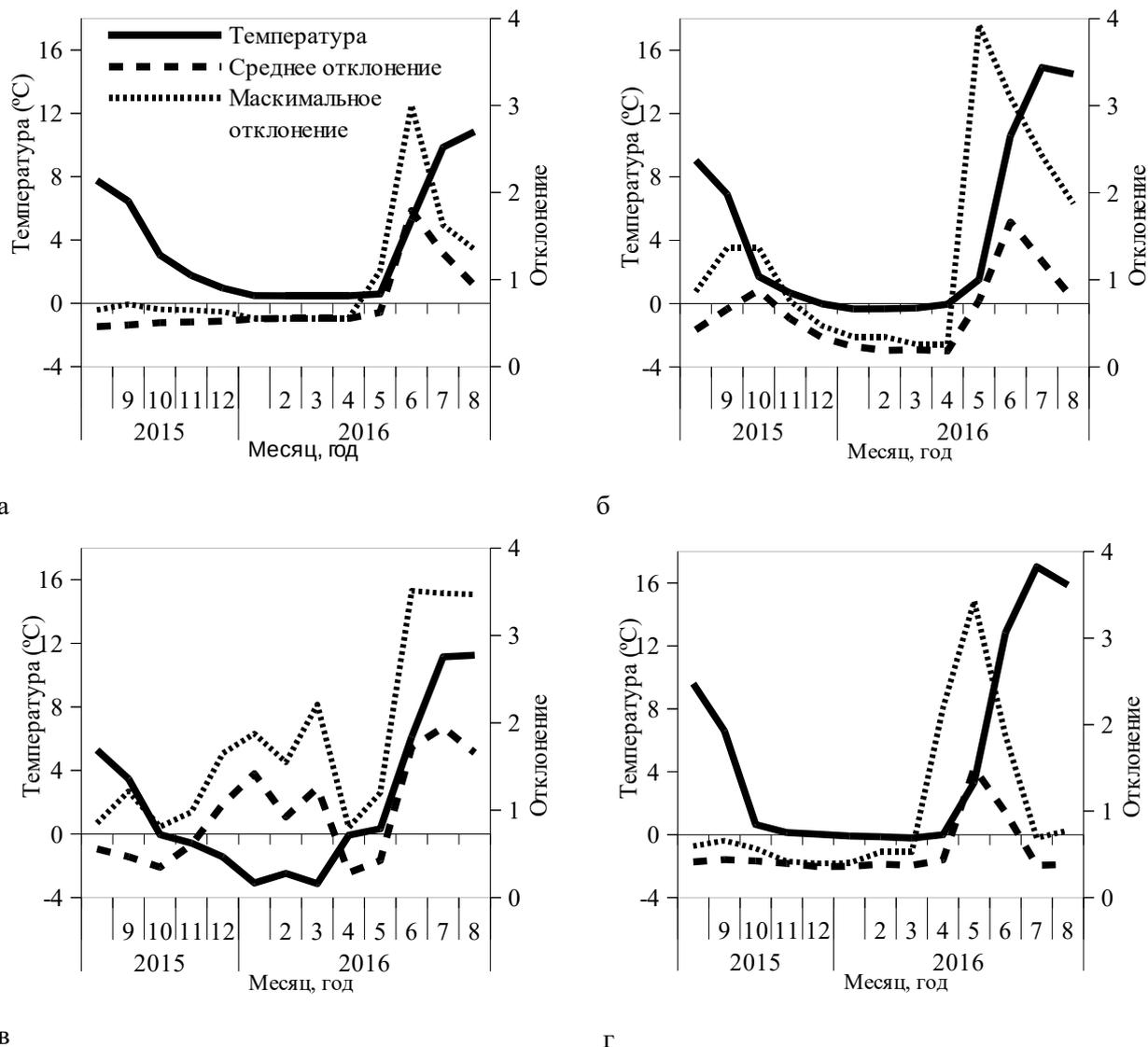


Рисунок 2. Годовая динамика среднемесячной температуры КС и среднеквадратичных отклонений: а – лиственный лес, б – сосновый лес, в – бугор, г – мочажина.

Сомкнутость древостоя лиственного леса значительно выше, чем соснового, и влияние теней крон на температуру почвы менее заметно. Температура КС лиственного леса в течение всего года, кроме июня, проявляет слабое пространственное варьирование, что свидетельствует о сравнительно однородных условиях теплообмена почвы с атмосферой. В июне разница одновременных измерений температуры достигала 7-8°C. Начиная с последней декады июня различия одновременных измерений не превышала 5°C. Сходные результаты для усреднённых измерений температуры почвы на глубине 10 см под разными синузиями приводятся для лиственных лесов Эвенкии (Бенькова с соавт., 2014).

