

АГРОНОМИЯ



УДК 631.436

С.В. Макарычев

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

Введение

Теплофизические показатели почвы, такие как объемная и удельная теплоемкости, тепло- и теплопроводность, сложным образом зависят от целого ряда почвенно-физических факторов: температуры, плотности сложения почвенного профиля, степени увлажнения генетических горизонтов, гранулометрического состава, содержания в них органического вещества.

Известно, что увлажнение почвы играет определяющую роль в формировании теплофизического состояния почвенных профилей. При этом рядом авторов показано (Чудновский, 1976; Макарычев, 1996), что в характере изменения термических характеристик почвы в зависимости от влажности четко выражены следующие закономерности: объемная теплоемкость линейно растет при увеличении влажности, теплопроводность имеет ярко выраженный максимум при определенных влажностях, а теплопроводность почв нелинейно увеличивается, стремясь к «насыщению». Неоднозначное влияние на величину теплофизических коэффициентов и их распределение в почвенном профиле оказывает плотность и дисперсность генетических горизонтов. Изучение этих взаимосвязей позволило разработать структурно-функциональную концепцию теплофизического состояния почв разного генезиса.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились почвы разного генезиса и гранулометрического состава. Для измерения теплофизических характеристик в лабораторных условиях был использован импульсный метод плоского источника тепла. В поле применялся цилиндрический зонд (Макарычев, 1996).

Результаты и их обсуждение

Известно (Макарычев, 1996), что температурный коэффициент объемной теплоемкости почвы зависит от ее влажности ($\beta = f(U)$) и изменяется по сложному закону (рис.). При малых влажностях он растет медленно и лишь в диапазоне от максимально гигроскопической влажности (МГ) до влажности разрыва капиллярных связей (ВРК) его значения резко увеличиваются, а затем снова замедляются.

Следует отметить, что в сухом состоянии и при полной влагоемкости (ПВ) почвы разной дисперсности имеют одинаковый температурный коэффициент. Следовательно, четко выраженное изменение температурного коэффициента почвы при ее промежуточном увлажнении определяется совокупным изменением физических условий теплопередачи в почве в связи с обводнением ее порового пространства, а вместе с тем и изменением энергетического состояния, свойств и поведения почвенной влаги.

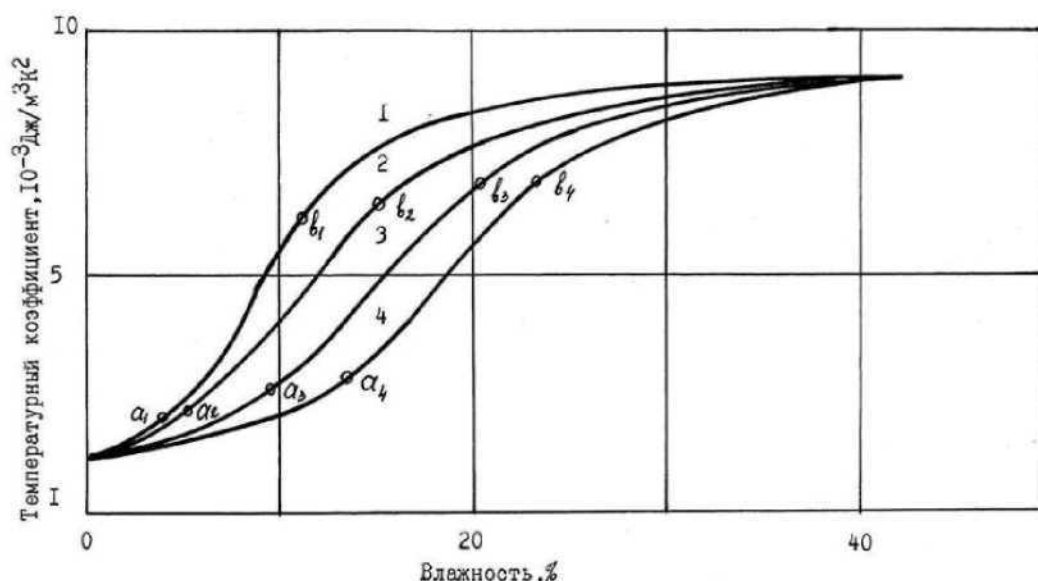


Рис. Зависимость температурного коэффициента объемной теплоемкости кварцевого песка (1), супеси (2), суглинки (3) и глины (4) в зависимости от влажности

В то же время с повышением влажности почвы температуропроводность резко возрастает, достигая максимума в среднесуглинистом черноземе при влажности, близкой к ВРК. Дальнейшее увлажнение приводит к снижению температуропроводности.

