

УДК 630.114:631.436:630 (571.150)

Общие и теплофизические свойства дерново-подзолистой почвы под насаждениями земляники в условиях лесостепи Алтая*Макарычев С.В., Патрушев В.Ю.**Алтайский государственный аграрный университет***Аннотация**

Дерново-подзолистая почва, занятая посадками земляники садовой, характеризуется супесчаным гранулометрическим составом с преобладанием среднего и мелкого песка. Плотность сложения почвы при переходе от пахотного горизонта к почвообразующей породе возрастает с 1,13 до 1,52 г/см³, но плотность твердой фазы изменяется незначительно. Во всех генетических горизонтах почвы объемная теплоемкость является функцией трех почвенно-физических факторов: плотности сложения, влажности и температуры. По сравнению с абсолютно сухим состоянием теплоемкость при полной влагоемкости (ПВ) увеличивается в 2–3 раза. Теплопроводность почвы в начале увлажнения экспоненциально растет, а при заполнении всего порового пространства водой достигает максимума. Экстремум температуропроводности наблюдается при наименьшей влагоемкости (НВ).

Ключевые слова: ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТАЯ ПОЧВА, ВЛАЖНОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ, ДИСПЕРСНОСТЬ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ, ОБЪЕМНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ

Введение

Тепло и влага являются главными условиями роста и формирования урожая земляники, что указывает на необходимость комплексного наблюдения и анализа за взаимодействием природных факторов и продуктивности культуры. Это даст возможность определить оптимальные соотношения между количеством тепла и влаги в почве в самые ответственные моменты жизни растений, и тем самым определить наиболее приемлемые способы и приемы создания благоприятного почвенного микроклимата для получения высоких урожаев [1]. В этой связи всестороннее исследование закономерностей

функционирования гидротермических режимов во взаимосвязи с теплофизическими показателями почвенного профиля, сопряженными с агротехникой возделывания и биологическими особенностями земляники весьма актуально.

Известно, что корневая система земляники формируется в поверхностном слое почвы мощностью 20–25 см. Здесь сосредоточено до 92% всех корней ягодной культуры и только единичные вертикальные корни в дерново-слабоподзолистых почвах отмечаются на глубине до 40 см. В результате земляника во время засушливого периода страдает из-за дефицита влаги. Для предотвращения этой опасности почву содержат в рыхлом и влажном состоянии. Вода особенно нужна землянике ранней весной и после плодоношения, когда новые корни ускоренно развиваются. Зачастую она требует систематического орошения в течение всей вегетации.

Для анализа этих процессов нами в 2020 году был заложен почвенный разрез [2], проведено морфологическое описание его профиля и определены общезфизические и гидрологические показатели дерново-подзолистой почвы под посадками земляники. Были изучены также особенности формирования водного и теплового режима в почве при использовании капельного орошения на территории НИИСС им. М. А. Лисавенко

Цель исследования

Изучить комплекс теплофизических характеристик во взаимосвязи с особенностями общезфизических и водно-физических свойств дерново-подзолистой почвы под насаждениями земляники.

Объекты и методы

Объектом исследований определена дерново-подзолистая почва супесчаного гранулометрического состава под насаждениями земляники садовой сорта «Первоклассница», селекционированная в НИИ садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко (г. Барнаул). Температурный режим был изучен полевым зондом, датчики которого *DS18D20* созданы по технологии *I-Wire* фирмой «Dallas Semiconductor–Maxim». Этот тип датчиков зарегистрирован в Госреестре средств измерений под №23169–02 и допущен к использованию в России. Применялись также расчетные методы [3-6]. Влажность почвы определена взвешиванием и методом частотной диэлькометрии [7-8]. Измерения показателей проводились в течение вегетации до глубины один метр через каждые 10 см.

Температура измерялась автоматически через каждые 3 часа в течение всей вегетации. Затем рассчитывались суммы температур и полезные запасы влаги (ПЗВ) по генетическим горизонтам. Кроме того, был изучен суточный ход температуры в начале и конце теплого времени года.