В сосновом лесу пространственное варьирование температуры КС наблюдали и в период установления снежного покрова, с первыми заморозками, когда отклонение температуры достигало

3,7°C. В течение зимы, по мере накопления снега, пространственная вариабельность температур последовательно снижается и резко возрастает в конце мая и июне, прогревание почвы в этот период в сосновом лесу происходит намного интенсивнее прогревания почвы под лиственничным лесом.

Сезонная динамика пространственного варьирования температуры, сходная с варьированием в лесных ценозах, наблюдается в мочажине плоскобугристого болота. Здесь высокие значения среднеквадратичного отклонения температуры наблюдаются уже в начале мае, с первыми оттепелями, когда разница температур КС достигает 9,5°C, и, вероятно, связано с неравномерным сходом снега и оттаиванием поверхности мочажины. Уже в июне вариабельность снижается, и остаётся низкой с в течение всего года. Такая выровненность температур связана с хорошей теплопроводностью обводнённого КС мочажины, и отсутствием выраженного микрорельефа.

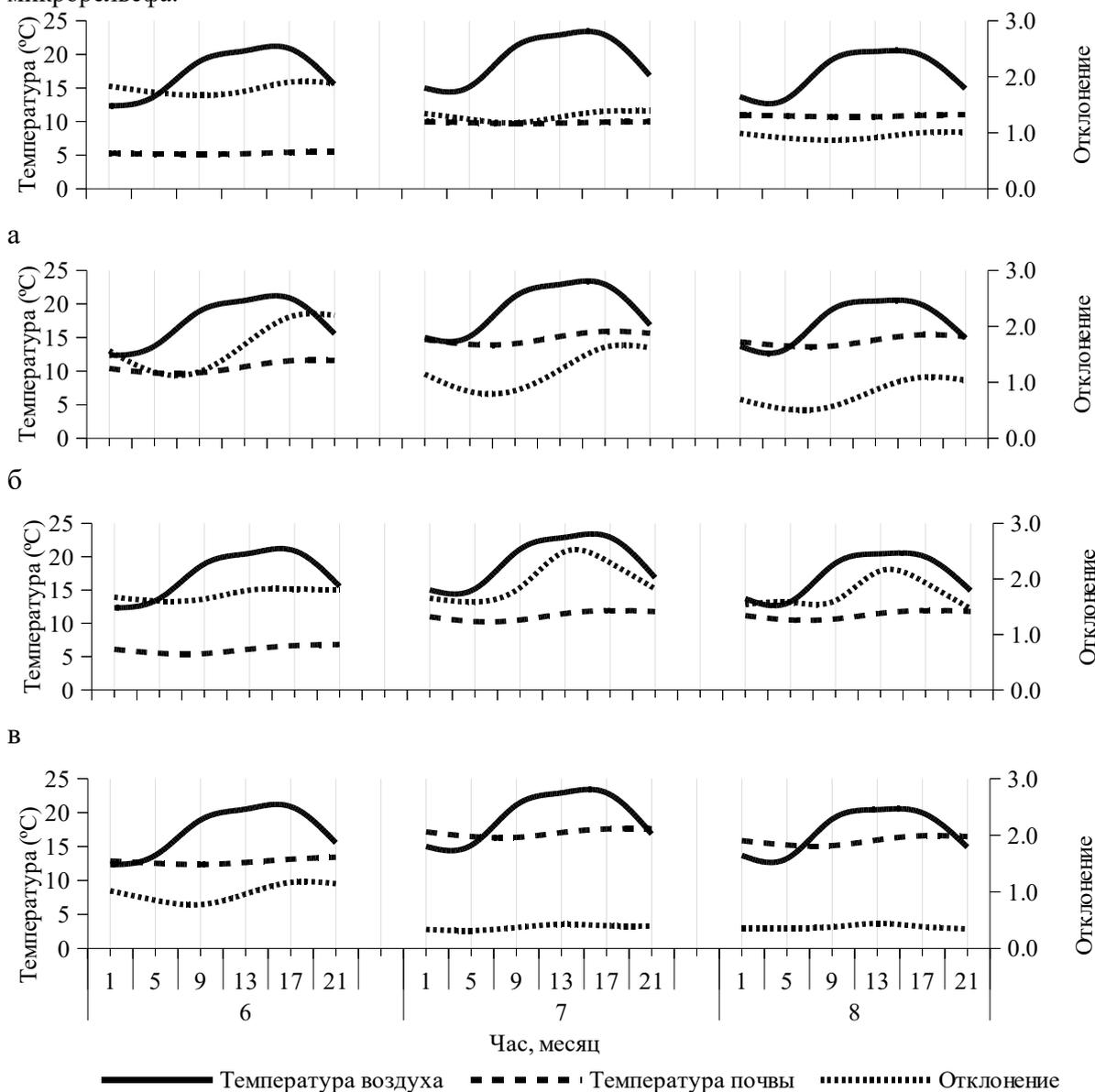


Рисунок 3. Суточный ход температуры воздуха, температуры корнеобитаемого слоя и среднеквадратичного отклонения температуры почвы в летние месяцы: а - лиственничный лес, б - сосновый лес, в - бугор, г - мочажина.

Своеобразную динамику пространственной вариабельности температуры показал бугор плоскобугристого болота. В отличие от других участков температура КС в зимний период демонстрирует заметный отклик на изменения температуры воздуха. После установления устойчивого снежного покрова пространственная вариабельность температуры КС возростала (в

отдельных случаях до 4,5°C) и оставалась высокой в течение всей зимы, снижаясь только в период снеготаяния. Такая зимняя вариабельность, по всей вероятности, связана с сильной неравномерностью мощности снежного покрова, которая в свою очередь возникает из-за хорошо выраженного микрорельефа поверхности бугра. В условиях обширных открытых пространств снег многократно перераспределяется, накапливаясь в западинах и исчезая на бугорках. Из-за этой пространственной неравномерности эффекта теплоизоляции снежного покрова, возрастает и неоднородность температуры КС, особенно усиливаясь в периоды сильного похолодания. Во время снеготаяния (в апреле при температурах около 0°C) температура КС выравнивалась, возможно, из-за равномерного промачивания талыми водами. С началом активного прогревания почвы вариабельность температуры вновь возрастала и оставалась высокой в течение всего лета и начала осени; разница температур в это время в отдельные дни могла достигать 10,1°C. Эта летняя вариабельность связана с наличием многолетнемёрзлого слоя, который в разных элементах микрорельефа находится на разном глубине от КС и оказывает разное влияние на его температуру.