Это обусловлено тем, что в почвах разной дисперсности наиболее благоприятные условия для диффузии почвенного воздуха, а следовательно, диффузионного переноса пара и тепла создаются при различных гидрологических константах, когда почвенный воздух становится полностью насыщенным водяным паром, а воздухоносные почвенные поры еще не разобщены водяными пробками. Дальнейшее увеличение почвенной влажности приводит к обводнению части средних, а затем и крупных пор, что нарушает связность системы воздухоносных пор, уменьшает паропроницаемость и температуропроводность почвы.

Увлажнение влечет за собой также рост теплопроводности до некоторого максимального значения. Такой ход кривых объясняется тем, что влага, постепенно вытесняя из почвенных пор плохо теплопроводный воздух, увеличивает теплопроводность почвы.

Однако, согласно нашим данным, хорошо выраженное на кривых резкое увеличение теплопроводности почвы сильно замедляется при той или иной гидроконстанте вследствие процессов

набухания. В результате ослабляются контакты между твердыми частицами почвы, а внутри системы обводненных пор остаются свободные от воды замкнутые поры, что в совокупности и приводит к снижению темпа, возрастания теплопроводности почвы.

Нами также установлено достаточно четкое уменьшение температуропроводности почвы по мере увеличения ее плотности. При этом объемная теплоемкость сухого и увлажненного чернозема линейно возрастает, а коэффициент температуропроводности экспоненциально снижается.

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 $0,16 \times 10^{-4}$, 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.

Увеличение плотности приводит к уменьшению объема воздушной фазы в почве, к сближению твердых частиц скелета почвы. При этом снижается общая порозность почвы, в ней становится меньше крупных и больше тупиковых пор, в которых давление заземленного воздуха больше атмосферного.

Все это ведет к росту концентрации молекул воздуха в поровом пространстве почвы и уменьшению длины свободного пробега этих молекул. При неизменной температуре скорость передвижения молекул воздуха постоянна, и коэффициент температуропроводности есть функция только длины свободного пробега. 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.

В свою очередь, совокупное изменение теплоемкости и температуропроводности почвы определяет динамику ее теплопроводности. Она нелинейно растет с увеличением плотности сложения почвы.

Выявить механизм влияния степени дисперсности почвенных частиц на теплофизические коэффициенты почв в их естественном слежении достаточно сложно. Совокупное воздействие большого количества факторов (плотности сложения, температуры, влажности и др.) позволяют сделать только качественную оценку взаимосвязи термических параметров и гранулометрического состава.

Иначе сказывается степень дисперсности горизонтов на коэффициентах тепло- и температуропроводности почвы. Так, высокое содержание глины и илистой фракции обуславливает минимальные величины коэффициентов теплопередачи в почве.

Причина рассмотренных изменений, по нашему мнению, заключается в том, что возрастание дисперсности влечет за собой рост числа частиц твердой фазы почвы, а следовательно, и количества воздухоносных пор, но меньших размеров, а также количества тепловых контактов. Все это в совокупности препятствует эффективному теплообмену в почве.

Наряду с рассмотренными факторами на теплофизические коэффициенты существенное влияние оказывает и содержание органического вещества в почве. Это влияние обусловлено различиями в

теплофизических показателях как отдельных гранулометрических фракций, так и органики, например, торфа. Так, удельная теплоемкость кварцевого песка составляет 821 Дж/(кг К), глины – 976 Дж/(кг К), а торфа – уже 2000 Дж/(кг К). В то же время теплопроводность кварцевого песка оказывается равной 0,35 Вт/(м К), а торфа – 0,11 Вт/(м К).