Результаты исследований

Морфология и агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы

С целью морфологического описания профиля дерново-подзолистой почвы был открыт разрез метровой глубины [2]. Органолептический анализ показал, что по разновидности дерново-подзолистой почвы она является в большей степени супесчаной. В профиле обозначена слабая присыпка SiO₂. Зернистая структура в верхней части профиля в гор. АВ сменяется комковато-зернистой, а в горизонте В – ореховатой и порошистой. Пахотный горизонт Ап (0-20 см) периодически подвержен поверхностной обработке. Он черного цвета комковато-зернистой структуры, свежий, плотный. В нем отмечено большое количество корней и следов дождевых червей. Горизонт АВ (20–40 см) имеет темно-серую окраску, крупную комковато-зернистую структуру, довольно большую плотность сложения, корневины и червоточины. Ниже расположен иллювиальный горизонт В (40–65 см) серого цвета с желтыми пятнами. Почвообразующая порода С (65–100 см) желтой окраски, плотная, песчаная с затеками гумусовых веществ.

В табл. 1. представлены результаты определения гранулометрического состава.

Таблица 1. Особенности гранулометрического состава дерново-подзолистой почвы под землянкой садовой

Горизонт	Содержание фракций (мм), % от абсолютно сухой почвы						
	1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менее 0,001	менее 0,01
Ап (0-20см)	53,8	21,0	12,0	2,4	3,5	7,1	13,0
А (20-40см)	57,4	20,4	10,9	1,8	3,2	6,0	11,1
В (40–65 см)	56,9	22,9	10,3	1,9	2,5	5,9	10,4
С (65-100 см)	58,4	26,1	7,2	1,2	1,6	6,1	9,0

Из табл. 1 следует, что дерново-подзолистая почва по гранулометрическому составу относится к супесчаной разновидности с преобладанием крупной и средней фракции песка. Они составляют в почвообразующей породе 80%, а в верхней части почвенного профиля 75%. Количество крупной пыли равно 10–12%, мелкой 3–4%.

Содержание илстой фракции не превышает 6–7%, глинистой 10–13%. При этом почвообразующая порода представляет собой связанный песок.

В табл. 2 включены величины плотности сложения (ρ), плотности скелета почвы (d), влажности завядания (ВЗ), наименьшей (НВ) и полной (ПВ) влагоемкости почвы.

Таблица 2. Общефизические и гидрологические константы дерново-подзолистой почвы

Горизонт	h, см	ρ , г/см ³	d, г/см ³	ВЗ, %/мм	НВ, %/мм	ПВ, %
Ап	0-20	1,13	2,53	6,8/15,4	14,2/32,1	55,0/125,0
А	20-40	1,24	2,61	5,5/13,6	11,9/29,5	53,1/131,7
В	40-65	1,37	2,67	5,4/18,5	11,3/38,7	49,2/168,5
С	65-100	1,52	2,73	4,2/22,3	9,1/48,4	44,0/133,8

Данные табл. 2 показывают, что плотность сложения дерново-подзолистой почвы при переходе от пахотного горизонта к почвообразующей породе увеличивается с 1,13 до 1,52 г/см³ (на 35%). Можно отметить незначительные изменения плотности твердой фазы почвы, которые не превышают 8%. Влажность завядания снижается при этом с 6,8 до 4,2% от массы сухой почвы или в мм от 15,4 в горизонте Ап до 18,5 мм в иллювиальном. Наименьшая влагоемкость варьирует в пределах 15–19%.

Физико-химические показатели дерново-подзолистой почвы показаны в табл. 3.

Содержание органического вещества в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте указывает на то, что дерново-подзолистая почва является малогумусной. Максимальное количество органического вещества сосредоточено в пахотном слое почвы, составляя 4,2%, которое снижается до 0,6% в почвообразующей породе. Такое глубокое проникновение гумусовых соединений обусловлено низкой дисперсностью профиля, представленного супесчаной и песчаной фракциями. По величине рНв почвенные горизонты имеют слабощелочную реакцию.

