

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПОД СЕЯНЫМ ЛУГОМ И ЧИСТЫМ ПАРОМ В ПОЛЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ИМИТАЦИИ ПОЧВЕННЫХ ЗАСУХ

Д. А. Хорошаев^{1,2}, И. Н. Курганова¹, В. О. Лопес де Гереню¹

¹*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2;*

²*Пушкинский государственный естественно-научный институт,
142290, Московская область, г. Пушкино, пр. Науки, д. 3
E-mail: d.khoroshaev@tutanota.com*

Поступила в редакцию 25 апреля 2019 г., принята к печати 21 ноября 2019 г.

В полевом эксперименте по имитации почвенных засух изучалось влияние режима увлажнения и наличия растительности на температурный режим серой лесной почвы (*Haplic Luvisol*). Наблюдения за температурой и влажностью почвы проводились в летне-осенний сезон 2015 г. на участках под луговой растительностью и чистым паром. Температура почвы (в слое 0–20 см) и ее влажность (в слое 0–5 см) измерялись при трёх контрастных режимах увлажнения, имитирующих: (1) отсутствие дефицита осадков (регулярное увлажнение), а также (2) два кратковременных и (3) один длительный засушливые периоды, в течение которых почвы не увлажнялись. Установлено, что дефицит осадков при имитации засушливых периодов привел к достоверному увеличению суточной амплитуды температуры почвы в слое 0–20 см и ее среднесуточных значений как на парующих участках, так и на участках под лугом. Поверхность почвы под луговой растительностью в ясные, жаркие дни нагревалась значительно слабее открытой поверхности. Максимальные различия между показателями температуры поверхности почвы на площадках под лугом и паром достигали 6,3–10,3°C в зависимости от варианта опыта.

Ключевые слова: экстремальность климата, гидротермический режим почв, имитационный натурный эксперимент, серая лесная почва.

ANALYSIS OF TEMPERATURE REGIME IN GRAY FOREST SOILS UNDER GRASS AND ON BARE PLOTS IN FIELD EXPERIMENT OF DROUGHT IMITATION

D. A. Khoroshaev^{1,2}, I. N. Kurganova¹, V. O. Lopes de Gerenyu¹

¹*Institute of physico-chemical and biological problems of soil sciences RAS,
142290, Pushchino, Moscow region, Institutskaya str. 2;*

²*Pushchino state institute of natural sciences,
142290, Pushchino, Moscow region, Nauki str., 3,
E-mail: d.khoroshaev@tutanota.com*

The effect of moisture regime and vegetation on the temperature regime of gray forest soil (*Haplic Luvisol*) was studied in a field experiment of soil drought simulation. Temperature and moisture content in the soil of grassland and bare plots were measured during the summer-autumn season of 2015. The soil temperature (0–20 cm layer) and moisture content (0–5 cm layer) were measured under three contrasting moisture regimes: (1) regular watering (no precipitation deficit), (2) two short-term and (3) one long dry period, during which the soil was not watered. It was shown that the lack of precipitation during the imitation of soil droughts led to a significant increase in the daily amplitude of soil temperature in the 0–20 cm layer. The average daily soil temperature values were also increased both in the bare and grassland plots. The soil surface temperature during the clear hot days was much lower under grass vegetation than on the bare plots and the maximum differences reached 6.3–9.2°C depending on the watering regime.

Keywords: extreme climate, hydrothermal regime of soil, field imitation experiment, *Haplic Luvisol*, Moscow region.

ВВЕДЕНИЕ

Температурный режим почв в значительной степени определяется суммарным притоком тепла (Архангельская, 2012). Современные изменения климата, проявляющиеся, прежде всего, в повышении среднегодовой температуры воздуха как на глобальном, так и на региональном уровнях (Второй оценочный доклад..., 2014) оказывают на него весьма существенное влияние. В условиях глобального потепления также увеличивается число экстремальных погодных явлений (Intergovernmental Panel..., 2014; Второй оценочный доклад..., 2014). Так, в летний

период все более частыми и продолжительными становятся периоды с незначительным количеством осадков или их отсутствием, а выпадение осадков в основном носит ливневый характер (Второй оценочный доклад..., 2014; Черенкова, Золотокрылин, 2016). Имеет место усиление общей засушливости климата, причем не только в регионах с прогнозируемым снижением количества осадков, но и в областях, где в соответствии с современными климатическими трендами проявляется тенденция к увеличению суммы осадков (Золотокрылин и др., 2007). Изучение влияния засух на особенности

функционирования агроэкосистем особенно актуально в России, где значительная часть сельскохозяйственных угодий располагается в зоне неустойчивого и недостаточного увлажнения (Черенкова, Золотокрылин, 2016).

Влажность почв и растительный покров играют существенную роль в формировании температурного режима почв, что особенно отчетливо проявляется в условиях усиления засушливости климата в Европейской части России и других регионах планеты (Второй оценочный доклад..., 2014). Влажность почв оказывает опосредованное влияние на их температурный режим, поскольку в зависимости от нее изменяется объемная теплоемкость почвы (Архангельская, 2004). Растительность является существенным фактором, определяющим формирование приземного микроклимата. Так, при удалении растительного покрова происходят значительные изменения температурного режима почвы (Whitman, 1971; Lakshmi et al., 2003).