Данные эксперимента показывают, что повышение содержания органики приводит к закономерному возрастанию как объемной, так и удельной теплоемкости. Коэффициенты теплопередачи при этом уменьшаются. В то же время коэффициенты теплопередачи в горизонтах с повышенным содержанием органического вещества существенно меньше, чем в малогумусных.

Знание взаимосвязей комплекса термических и почвенно-физических факторов позволило разработать структурно-функциональную концепцию теплофизического состояния почв.

Действительно, теплофизические показатели генетических горизонтов почвенного профиля суть структурно-функциональные, именно тот или иной характер построения агрегатно-структурного уровня организации почвы из элементарных почвенных частиц предопределяет величину и степень изменчивости теплоемкости, тепло- и температуропроводности не только отдельно взятого горизонта (горизонтного структурного уровня), но и всего почвенного профиля в целом (уровня почвенного индивидуума). Таким образом, здесь выдерживается иерархия уровней структурной организации почвы (Воронин, 1984).

Структурно-функциональная концепция теплофизического состояния почв базируется на установленной зависимости максимума температуропроводности и критического значения теплопроводности функции $\alpha(U)$ и $\lambda = f(U)$ от степени уплотнения почв разного гранулометрического состава.

Известно, что максимум коэффициента температуропроводности суглинистых почв наблюдается при влажности, близкой к ВРК, которая характеризуется переходом пленочно-стыковой влаги в пленочно-капиллярную.

Потенциал влаги в этом состоянии назван А.Д. Ворониным (1984) потенциалом при максимальной молекулярной влагоемкости почвы (ММВ). При этом потенциале поверхностные силы в изотермических условиях удерживают максимальное количество пленочной влаги, что объясняется двумя противоположно действующими факторами – увеличением толщины и сокращением площади пленок. Таким образом, здесь осуществляется термодинамическое равновесие между пленочной и капиллярной влагой, определяемое структурой почвенного тела, когда возникает не только состояние разрыва капиллярной связи в почве, но и состояние восстановления диффузионной связи в ее поровом пространстве.

В супесчаных почвах максимум температуропроводности и критическое значение теплопроводности приурочены к НВ. Здесь преобладают крупные и средние поры, составляющие до 70% общей порозности, что обуславливает дискретное состояние почвенной влаги во всем интервале естественного увлажнения почвы. При НВ в них обводнено всего 40-45% порового пространства, а крупные и часть средних пор заняты воздухом. В этих почвах капиллярноменисковое и капиллярно-пленочное передвижение влаги выражено очень слабо. В то же время при НВ почвенная влага приобретает свойство капиллярно-связного водного тела, обеспечивающего достаточно высокие значения контактной тепло- и температуропроводности, в то время как оставшиеся свободными воздушные поры поддерживают значительную термопаропередачу.

В глинистых почвах, где преобладают мелкие поры, такая гидрологическая константа, как ВРК не выражена, поэтому здесь максимальные величины температуропроводности смещены в сторону влажности завядания. При такой степени почвенного увлажнения доля капиллярно-подвешенной влаги ничтожна и практически вся она представлена рыхлосвязанной формой, находящейся и ней в неустойчивом термодинамическом равновесии.

Следует отметить, что в почвах различной степени дисперсности изменение внешних или внутренних условий должно вызывать нарушение равновесия и приводить к смещению максимума темпе-

ратуропроводности и критического значения теплопроводности относительно степени почвенного влагосодержания.

Так, при уплотнении, сопровождающемся разрушением крупных пор, наблюдается переход влаги в более мелкие поры, где критический потенциал $\psi_{\text{ММВ}}$ наблюдается при меньшей влажности, поэтому часть почвенной влаги переходит в категорию капиллярно-подвешенной, капиллярно-подпертой или гравитационной. При этом разрушается воздушно-связное состояние парового пространства и, как следствие, уменьшается температуропроводность. Для восстановления равновесия часть почвенной влаги необходимо удалить.