Таблица 3. Физико-химические показатели дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	рН водный	Кальций мг-экв	Магний мг-экв
Ап.	0-20	5,7	6,8	12,2	1,5
А	20-40	3,9	6,9	8,4	1,8
В	40-65	2,6	6,7	5,1	0,9
С	65-100	0,6	6,7	3,3	1,4

Суммарное значение поглощенных оснований в пахотном слое составляет 12,0 мг-

экв на 100 граммов почвы. Вниз по профилю оно снижается до 3,3 мг-экв. Преобладает в почвенном комплексе кальций. Его доля достигает 80–90% от суммы оснований. Магния в почве хватает для оптимального роста и развития земляники.

Оценка почвенного плодородия по его способности обеспечивать урожайность сельскохозяйственных культур базируется на содержании элементов питания в доступных для растений формах (табл. 4). Данные по обеспеченности почвы подвижными питательными веществами дают возможность оценить их потребность в удобрениях. Нами проведено оценочное определение подвижных форм азота, фосфора и калия в 2020 году. Содержание азота в почве довольно низкое, что относит его к первому классу обеспеченности.

Таблица 4. Подвижные элементы питания (N, P, K) под насаждениями земляники (числитель) и на пару (знаменатель) в пахотном слое почвы (2020 г.)

Срок	Азот мг/100 г	Фосфор мг/100 г	Калий мг/100 г	Влажность, %	Температура, оС
16.05	0,4/0,8	50,0/32,5	10,0/12,0	15,4/18,0	16,0/13,9
23.06	0,11/0,3	40,0/32,5	12,2/11,5	14,8/9,6	19,0/18,9
21.07	0,3/0,2	46,2/23,7	14,6/13,6	18,4/21,3	17,8/17,7
03.09	0,2/0,2	40,0/32,5	12,2/11,5	16,5/11,9	14,5/14,2

Уровень обеспеченности почвы подвижным фосфором в течение всей вегетации под земляникой оставался высоким и относился к шестому классу. Количество калия составляло от 23,7 до 50,0 мг/100г, что соответствовало четвертому классу обеспеченности, хотя 21 июля достигало даже пятого класса.

Теплофизическая характеристика почвенного профиля дерново-подзолистой почвы

Теплофизические характеристики почв подразделяются на две категории: аккумулятивные, отвечающие за накопление количества теплоты в почвенном профиле и теплообменные, обеспечивающие перенос этой теплоты по генетическим горизонтам. Первые представлены коэффициентами объемной и удельной теплоемкости, а вторые коэффициентами теплопроводности, температуропроводности и тепловыми потоками. Комплекс таких показателей, как следует из теоретических представлений молекулярной физики, подтверждается практическими изысканиями. Он сложным образом зависит от таких почвенно-физических факторов, как влажность, температура, плотность сложения, дисперсность, гумусированность.

Результаты экспериментальных исследований [9-13] показывают, что в почвах

Западной Сибири разного генезиса объемная теплоемкость возрастает прямо пропорционально влажности, температуропроводность характеризуется ярко выраженным максимумом, соответствующим той или иной гидрологической константе, а теплопроводность почв экспоненциально растет, достигая "насыщения".