Явные суточные колебания температуры КС наблюдались только в тёплый период, особенно в летние месяцы, что связано с суточными колебаниями температуры воздуха (рис. 3). В июле усреднённый диапазон суточных колебаний температуры воздуха составлял 8,6°C и последовательно снижался в июле и августе до 7,9 и 7,2°C, соответственно. Суточные колебания температуры воздуха в течение всего летнего сезона практически не влияли на суточный ход температуры КС лиственничного леса и на её пространственную вариабельность. В сосновом лесу усреднённый суточный диапазон температуры КС был значительный, составляя почти 2°C в июне и июле, и 1,7°C - в августе. Здесь в течение всего лета наблюдали существенное влияние суточных колебаний температуры на её пространственную вариабельность, которая снижалась в утренние часы и возрастала к часам 17-21, когда почва максимально прогревалась, а температура воздуха к этому времени уже существенно снижалась.

Суточные колебания температуры КС бугров были несколько меньше, и их наибольший усреднённый диапазон пришёлся на июль, составив 1,7°C, а в августе снизился до 1,4°C. В эти месяцы было велико и влияние суточных колебаний температуры на её пространственную неоднородность. В отличие от леса наибольшую неоднородность температуры КС бугров наблюдали в 13 часов, хотя, как и в лесу, наибольший прогрев почвы происходил в 17-21 часов. Это повышение неоднородности температуры почвы связано, скорее всего, с большим вкладом прямой солнечной радиации, наиболее интенсивной около полудня.

Суточные колебания температуры КС мочажины немного возрастали в течение лета - от 1,1 в июне, до 1,4°C в августе. Заметное влияние на пространственную неоднородность температуры эти колебания оказывали только в июне, что, по-видимому, связано с общей неоднородностью прогрева разных участков мочажины после зимы.

ВЫВОДЫ

1. Во всех ценозах наибольшую вариабельность температуры КС наблюдали в начале тёплого периода. В лесных ценозах она возникает уже после схода снега и, вероятно, связана с неоднородностью напочвенного покрова и лесной подстилки, а в сосновых лесах обусловлена неоднородностью прямой солнечной радиации из-за тени крон.