Цель представленного исследования заключалась в оценке влияния дефицита увлажнения и наличия растительности на температурный режим почв в натурном эксперименте по имитации почвенных засух различной продолжительности. Исследования проводились в южном Подмоскovie, где за последние четыре декады было отмечено достоверное увеличение среднегодовой температуры воздуха, а также очевидное усиление засушливости климата (Курганова и др., 2017; Kurganova et al., 2011, 2017).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Общая характеристика климата и почв района исследований. Климат региона является умеренно-континентальным. По данным станции фонового мониторинга (п. Данки, Московская область, 54°55' с. ш., 37°34' в. д.), среднегодовая температура воздуха за период 1981–2010 гг., который принят за современную климатическую норму (Technical Regulations, 2016), составила $5,2 \pm 0,2^\circ\text{C}$, а среднегодовая сумма осадков – 659 ± 17 мм. Средняя летняя температура воздуха за указанный период равнялась $17,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$, а сумма осадков за летний сезон составляла примерно 1/3 часть (233 ± 12 мм) от их годового количества. Почва экспериментального участка – серая лесная среднесуглинистая (*Haplic Luvisol*) с соотношением фракций песок : ил : глина = 1 : 1,8 : 2. Содержание общего углерода составляет $13,4 \pm 0,9$ г С кг⁻¹ почвы (CHNS анализатор, Лесо, США). Пространственная вариабельность почвенных свойств в пределах экспериментального участка невысокая (Kurganova et al., 2016).

Схема опыта. Наблюдения за температурным режимом почвы проводились в рамках эксперимента по изучению влияния экстремальных погодных явлений на эмиссию углекислого газа из почв (Kurganova et al., 2016; Lopes de Gerenyu et al., 2018), заложенного в 2014 г. на базе опытных площадок Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино, Московская область, 54°50' N 37°36' E). На экспериментальном

участке площадью ~55 м² было размещено 12 опытных делянок площадью 4 м², половина из которых была занята луговой растительностью (далее – луг), а на остальных поддерживался чистый пар (далее – пар). Луговые участки осенью 2011 г. были засеяны трехкомпонентной злаковой смесью с добавлением клевера белого. Травостой на них ежегодно скашивался, а весной 2014 г. был произведен подсев той же смесью злаков и клевера. Между делянками с различными вариантами опыта были установлены перегородки из пластика на глубину 30 см для предотвращения проникновения корней и горизонтального перемещения влаги. 1 июня 2015 г. над делянками была сооружена крыша из поликарбоната. Боковые стенки оставались открытыми для поддержания воздухообмена с окружающей территорией. Это позволило обеспечить практически полную защиту от осадков и контролировать режим увлажнения с помощью поливов, имитируя в натуральных условиях в вегетационный сезон почвенные засухи различной продолжительности.

Эксперимент по изучению влияния дефицита осадков на температурный режим почв проводился в июне–сентябре 2015 г. и включал три варианта:

(1) Отсутствие дефицита осадков, обеспечиваемое при помощи регулярного увлажнения (РУ) с поддержанием влажности почвы на уровне 20–30 об. % на луговых участках и 15–25 об. % на пару. Полив делянок водой, количество которой соответствовало 2,5–5,0 мм выпавших осадков, проводился каждые 2–3 дня.

(2) Два чередующихся периода кратковременной засухи (КЗ) продолжительностью 55 и 34 дня, прерываемых обильным поливом, проводимым до достижения уровня полной влагоемкости почвы. Количество влаги, внесенной по окончании первой засухи, составило 30 мм за 6 дней (с 24 по 30 июля), по окончании второй засухи – 17,5 мм за 5 дней (с 3 по 8 сентября).

(3) Длительный засушливый период (ДЗ) продолжительностью 96 дней, в течение которого влажность почвы существенно снизилась (<10 об. % в слое 0–5 см). Окончание длительной засухи в данном варианте совпадало с окончанием второй кратковременной засухи в варианте КЗ. По окончании ДЗ было внесено 17,5 мм влаги в течение 5 дней (с 3 по 8 сентября).

Каждый из трёх вариантов опыта включал две площадки с луговой растительностью и 2 парующих участка.

Определение гидротермических параметров. Температура воздуха измерялась в двух точках экспериментального участка на высоте 1,5 м с помощью автоматических температурных логгеров (iButton, США). Аналогичные температурные логгеры были установлены в центре каждой из 12-ти площадок на глубине 1 см (поверхность почвы), 5 см, 10 см и 20 см. В течение суток автоматически фиксировалось шесть значений температуры с интервалом 4 часа, на основании которых рассчитывалось среднесуточное значение температуры. Систематическая погрешность измерения температуры логгерами, заявленная

производителем, составляет $\pm 1^{\circ}\text{C}$ с разрешением $0,5^{\circ}\text{C}$ для воздуха и глубины 1 и 5 см, $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ с разрешением $0,125^{\circ}\text{C}$ – для глубины 10 и 20 см. Измерения объёмной влажности почв проводились в верхнем слое почвы (5 см) каждые 2–3 дня с помощью электронного влагомера (НН-2, Netherlands), показатели выражались в %.