Кроме влажности почвы на комплекс ТФК сильное воздействие оказывает плотность сложения почвенных горизонтов. Так, объемная теплоемкость и теплопроводность сухой почвы с увеличением ее плотности сложения линейно возрастают. Это обусловлено тем, что при отсутствии влаги теплопередача тепла в почве реализуется посредством кондуктивной теплопроводности. В то же время температуропроводность почвы по мере ее уплотнения экспоненциально уменьшается. По словам С. В. Макарычева [14] «Эти результаты мы объясняем на основе представлений о молекулярной передаче тепла в дисперсных средах и твердых телах. Как известно, температуропроводность газов велика. Для воздуха она равна $0,16 \times 10^{-4}$ м/с, для воды $0,13 \times 10^{-6}$ м/с, для твердых тел еще меньше. Следовательно, температуропроводность почвы будет сильно зависеть от ее уплотнения, величины почвенных пор, степени их заполнения воздухом или водой. Поэтому, по мере уплотнения почвы, сопровождающемся изменением структуры порового пространства в сторону уменьшения размеров воздушных пор, увеличения числа замкнутых пор, повышением концентрации молекул содержащегося в них воздуха, а, следовательно, снижением длины свободного пробега газовых молекул, температуропроводность почвы уменьшается».

Такой природный фактор, как температура также оказывает влияние на ТФК дерново-подзолистой почвы. Объяснение этого явления дано в работах С. В. Макарычева [3, 14] «Увеличение температуропроводности почвы объясняется тем, что при повышении температуры влажных образцов возрастает скорость движения молекул парообразной влаги, содержащейся в поровом пространстве, которые наряду с кондуктивной теплопередачей, также участвуют в переносе пара и тепла. Чем выше температура, тем больше скорость движения молекул пара, тем больше их участие в процессе теплообмена и тем быстрее растет температуропроводность почвы, будучи одной из составляющих комбинированного механизма тепломассопереноса. Другими словами, температуропроводность — это эффективная скорость переноса энергии».

Кроме того, максимальные величины коэффициентов теплопередачи (λ и α) имеют место в почвах супесчаного гранулометрического состава, тогда как в более тяжелых

горизонтах (суглинистых или глинистых) они ниже. Причина такой зависимости кроется в том, что рост дисперсности предопределен увеличением числа твердых почвенных частиц, а, значит и количеством воздушных пор меньшего размера, а, следовательно, количеством тепловых контактов, затрудняющих процесс теплопередачи. Все это в совокупности препятствует эффективному теплообмену в почве.

Характеристика теплофизического профиля основана на экспериментальном определении объемной теплоемкости, тепло- и температуропроводности генетических горизонтов дерново-подзолистой почвы. При помощи методики, разработанной С. В. Макарычевым [14] были рассчитаны их значения в полевых условиях, представленные в табл. 5. Они дают представление о тепловых характеристиках профиля, образцы которого первоначально высушены, а затем смоделированы до влажностей, соответствующих приведенным гидрологическим константам. Здесь C_p – объемная теплоемкость (106 Дж/(м³ К)), λ – теплопроводность (Вт/(м К)), α – температуропроводность (10⁻⁶ м²/с) и β – теплоусвояемость почвы, определяемая как $\beta = (C_p \times \lambda)^{1/2}$ (кг/(К с^{3/2})). Средняя удельная теплоемкость почвы $C_0 = 1125$ Дж/(кг К).

Таблица 5. Теплофизические коэффициенты генетических горизонтов дерново-подзолистой почвы при различных гидрологических константах

Водные константы	Абсолютно сухая	ВЗ, %	НВ, %	ПВ, %
Горизонт Ап				
ТФК	0,0	6,8	14,2	55,3
C_p	1,27	1,56	1,86	3,58
λ	0,58	0,88	1,01	1,39
α	0,46	0,54	0,57	0,39
β	0,86	1,17	1,37	2,23
Горизонт А				
ТФК	0,0	5,5	11,9	52,5
C_p	1,39	1,63	1,90	3,62
λ	0,59	0,92	1,06	1,52
α	0,43	0,56	0,56	0,42
β	0,911	1,224	1,402	2,344
Горизонт В				
ТФК	0,0	5,4	11,3	48,7
C_p	1,54	1,77	2,00	3,59
λ	0,60	0,96	1,06	1,68
α	0,39	0,55	0,53	0,47
β	0,96	1,31	1,46	2,46

Водные константы	Абсолютно сухая	ВЗ, %	НВ, %	ПВ, %
Горизонт С				
ТФК	0,0	4,2	9,1	44,3
C_p	1,71	1,94	2,09	3,57
λ	0,61	1,04	1,10	1,83
α	0,36	0,54	0,53	0,41
β	1,02	1,42	1,52	2,56

Примечание: $HCPC_p = 2,4\%$; $HCPL = 4,5\%$; $HCP\alpha = 2,1\%$.