2. Наименьшее пространственное варьирование температур КС наблюдается в мочажинах плоскобугристых болот, что связано с отсутствием микрорельефа и их сильной обводнённостью.

3. Сильное пространственное варьирование температур КС бугров плоскобугристых болот наблюдается как в тёплый, так и холодный период. Неоднородность температур КС здесь возникает из-за хорошо выраженного микрорельефа и пространственного варьирования влияния глубины ниже лежащего многолетнемёрзлого слоя и мощности снежного покрова на температуру КС.

4. Наиболее заметное влияние суточных колебаний температуры корнеобитаемого слоя на пространственную неоднородность температуры характерно для соснового леса в течение всего лета, и корнеобитаемого слоя бугров плоскобугристого болота – в начале лета при интенсивном оттаивании сезонно-мёрзлого слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенькова В.Е., Зырянова О.А., Шашкин А.В., Бенькова А.В., Собачкин Д.С., Симанько В.В., Зырянов В.И. Влияние пространственной мозаичности мохово-лишайникового покрова на радиальный рост лиственницы Гмелина (Центральная Эвенкия) // *Лесоведение*. 2014. № 4. С.41-49.
2. Демаков Ю.П., Исаев А.В. Пространственное изменение температуры почвы в суходольных и пойменных биогеоценозах // *Научные труды заповедника «Большая Кокшага»*. 2013. Вып. 6. С. 39 - 47.
3. Ильина И.С., Лапина Е.Н., Лавренко Н.Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 252 с.
4. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М. Географгиз. 1948. 320 с.
5. Кожабеева А.Ж., Бопамбеков Д.И. Динамика температуры поверхности почвы в тени саксаульников и на открытом участке // *Наука и Мир*. 2014 №3(7) Т. 1. С. 237 -238.
6. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Иншиева Л.И., Курнишкова Т.В., Слуга З.А., Толтышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К, 2001. 584 с.
7. Новикова В.А. Анализ взаимосвязи температуры почвы с растительным покровом на участке песчаной степи (природный заповедник «Днепровско-Орельский») // *Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького*. 2016. 6 (2). С. 5–13.
8. Природные режимы средней тайги Западной Сибири. Новосибирск.: Наука, 1977. 300 с.
9. Рысбеков Т.Р. Зависимость данных почвенных термометров от их расположения относительно генетических почвенных трещин в степной зоне Казахстана // *Гидрометеорология и экология*. 2012. №1. С. 88 - 97.
10. Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских Увалов (северо-таежная подзона Западной Сибири). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 118 с.
11. Хозяинова Н.В. Флора и растительность северной тайги Пуровского района Тюменской области (север Западной Сибири) // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения* 2008. Вып. 8. С. 27–42.
12. Хозяинова Н.В., Алексеева Н.А. Флора и растительность бассейна Р. Вэнгяха (Тюменская область) // *Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования*. 2007. №6. С.158-164.
13. Шалатонова Е.Н. Пространственная организация растительного покрова в районе озера Нумто (Ханты-Мансийский автономный округ - Югра) // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2011. Т.12. С. 77-80.
14. Шейн Е.В., Банников М. В., Трошина О. В., Чуркина О. А. Температурное поле комплексного почвенного покрова на примере почвенного покрова Владимирского ополья // *Почвоведение*. 2009. №2. С.144-151.
15. Dale R.K., Miller D.C. Spatial and temporal patterns of salinity and temperature at an intertidal groundwater seep // *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2007. Vol.72., No1-2 P.283-298.
16. Mohanty B. P., van Genuchten M. Th., Klittich W. M., Horton R. Spatio-Temporal Variability of Soil Temperature within Three Land Areas Exposed to Different Tillage Systems // *SSSAJ*. 1995. Vol. 59, No.3. P.752-759. doi:10.2136/sssaj1995.03615995005900030017x
17. Redding T. E., Hope G. D., Fortin M. -J., Schmidt M. G., Bailey W. G. Spatial patterns of soil temperature and moisture across subalpine forest-clearcut edges in the southern interior of British Columbia // *Canadian J. of Soil Sci.* 2003. Vol.83, No1. P. 121 - 130
18. Seyfried M. Soil Temperature Variability in Complex Terrain Measured Using Fiber-Optic Distributed Temperature Sensing // *Vadose Zone J.* 2016. Vol. 15, Iss. 6. P. 1-18.
19. Ma S., Concilio A., Oakley B., North M., Chen J. Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burning treatments // *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol.259, Iss.5 P. 904 915.
20. Tallon L. K. Spatial variability of thermal properties in reclamation cover system. Saskatoon. 2014. 191 p.