Анализ данных. Обработка данных проводилась с использованием MS Excel и R-studio (Venables et al., 2019). Для оценки влияния растительности и режима увлажнения на температуру почвы был проведен двухфакторный дисперсионный анализ, значимость полученных статистических выводов оценивалась по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 5\%$. Множественные сравнения средних проводились с помощью критерия Тьюки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика погодных условий. Средняя летняя температура воздуха (T_{air}) в 2015 г. составила $17,1^{\circ}\text{C}$ и полностью соответствовала климатической норме (КН) за указанный период. Однако в июне 2015 г. T_{air} была на $0,7^{\circ}\text{C}$ ниже КН, а в июле, напротив,

на $0,5^{\circ}\text{C}$ выше. Экстремально высокие показатели температуры воздуха были зафиксированы в сентябре: положительная аномалия по отношению к КН составила $2,8^{\circ}\text{C}$. Суммарное количество осадков за весь период наблюдений было в 1,5 раза ниже КН (188 мм против 288 мм). Особенно засушливым оказался август: количество выпавших осадков было на 50 мм ниже КН. Превышение КН по количеству осадков было зафиксировано только в июле (на 17 мм).

Динамика влажности почвы на экспериментальных участках. Перед началом имитации засух были проведены уравнительные поливы, поэтому влажность почв (W_s) на всех площадках в начале эксперимента различалась незначительно и составляла 28,5–32,5% на участках с растительностью и 22,0–24,5% на парующих участках (рис. 1; здесь и далее влажность указана в объёмных %). За период эксперимента в варианте РУ содержание влаги составляло в среднем $26,0 \pm 2,8\%$ в почве под лугом и $17,3 \pm 2,9\%$ в почве под паром. Влажность почвы под паром варьировалась сильнее, чем под растительностью: коэффициент вариации составил 16% против 10%.

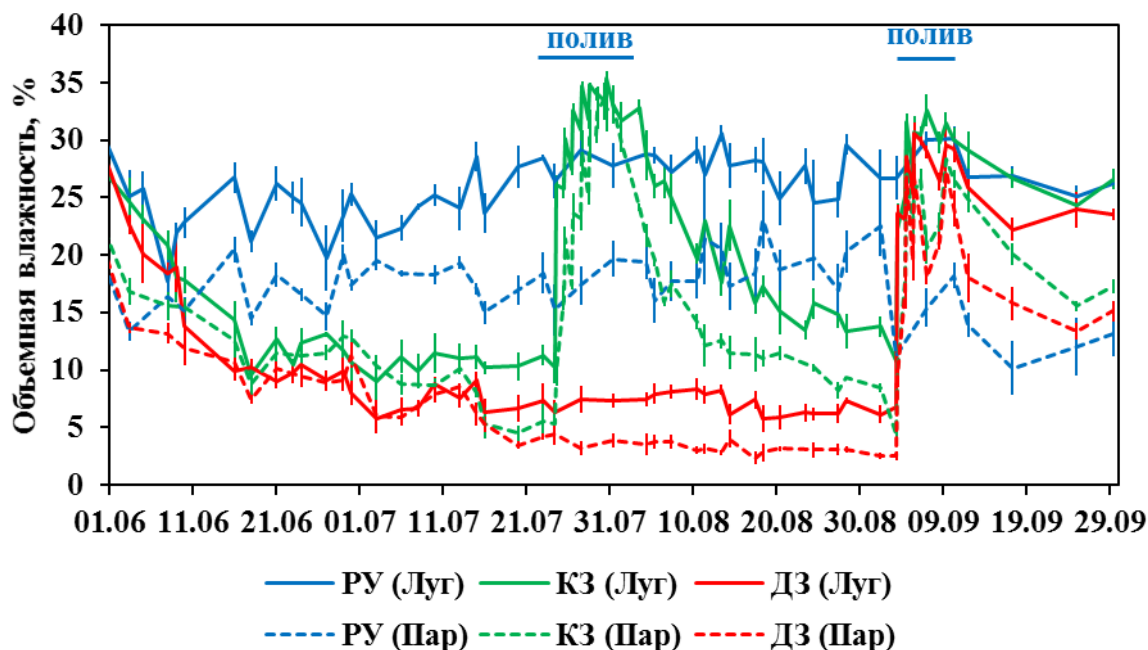


Рис. 1. Динамика влажности почвы в слое 0–5 см под луговой растительностью и чистым паром в трех вариантах опыта: РУ – регулярное увлажнение; КЗ – имитация 2-х коротких почвенных засух; ДЗ – имитация длительной почвенной засухи. Синие прямоугольники соответствуют периодам внесения осадков.

Планки погрешности соответствуют стандартной ошибке среднего значения.

К середине июля (окончание первой 55-дневной засухи) влажность верхнего 5-сантиметрового слоя почвы на парующих площадках в вариантах КЗ и ДЗ снизилась до 5,0–5,3%. На протяжении периода эксперимента и после завершения 6-дневного полива значения W_s в варианте КЗ достигали 31–33%, а к концу второго засушливого периода (начало сентября) влажность почвы снизилась до 8–9%. В варианте ДЗ значения W_s перед проведением осеннего полива (окончание длительной засухи) не превышали 2,5% (рис. 1). В период осеннего полива в обоих вариантах с имитацией почвенных засух W_s увеличилась до 26–

27%, а к концу сентября ее значения плавно снизились до 17%.