Как было отмечено выше, функция $C_p = f(U)$ представлена прямой пропорциональной или линейной зависимостью от почвенной влажности и, главным образом, определяется плотностью сложения почвенного профиля, что не требует каких-либо пояснений. При этом его максимальное значение для супесчаной почвы наблюдается при влажности, близкой к влажности завядания (ВЗ), хотя в гумусовом горизонте он смещен в сторону ВРК, что определяется его повышенной гумусированностью. Особенности изменения температуропроводности почвы зависят от состояния почвенной влаги и соотношения водной и воздушной фаз.

Эти данные показывают, что увеличение влажности ведет к улучшению теплообмена в почвенных горизонтах, но до определенного предела, когда разрушение капиллярной целостности резко замедляет рост теплопередачи. В результате чего теплопроводность стремится к «насыщению».

Его изменение в области влагосодержания от абсолютно сухого состояния до ВЗ имеет криволинейный характер, после чего переходит в прямую пропорциональную зависимость, при этом угол наклона графика определяется плотностью сложения почвенного горизонта.

Известно [14], что объемная теплоемкость почвы складывается из теплоемкости сухой почвы и теплоемкости воды, содержащейся в ней в соответствии с уравнением: $C_p = C_{p0} + C_{жрж}U_{ж}$, где C – удельная теплоемкость почвы; ρ_0 – плотность сложения сухой почвы; $C_{жрж}$ – объемная теплоемкость воды, равная $4,2 \times 10^6$ Дж/(м³ К); U – влажность почвы в долях единицы.

Результаты исследований дают возможность оценить величины всего теплофизического комплекса, соответствующие различным водно-физическим константам. Из них следует, что во всех генетических горизонтах дерново-подзолистой

почвы коэффициент теплоаккумуляции увеличивается с ростом почвенного влагосодержания. Так, в абсолютно сухом состоянии гор. Ап он составляет $1,271 \times 10^6$ ед. СИ (Система СИ – международная система единиц), а в наиболее плотной почвообразующей породе уже $1,710 \times 10^6$ Дж/(м³ К). При увлажнении до влажности завядания (ВЗ) теплоемкость равна $1,557 \times 10^6$ Дж/(м³ К), а при полной влагоемкости (ПВ) уже $3,581 \times 10^6$ ед. СИ. Таким образом, в этом диапазоне влажности она увеличивается в 2,3 раза. Температуропроводность имеет максимум при влажности близкой к НВ, поскольку ВРК в супесчаной почве по сути отсутствует, и при наличии органики в 5,7% ее значение не превышает $0,57 \times 10^{-6}$ м²/с. Теплопроводность и теплоусвояемость растут при увлажнении сначала быстро, затем их темп замедляется и при ПВ достигает экстремума.

Уплотнение подстилающих горизонтов вносит свои коррективы. Так, чем глубже горизонт, тем он плотнее, поэтому объемная теплоемкость, теплопроводность и коэффициент теплоусвоения становятся больше как в обезвоженном состоянии, так и при той или иной гидроконстанте. Температуропроводность вниз по профилю почти не изменяется. Максимум коэффициента аккумуляции (теплоемкости) отмечен в почвообразующей, наиболее плотной породе. Аналогичным образом вниз по профилю возрастает величины теплопередачи и теплоусвоения. Так, в пахотном слое теплопроводность при увлажнении изменяется в 2,4 раза, в иллювиальном горизонте в 2,8 раза, а в почвообразующей породе в 3,0. В сухом состоянии теплопроводность сухой и увлажненной почвы по глубине возрастает соответственно на 17,4%, а при ПВ на 31,5%.