Поступила в редакцию 15.12.2017.;
принята 12.01.2018; опубликована 21.02.2018

Сведения об авторах:

Махатков Игорь Дмитриевич - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия, makhatkov@mail.ru

Ермолов Юрий Викторович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия, ermolov.07@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**SPATIAL VARIATION OF ROOT ZONE SOIL TEMPERATURE
IN THE NORTHERN TAIGA OF WEST SIBERIA**

© 2018 I.D. Makhatkov, Yu.V. Ermolov

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: makhatkov@mail.ru

Studies of soil heat regime are commonly confined to one vertical soil profile. Some studies on the basis of short-term temperature data series reported significant horizontal variation of topsoil horizons due to spatial variation in tree stand densities, plant cover and soil cover heterogeneity. Introduction of programmed automated temperature data loggers facilitated studies of horizontal heterogeneity in soil temperature, i.e. so called temperature fields with long temporal data series. However horizontal variation of soil temperature has not practically been studied in most Russian ecosystems, including those in the West Siberian northern taiga zone.

*The study of soil temperature regime was carried out in the environs of Noyabrsk (Yamalo-Nenetsky Autonomous Region, Russia) in the four key study sites: climax larch (*Larix sibirica* Ledeb.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests, and flat palsa mire (separately palsa and adjacent hollow). On each study site automated temperature data loggers were used in 5 replicated subsites to measure soil temperature with 0.5°C and record it every 4 hours, i.e. at 1, 5, 9, 13, 17 and 21 o'clock, daily. The loggers were placed at 10 cm soil depth in the root zone. The data from the meteorological station in Noyabrsk were also used in the study. The standard deviation of temperature values, recorded in a study site at one time point, was used as a measure of temperature variation.*

In all study sites the maximal temperature variation was observed at the beginning of the warm season. In both forest sites soil temperature began varying already after snow thawed, which was most likely due to the heterogeneity of vegetation cover and forest litter; in the pine site soil the heterogeneity of direct solar radiation as a result of the crown shadowing also contributed to temperature variation. The biggest soil temperature variation during this period was observed at the pine forest site, with difference between simultaneous replicated measurements reaching at certain time points as much as 9.6°C. In the larch study site the corresponding difference in June did not exceed 7-8°C.

The minimal spatial variation of soil temperature in the root zone was observed in hollows of the flat palsa mire site, most likely due to the absence of the microrelief influence and high water saturation. The highest standard deviation values were observed during snow thawing at the beginning of May, when temperature difference between replicated measurements could be as high as 9.5°C. In June soil temperature variation decreased, staying low during the rest of the year.

The palsa soil temperature at the flat palsa mire site and its variation in winter time showed strong response to changing air temperature. This winter variability was most likely due to unevenness of the snow cover thickness, resulting from the pronounced surface microrelief. During snow thawing period the root zone temperature varied less, apparently because of even penetration and distribution of snowmelt water throughout the studied soil layer. Rapid soil warming resulted in increased temperature variability, which remained high during entire summer and the beginning of autumn, with differences between replicates being as high as 10.1°C. Summer variability of soil temperature at this site could be attributed to the permafrost layer, which in different microrelief positions is located at different depth as related to the root zone, thus exerting different influence on the temperature of the soil layers above.

The most pronounced effect of diurnal fluctuations of root-zone temperature on its spatial variability was observed in pine forest during entire summer period, whereas on the palsa mire ecosystem it was observed at the beginning of summer during intensive thawing of the seasonally frozen layer.

Key words: soil, root zone, temperature, variability, northern taiga

How to cite: Makhatkov I.D., Ermolov Y.V. Spatial variation of the root zone soil temperature in the northern taiga of West Siberia // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(1): 16-24. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Benkova V.E., Zyryanova O.A., Shashkin A.V., Benkova A.V., Sobachkin D.S., Siman'ko V.V., Zyryanov V.I. Influence of spatial mosaic of moss-lichen cover on radial growth of Gmelin larch (Central Evenkia), *Lesovedenie*. 2014, № 4, p.41-49 (in Russian).
2. Demakov Yu.P., Isaev A.V. Spatial change in soil temperature in the dry and floodplain biogeocoenoses, *Scientific works of the reserve "Bolshaya Kokshaga"*, 2013, Iss. 63, p. 39-47 (in Russian).