На луговых площадках в варианте КЗ влажность почвы к концу первого засушливого периода (середина июля) постепенно уменьшилась до 10%, а в варианте ДЗ – до 6,5%. В период летнего полива влажность почвы в варианте КЗ увеличилась до 33–34%, а к моменту осеннего полива (окончание второй 34-дневной засухи) снова уменьшилась до 13–14%. Влажность почвы в варианте ДЗ к концу засушливого периода составляла около 6%. В период осеннего полива влажность почвы в вариантах КЗ и ДЗ

увеличилась до 30–31%, а к концу сентября плавно снизилась до 24–25%.

Поскольку второй период без внесения осадков приходился на 2-ю половину лета с более низкими температурами и был существенно короче первого, а почва не успела высохнуть после обильного полива в середине лета, то указанный период можно назвать засушливым весьма условно. Средняя влажность почвы в варианте КЗ в течение 2-го засушливого периода была на 5–7% выше, чем в течение 1-го более продолжительного периода без осадков. Тем не менее

дефицит влаги в вариантах КЗ и ДЗ отразился на состоянии растительности. По сравнению с вариантом РУ отмечено усыхание травяного покрова и снижение его проективного покрытия.

Влияние режима увлажнения на температуру почв. Снижение влажности почвы привело к изменению её температурного режима. В вариантах КЗ и ДЗ почва прогревалась сильнее по сравнению с вариантом РУ на всей глубине в пределах 20-сантиметрового слоя (рис. 2).

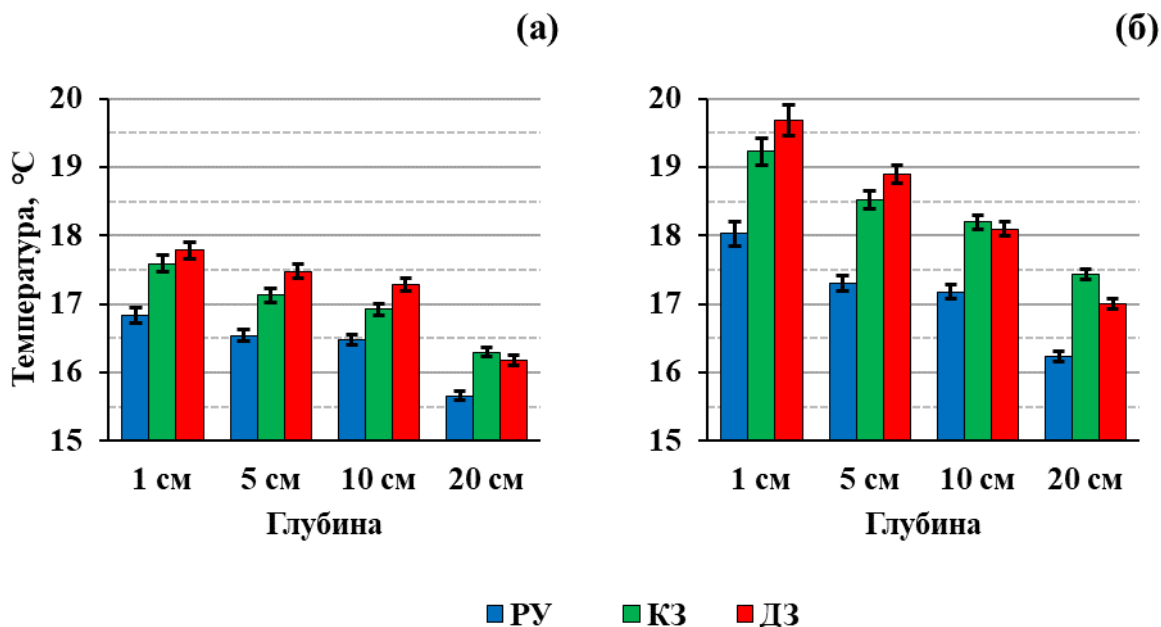


Рис. 2. Средняя температура почвы на разных глубинах за период эксперимента (июнь – сентябрь 2015 г.) под луговой растительностью (а) и чистым паром (б) в различных вариантах опыта: РУ – регулярное увлажнение; КЗ – имитация 2-х коротких засух; ДЗ – имитация длительной засухи.

Планки погрешности соответствуют стандартной ошибке среднего значения.

На луговых площадках за четыре месяца наблюдений средняя температура почвы в зависимости от варианта опыта варьировалась от 16,8–17,8°C на поверхности почвы ($T_{1\text{см}}$) до 15,6–16,2°C на глубине 20 см ($T_{20\text{см}}$). Почва под паром прогревалась сильнее: от 18,0–19,7°C на поверхности почвы до 16,2–17,0°C на глубине 20 см. В вариантах КЗ и ДЗ средние значения $T_{1\text{см}}$ на площадках под луговой растительностью были выше на 0,8–0,9°C по сравнению с вариантом РУ, а на парующих участках разница составляла 1,2–1,7°C (рис. 2). На других глубинах (5, 10 и 20 см) различия в показателях температуры почвы между вариантами КЗ/ДЗ и РУ составляли 0,5–0,6°C под лугом и 0,8–1,2°C под паром.

Наибольшие различия в значениях температуры почвы между вариантами опыта наблюдались в жаркие, ясные дни. Один из таких периодов охватывал промежуток с 07.08.2015 г. по 14.08.2015 г., когда температура воздуха к 13–17 часам достигала 26–35°C. В указанные дни температура поверхности почвы в варианте ДЗ к 17 часам была в среднем на 2,8–3,5°C выше под лугом и на 5,5–7,0°C выше под паром по

сравнению с вариантом РУ. На глубине 20 см разница в значениях температуры между вариантами КЗ/ДЗ и РУ достигала максимума к 21 часу и составляла 1,3–1,4°C под лугом и 0,8–1,2°C под паром.