Выводы

1. Дерново-подзолистая почва, занятая посадками земляники садовой, характеризуется супесчаным гранулометрическим составом с преобладанием среднего и мелкого песка, составляющего 75–80%. Количество крупной пыли достигает 10–12, а мелкой 3–4%. Илистая фракция представлена 6–7, а глинистая 10–13%. Плотность сложения почвы при переходе от горизонта Ап к почвообразующей породе возрастает с 1,13 до 1,52 г/см³. В то же время, плотность твердой фазы почвы изменяется незначительно. Влажность завядания снижается при этом с 6,8 до 4,2% от массы сухой почвы, а наименьшая влагоемкость варьирует в пределах 15–19%.

2. Во всех генетических горизонтах дерново-подзолистой орошаемой почвы объемная теплоемкость является функцией трех почвенно-физических факторов по мере

убывания: плотности сложения, влажности и температуры. При этом почвенное влагосодержание и температура наиболее динамичны и значимы. По сравнению с абсолютно сухим состоянием теплоемкость при полной влагоемкости (ПВ) увеличивается в 2–3 раза. Теплопроводность почвы в начале увлажнения экспоненциально растет, а при заполнении всего порового пространства водой до ПВ достигает максимума. Экстремум температуропроводности наблюдается при наименьшей влагоемкости (НВ).

Список использованных источников:

1. Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 328–341.
2. Рассыпнов В.А. Сборник задач и упражнений по методике опытного дела [Текст]. - Барнаул, 1987. - 61 с.
3. Макарычев С.В. Физические свойства, гидротермические режимы почв и методы их исследования: учебное пособие. - Барнаул: Изд-во АГАУ, 2020. – 67 с.
4. Шеин Е.В. Теории и методы физики почв [Текст] / Е.В. Шеин, Л.О. Карпачевский. - М.: Гриф и К, 2007. - 616 с.
5. Шеин Е.В. Определение профильного распределения температуры почвы на основании температуры ее поверхности / Е.В. Шеин, А.Г. Болотов, М.А. Мазиров, А.И. Мартынов // Земледелие. – 2018. – № 7. – С. 26–29.
6. Болотов А.Г. Определение теплофизических свойств почв с использованием систем измерения ZETLAB // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2012. - № 12 (98). - С. 048–050.
7. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
8. Болотов А.Г. Измерение влажности почв методом частотной диэлькометрии / А.Г. Болотов, Т.А. Карась, А.А. Лёвин и др. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2013. - № 12 (110). - С. 36–39.
9. Shishkin A.V. Irrigation parameters of sea buckthorn of various planting density depending on weather conditions / A.V. Shishkin, S.V. Makarychev, I.V. Gefke. – Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. Т. 14, № 4, 2022. - P. 202-214.
10. Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв: автореф. дис. доктора биол. наук. – Москва, 2008. – 50 с.
11. Лебедева Л.В. Влагосодержание и теплофизические свойства почв под древесными фитоценозами в условиях дендрария // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул, 2017. – 8(154). – С. 67.
12. Макарычев С.В. Теплофизика почв: методы и свойства [Текст] / С.В.

Макарычев С.В., Патрушев В.Ю. Общие и теплофизические свойства дерново-подзолистой почвы под насаждениями земляники в условиях лесостепи Алтая

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Макарычев, М.А. Мазиров. – Суздаль, 1996. – 231 с.

13. Лебедева Л.В. Влагосодержание и теплофизические свойства почв под древесными фитоценозами в условиях дендрария // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – №8(154). – С. 67–71.

14. Макарычев С.В. Теплофизические свойства почв Юго-Западной Сибири: дисс. доктора биол. наук. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 34 с.

=====

Цитирование:

Макарычев С.В., Патрушев В.Ю. Общие и теплофизические свойства дерново-подзолистой почвы под насаждениями земляники в условиях лесостепи Алтая [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/1/st_113.pdf