Нами получены зависимости влажности, соответствующей максимуму температуропроводности $U_{a_m} = f(\gamma)$ для почв глинистого (1), суглинистого (2) и супесчаного (3) гранулометрического состава. В соответствии с ними получены уравнения линейной регрессии при температуре 20°C:

$$U_{a_m}(1) = 42,3 - 0,017\gamma;$$

$$U_{a_m}(2) = 37,9 - 0,017\gamma;$$

$$U_{a_m}(3) = 34,7 - 0,017\gamma;$$

где U – влажность почвы, % от массы;

γ – плотность почвы, кг/м³.

Коэффициент корреляции 0,83 дан при однопроцентном уровне значимости. Уравнения для глинистых и суглинистых почв верны в пределах 900-1600 кг/м³, для супесчаных – 1300-1700 кг/м³.

Взаимосвязь структуры (механических элементов) и теплофизических показателей отражает уравнение:

$$U_{a_m} = -8,9 + 7,2 \ln D ,$$

где D – дисперсность или количество частиц менее 0,01 мм.

При этом индекс детерминации криволинейной корреляции оказывается равным 0,92 при 1%-ном уровне значимости, т.е. на 92% максимальная температуропроводность обеспечена дисперсностью почвы.

Наибольшая скорость изменения влажности, соответствующая максимуму температуропроводности, отмечается в супесчаных почвах. Несколько меньше она в суглинистых, а в глинистых снижается и стремится к некоторому пределу, близкому к 24% от массы почвы.

Подвижность влаги в зависимости от степени дисперсности почвы

Содержание частиц менее 0,01 мм, %	15,0	25,0	37,5	52,5	67,5	80,0	92,5
Подвижность	1,60	0,90	0,51	0,32	0,18	0,12	0,09

В таблице приведены данные зависимости скорости изменения влажности (подвижности влаги), при которой отмечается экстремальное значение температуропроводности от степени дисперсности почвы. Из данных таблицы следует, что влияние влаги наиболее активно проявляется в супесчаных почвах, слабее – в суглинистых и очень слабо – в глинистых почвах.

В то же время энергия связи влаги с твердой фазой, наоборот, выше в более дисперсных почвах. Именно поэтому динамичность коэффициентов тепло- и температуропроводности снижается при переходе от супесчаного к глинистому гранулометрическому составу.

Таким образом, структурно-функциональная концепция теплофизического состояния увязывает количественные соотношения между основными почвенно-физическими факторами (U , D и γ) и теплофизическими показателями (a_m , λ_k) почвы.

Выводы

1. Почвенно-физические факторы оказывают неоднозначное влияние на характер и величину теплофизических характеристик почв разного генезиса и гранулометрического состава. Наиболее существенную роль играют при этом степень почвенного увлажнения и плотность сложения почвы.
2. Разработанная структурно-функциональная концепция теплофизического состояния почв позволяет найти количественные соотношения между ее влажностью, степенью дисперсности, плотностью сложения и коэффициентами теплопереноса.

Библиографический список

1. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А.Д. Воронин. М., 1984. 203 с.
2. Макарычев С.В. Теплофизика почв: методы и свойства / С.В. Макарычев, М.А. Мазиров. Суздаль, 1996. Т. 2. 231 с.
3. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв / А.Ф. Чудновский. М., 1976. 352 с.



УДК 633.4:41.3

О.А. Пирогов,
Е.Р. Шукис,
Г.Г. Дегтяренко

БИОЛОГО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ ЯРОВОГО РАПСА С ПОЗИЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Проблема увеличения производства растительного масла и белка в России относится к числу ключевых. Ежегодно ввиду несбалансированности кормовых рационов по жизненно важным компонентам недобирается огромное количество животноводческой продукции, а дефицит собственного продовольствия,

в т.ч. и растительного масла, покрывается за счет поставок его из-за рубежа, на что тратятся значительные валютные средства. Очевидно, что проблему следует решать комплексно, в т.ч. путем существенного расширения посевных площадей под крестоцветными культурами и, прежде всего, рапсом [1].