3. Ilyina I.S., Lapshina E.N., Lavrenko N.N. The vegetation cover of the West Siberian Plain. *Novosibirsk: Nauka*, 1985. 252 p. (in Russian).
4. Katz N.Ya. Types of swamps of the USSR and Western Europe and their geographical distribution. M. Geografiz. 1948, 320 p. (in Russian).
5. Kozhabekova A.Zh., Bopambekov D.I. Dynamics of soil surface temperature in the shadow of saxaul and in the open area, *Science and Peace*, 2014, Vol.1., No3(7), p. 237-238. (in Russian).
6. Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Ju., Shvedchikova N.K. Swamp systems of Western Siberia and their conservation role. Tula: Grif and K, 2001. 584 p.
7. Novikova V.A. Analysis of the relationship between soil temperature and vegetation cover in the sandy steppe (Dniprovsko-Orelsky Nature Reserve), *Biologicheskii visnik MDPU named by Bogdan Khmel'nitskii*, 2016, Vol.6, No2, p. 5-13. (in Russian).
8. Natural regimes of the middle taiga of Western Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1977. 300 p. (in Russian).
9. Ryspekov, T.R. Dependence of the soil thermometers data on their location relative to genetic soil cracks in the steppe zone of Kazakhstan, *Hydrometeorology and ecology*, 2012, No1, p. 88-97. (in Russian).
10. Smolentsev B.A. The structure of the soil cover of the Siberian Uval Rige (the north-taiga subzone of Western Siberia). Novosibirsk: Publishing house of the SB RAS, 2002. 118 p. (in Russian).
11. Khozaynova N.V. Flora and vegetation of the northern taiga of the Purovsky District of the Tyumen Region (north of Western Siberia), *Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Studies*, 2008, Iss.8, p. 27-42. (in Russian).
12. Khozaynova N.V., Alekseeva N.A. Flora and vegetation of river Vengayaha basin (Tyumen region), *Bulletin of Tyumen State University. Socio-economic and legal research*, 2007, No6, p.158-164. (in Russian).
13. Shalatonov E.N. Spatial organization of vegetation cover in the area of Lake Numto (Khanty-Mansi Autonomous Okrug - Ugra), *Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Studies*, 2011, T.12, p. 77-80 (in Russian).
14. Shein E.V. The temperature field of the complex soil cover exempld on the soil cover of the Volodymyr opopie, *Pochvovedenie*, 2009, No2, p. 144-151 (in Russian).
15. Dale R.K., Miller D.C. Spatial and temporal patterns of salinity and temperature at an intertidal groundwater seep, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, Vol.72, No1-2, p. 283-298.
16. Mohanty B. P., van Genuchten M. Th., Klittich W. M., Horton R. Spatio-Temporal Variability of Soil Temperature within Three Land Areas Exposed to Different Tillage Systems, *SSSAJ*, 1995, Vol. 59, No.3, p.752-759. doi:10.2136/sssaj1995.03615995005900030017x
17. Redding T. E., Hope G. D., Fortin M. -J., Schmidt M. G., Bailey W. G. Spatial patterns of soil temperature and moisture across subalpine forest-clearcut edges in the southern interior of British Columbia, *Can. J. of Soil Sci.*, 2003, Vol.83, No1, p. 121-130.
18. Seyfried M. Soil Temperature Variability in Complex Terrain Measured Using Fiber-Optic Distributed Temperature Sensing, *Vadose Zone J.*, 2016, Vol. 15, Iss. 6, p.1-18.
19. Ma S., Concilio A., Oakley B., North M., Chen J.. Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burning treatments, *Forest Ecology and Management*, 2010, Vol.259, Iss.5, p. 904-915.
20. Tallon L. K. *Spatial variability of thermal properties in reclamation cover system*. Saskatoon. 2014. 191 p.

Received 15 December 2017;
accepted 12 January 2018; published 21 February 2018

About the authors:

Makhatkov Igor D. - PhD in Biology, senior researcher of Laboratory of Soil Geography and Genesis of Institute of Soil Science and Agrochemistry of RAS, Novosibirsk city, Russia, makhatkov@mail.ru

Ermolov Yury V. - PhD in Biology, senior researcher of Laboratory of Biogeochemistry of Institute of Soil Science and Agrochemistry of RAS, Novosibirsk city, Russia, ermolov.07@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript.



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).