Влияние растительного покрова на температуру почвы. Вполне ожидаемо, что почвы под луговой растительностью в меньшей степени подвержены перепадам температур, чем почвы под чистым паром, поскольку наличие растительности способствует формированию на луговых площадках более мягкого микроклимата по сравнению с оголенными участками (Казаков, 1949). Для количественной оценки влияния растительности на температурный режим почв была рассчитана разность средних температур почвы на 4-х глубинах в идентичных по режиму увлажнения вариантах опыта (рис. 3). Расчеты выполнялись отдельно для ночного (5 часов) и дневного (13 часов) времени суток, поскольку характер влияния растительного покрова на температурный режим в указанные часы мог быть диаметрально противоположным.

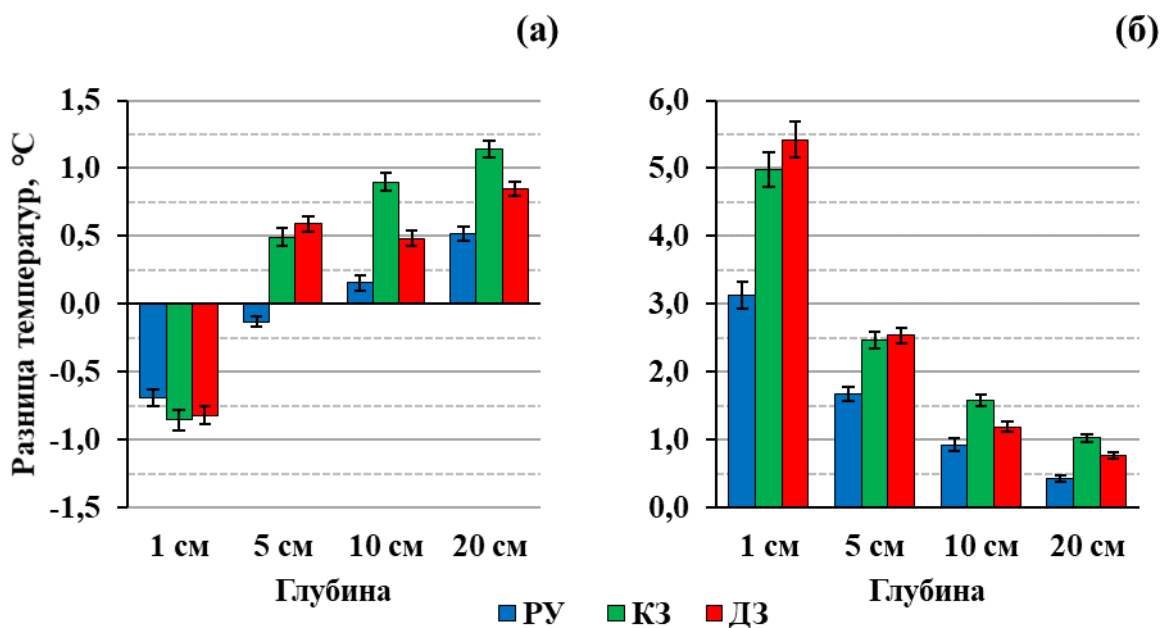


Рис. 3. Средняя разница между температурой почвы в слое 0–20 см на парующих и луговых участках (июнь – сентябрь) в 5 часов (а) и в 13 часов (б) в различных вариантах опыта: ПУ – регулярное увлажнение; КЗ – имитация 2-х коротких засух; ДЗ – имитация длительной засухи.

Планки погрешности соответствуют стандартной ошибке среднего значения.

Днем во всех вариантах опыта температура поверхности почвы на площадках под лугом была существенно меньше, чем на участках под паром. Разница в значениях температуры составляла 3,1°C в варианте ПУ и достигала 5,0–5,4°C в вариантах КЗ и ДЗ (рис. 3б). С глубиной различия между значениями температуры почвы на луговых и парующих участках уменьшались и на глубине 20 см составляли всего 0,4°C в варианте ПУ и 0,8–1,0°C в вариантах с имитацией засух.

В ночные часы поверхность почвы под лугом охлаждалась слабее, значения $T_{1\text{см}}$ на луговых площадках за период проведения эксперимента были в среднем на 0,7–0,9°C выше, чем температура почвы на поверхности парующих участков (рис. 3а). В слое 0–20 см средняя температура почвы в ночное время (5 часов) под чистым паром была выше, чем под луговыми площадками, при этом разница увеличивалась с глубиной. Так, в варианте ПУ средние значения $T_{20\text{см}}$ под паром были на 0,5°C выше, чем под лугом, а в варианте с имитацией засух разница составляла 0,8–1,1°C.

Максимальная разница в значениях температуры поверхности почвы между паровыми и луговыми участками зафиксирована днем во время самого жаркого периода (с 7 по 14 августа) в варианте ДЗ (5,5–10,3°C). В варианте КЗ спустя неделю после окончания полива различия также были довольно значительными (4,8–9,5°C). Разница в показателях температуры поверхности почвы между паровыми и луговыми участками при регулярном поливе была существенно меньше и составила 1,5–6,3°C. Отмеченные различия между вариантами ПУ и КЗ/ДЗ были вызваны в первую очередь меньшим прогревом поверхности сильно увлажненных паровых участков, что, вероятно, обусловлено потерями тепла на испарение влаги. В наиболее холодные ночи, например

18, 21, 24–25 августа, когда температура воздуха снижалась до 5,5–8,5°C, разница в значениях $T_{1\text{см}}$ между вариантами опыта достигала 1,3–2,0°C.

На участках с луговой растительностью суточная амплитуда температуры почвы в наиболее жаркие периоды была незначительной, в особенности на ее поверхности. При этом в вариантах с имитацией засух растительность в наибольшей степени препятствовала нагреванию почвы в дневные часы. В результате средняя за сезон температура почвы под лугом была ниже по сравнению с почвой под паром (рис. 2). В слое 0–5 см снижение температуры составило 0,8–1,2°C в варианте ПУ и 1,4–1,6°C в вариантах КЗ/ДЗ, на глубине 10–20 см – 0,5–0,8°C и 0,8–1,3°C соответственно.

Таким образом, наличие растительности на поверхности почвы играет ключевую роль в формировании её температурного режима. Естественная пространственно-временная вариабельность свойств почв и погодных условий, а также неоднородность растительного покрова обуславливают изменчивость температурного поля почвы. В соответствии с рекомендациями Гидрометеорологической службы, температура почвы на метеостанциях должна измеряться на участках под черным паром или под регулярно скашиваемой до 3–20 см травой. Как показали результаты настоящего исследования, температура почвы в слое 0–20 см на парующих и покрытых луговой растительностью участках в летний сезон может существенно различаться, что необходимо учитывать при определении температуры почвы на метеостанциях и интерпретации результатов исследований, проводимых в естественных ценозах. Масштабирование биогеоценотических исследований и определение температуры почвы по данным метеостанций должны проводиться весьма

внимательно во избежание проблем, связанных с качеством получаемой информации. Понимание природы варьирования температуры почвы и факторов, которые оказывают на нее влияние в условиях изменяющейся среды, необходимо для более точной оценки быстroteкущих почвенно-биологических процессов и увеличения мощности статистических тестов в условиях естественной большой дисперсии значений.

Дифференцированная оценка влияния растительности и режима увлажнения на температуру почв. Для решения данной задачи был проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Из общей выборки данных были исключены результаты

наблюдений, проводимых в сентябре, поскольку в указанном месяце различия в увлажнении площадок между вариантами опыта практически отсутствовали, а показатели температуры почвы были значительно ниже летних, что существенно увеличивало общую сумму дисперсий. Расчеты выполнялись дифференцированно для отдельных глубин (1, 5, 10 и 20 см) и различных интервалов среднесуточных температур воздуха (10–15, 15–20 и 20–25°C).

Наличие растительности на площадках и режим увлажнения оказывали существенное влияние на температуру почвы на всех глубинах в пределах верхнего (0–20 см) слоя почвы в различных интервалах температур воздуха (рис. 4).

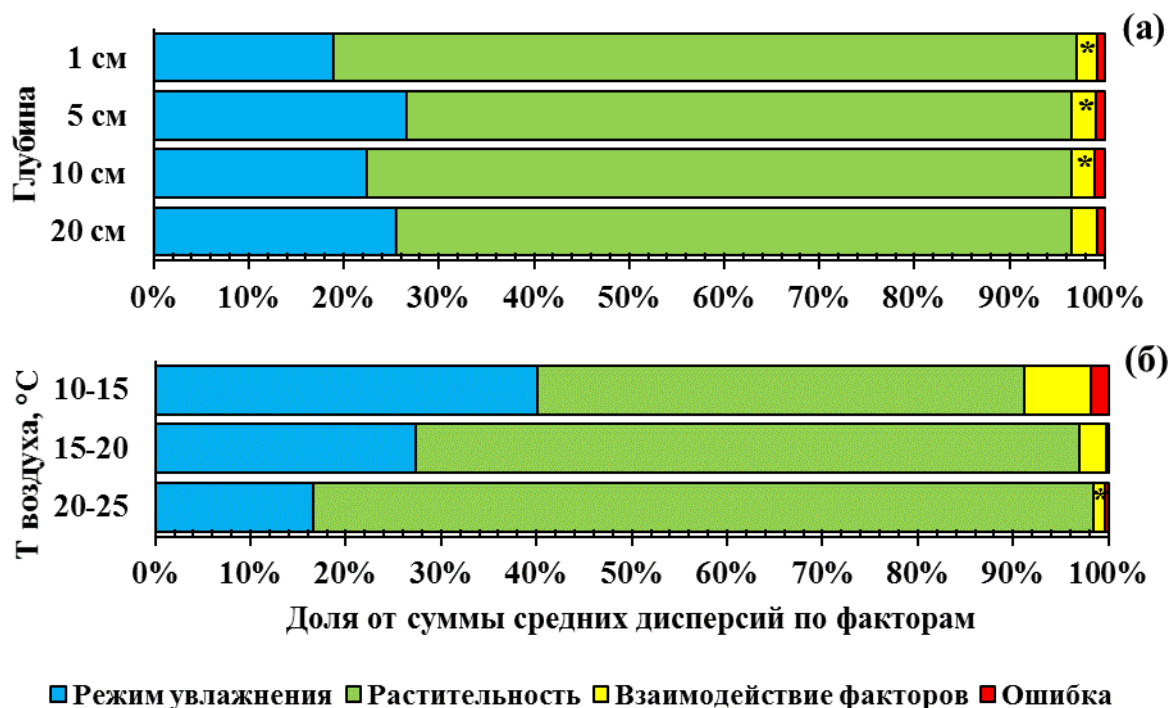


Рис. 4. Доля средней дисперсии фактора в их общей сумме для разных глубин измерения температуры (а) в зависимости от температуры воздуха (б). Уровень значимости 5%, * – не значимо.

Расчеты показали, что в условиях проведенного эксперимента наличие растительности оказывало более выраженное влияние на температуру почв, чем режим увлажнения. Доля дисперсии (MS, средневзвешенная сумма квадратов отклонений), объясняемая наличием растительности, ожидаемо была максимальной (78%) на глубине 1 см (поверхность почвы), а в низлежащих почвенных слоях составляла 71–74% (рис. 4). Доля дисперсии, обусловленная различиями в режиме увлажнения, была существенно ниже (19–26%). Влияние растительности на температурный режим почв было наиболее выраженным при температурах 20–25°C (доля объясненной дисперсии 82%) и постепенно снижалось в более низких интервалах температур (до 70–51%). Доля дисперсии, обусловленная режимом увлажнения, при снижении температуры воздуха увеличивалась с 17% (20–25°C) до 27–40% (рис. 4). Совокупное влияние изучаемых факторов на динамику температуры почвы в летний период было значимым ($\alpha = 5\%$) только на глубине 20 см при температуре воздуха <20°C, что вполне закономерно, поскольку

выраженное совместное влияние изучаемых факторов могло проявиться только тогда, когда засуха стала оказывать существенное воздействие на структуру напочвенного растительного покрова.

На основе результатов дисперсионного анализа было проведено множественное сравнение средних по выборкам в зависимости от комбинации факторов в соответствии с критерием Тьюки. Наиболее выраженные различия в температурном режиме почвы установлены между парующими и покрытыми растительностью площадками. Разница между средними летними температурами почвы на четырех глубинах составила 0,7–1,4°C при регулярном увлажнении и 1,0–2,4°C при дефиците осадков. На парующих участках различия между средними летними температурами при разных вариантах увлажнения были более выраженными и составили 0,9–2,2°C. При сравнении площадок, на которых проводилась имитация засух, с регулярно поливаемыми участками установлена статистически достоверная разница в обоих вариантах опыта. На участках под растительностью статистически

достоверные различия (0,6–1,1°C) выявлены только между вариантами ДЗ и РУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках полевого эксперимента по имитации засух различной продолжительности установлено статистически значимое влияние режима увлажнения и растительного покрова на температурный режим почвы.

Проведенные расчеты показали, что в летне-осенний период наличие луговой растительности оказывало более значительное влияние на температуру почвы в слое 0–20 см, чем режим увлажнения. Это прежде всего выражалось в уменьшении суточной амплитуды температуры почвы. В условиях дефицита увлажнения и особенно в аномально жаркие периоды роль растительного покрова в предотвращении сильного нагревания почвы существенно возрастала. Наиболее выраженное снижение суточной амплитуды почвенных температур под растительным покровом

относительно пара наблюдалось в почвах с низкой влажностью. Средняя за сезон температура почвы в слое 0–20 см на площадках под лугом, на которых проводилась имитация засух, была значительно ниже по сравнению с вариантом РУ, а также с парующими участками.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность сотрудникам Станции фонового мониторинга (п. Данки, Московская область) за регулярное предоставление метеорологических данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Исследование почвенных предшественников, источников и стоков парниковых газов в связи с климатическими изменениями» (рег. № АААА-А18-118013190177-9) при поддержке программы Президиума РАН № 51 и гранта РФФИ 18-34-00691 мол_а, а также программы Президиума РАН № 19-200078.

Список литературы

- Архангельская Т. А. Температурный режим комплексного почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2012. 282 с.
- Архангельская Т. А. Температуропроводность серых лесных почв Владимирского ополья // Почвоведение. 2004. № 3. С. 332–342.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствий на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 282 с.
- Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В., Черенкова В. А. Динамика засух в европейской России в ситуации глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2007. Т. 21. С. 160–182.
- Казаков В. Е. К вопросу о влиянии густоты травостоя многолетних трав на температуру и влажность почвы // Почвоведение. 1949. № 56. С. 268–275.
- Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О., Аблеева В. А., Быховец С. С. Климат южного Подмоскovie: современные тренды и оценка экстремальности // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. № 4. С. 62–78.
- Черенкова В. А., Золотокрылин А. Н. О сравнимости некоторых количественных показателей засухи // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 2. С. 79–94.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- Lakshmi V., Jackson T. J., Zehrhuhs D. Soil moisture–temperature relationships: results from two field experiments // Hydrological Processes, 2003, v. 17, pp. 3041–3057. DOI: 10.1002/hyp.1275.
- Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Petrov A. S., Myakshina T. N., Sapronov D. V., Ableeva V. A., Kudryarov V. N. Effect of the Observed Climate Changes and Extreme Weather Phenomena on the Emission Component of the Carbon Cycle in Different Ecosystems of the Southern Taiga Zone // Doklady Biological Sciences, 2011, v. 441, pp. 412–416. DOI: 10.1134/S0012496611060214.
- Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Myakshina T. N., Sapronov D. V., Savin I. Y., Shorohova E. V. Carbon balance in forest ecosystems of southern part of Moscow region under a rising aridity of climate // Contemporary Problems of Ecology, 2017, v. 10, no. 7, pp. 748–760. DOI: 10.1134/S1995425517070071.
- Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D., Blagodatskaya E. Effect of snowpack pattern on cold-season CO₂ efflux from soils under temperate continental climate // Geoderma, 2016, v. 304, pp. 28–39.
- Lopes de Gerenyu V. O., Kurganova I. N., Khoroshaev D. A. The Effect of Contrasting Moistening Regimes on CO₂ Emission from the Gray Forest Soil under a Grass Vegetation and Bare Fallow // Eurasian Soil Science, 2018, v. 51, no. 10, pp. 1200–1213. DOI: 10.1134/S1064229318100034.
- Venables W. N., Smithand D. M. and the R Development Core Team An Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics. Version 3.6.1. 2019.
- Whitman W. C. Influence of grazing on the microclimate of mixed grass prairie // Plant morphogenesis as basis for the scientific management for range resources. Miscellaneous publication 1271. U.S. Department of Agricultural, 1971, pp. 207–218.
- Technical Regulations. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2015, no. 2 (2007). Basic documents.

References

- Arkhangelskaya T. A. *Temperaturnyy rezhim kompleksnogo pochvennogo pokrova*. [Temperature Regime of the Complex Soil Cover] Moscow: GEOS, 2012. 282 p.

- Arkhangelskaya T. A. Temperaturoprovodnost serykh lesnykh pochv Vladimirskogo opolia [Thermal Diffusivity of Gray Forest Soils in the Vladimir Opolie Region] // *Pochvovedeniye*, 2004, no. 3, pp. 332–342.
- Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviy na territorii Rossiyskoy Federatsii. [The second assessment report on climate change and its consequences in Russian Federation] Moscow, Rosgidromet, 2014, 282 p.
- Zolotokrylin A. N., Vinogradova V. V., Cherenkova V. A. Dinamika zasukh v evropeyskoy Rossii v situatsii globalnogo potepleniya [Drought dynamics over european russia in global warming situation] // *Problemy Ekologicheskogo Monitoringa I Modelirovaniya Ekosistem*, 2007, v. 21, pp. 160–182.
- Kazakov V. E. K voprosu o vliyaniy gustoty travostoya mnogoletnikh trav na temperaturu i vlazhnost pochvy. [Effect of grass cover density on soil temperature and moisture] // *Pochvovedeniye*. 1949, no. 5, pp. 268–275.
- Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Ableyeva V. A., Bykhovets S. S. Klimat yuzhnogo Podmoskovia: sovremennyye trendy i otsenka ekstremalnosti [Climate of Moscow region south: current trends and assessment of extremeness] // *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya*, 2017, no. 4, pp. 62–78.
- Cherenkova V. A., Zolotokrylin A. N. O sravnimosti nekotorykh kolichestvennykh pokazateley zasukhi [On the comparability of some quantitative drought indices] // *Fundamentalnaya I Prikladnaya Klimatologiya*, 2016, v. 2, pp. 79–94.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- Lakshmi V., Jackson T. J., Zehrhuhs D. Soil moisture–temperature relationships: results from two field experiments // *Hydrological Processes*, 2003, v. 17, pp. 3041–3057. DOI: 10.1002/hyp.1275.
- Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Petrov A. S., Myakshina T. N., Sapronov D. V., Ableeva V. A., Kudiyarov V. N. Effect of the Observed Climate Changes and Extreme Weather Phenomena on the Emission Component of the Carbon Cycle in Different Ecosystems of the Southern Taiga Zone // *Doklady Biological Sciences*, 2011, v. 441, pp. 412–416. DOI: 10.1134/S0012496611060214.
- Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Myakshina T. N., Sapronov D. V., Savin I. Y., Shorohova E. V. Carbon balance in forest ecosystems of southern part of Moscow region under a rising aridity of climate // *Contemporary Problems of Ecology*, 2017, v. 10, no. 7, pp. 748–760. DOI: 10.1134/S1995425517070071.
- Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D., Blagodatskaya E. Effect of snowpack pattern on cold-season CO₂ efflux from soils under temperate continental climate // *Geoderma*, 2016, v. 304, pp. 28–39.
- Lopes de Gerenyu V. O., Kurganova I. N., Khoroshaev D. A. The Effect of Contrasting Moistening Regimes on CO₂ Emission from the Gray Forest Soil under a Grass Vegetation and Bare Fallow // *Eurasian Soil Science*, 2018, v. 51, no. 10, pp. 1200–1213. DOI: 10.1134/S1064229318100034.
- Venables W. N., Smithand D. M. and the R Development Core Team an Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics. Version 3.6.1. 2019.
- Whitman W. C. Influence of grazing on the microclimate of mixed grass prairie // Plant morphogenesis as basis for the scientific management for range resources. Miscellaneous publication 1271. U.S. Department of Agricultural, 1971, pp. 207–218.
- Technical Regulations. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2015, no. 2 (2007). Basic documents.

