

ный на выявлении пространственного распределения физических свойств почв, соотношении этого распределения с расположением почвенных контуров в пространстве и прогнозной оценке агрофизических условий, – это подход для обоснования, проведения и интерпретации данных по полевым масштабным экспериментам и научная основа для разработки агроландшафтных систем земледелия.

Получение пространственно-распределенной агрофизической информации и комплексных показателей, аккумулирующих в себе характеристики водно-воздушного режима почв, дают возможность оценить агрофизические условия в пределах изучаемого ландшафта. Использование именно такого рода агрофизических подходов дает возможность применить современные взгляды и методы агрофизики к развиваемым методам ландшафтного земледелия.

Библиографический список

1. Дмитриев Е.А. К проблеме неоднородности почв почвенного покрова. Теоретические и методологические проблемы почвоведения. – М.: ГЕОС, 2001. – С. 100-116.
2. Шеин Е.В., Умарова А.Б., Кирдяшкин П.И., Самойлов О.А. Преимущественные потоки влаги в структурных суглинистых почвах. Proc. Int. Conf. «Soil Science – Base for sustainable Agriculture and Environment Protection». – Sofia, Bulgaria. ПъблишСайСет-Еко», Part 1, 2007. – P. 113-115.
3. Бенинг В.Е., Гончаров В.М. Использование методов математического моделирования для агрофизической оценки почвенного покрова // Прикладная математика: вестник Тверского госуниверситета. – 2010. – № 9. – Вып. 1 (16). – С. 43-54.
4. Судницын И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 348 с.

5. Шеин Е.В., Гончаров В.М. Особенности гидрологического режима почвы в зонах технологической колеи // Почвоведение: вестник Московского университета. – 1991. – № 2. – С. 35-39.

6. Гончаров В.М., Тымбаев В.Г., Фаустова Е.В. Латеральная изменчивость агрофизического состояния комплексного почвенного покрова // Почвоведение. – 2008. – № 10. – С. 54-63.

References

1. Dmitriev E.A. K probleme neodnorodnosti pochv pochvennogo pokrova. Teoreticheskie i metodologicheskie problemy pochvovedeniya. – M.: GEOS, 2001. – S. 100-116.
2. Shein E.V., Umarova A.B., Kirdyashkin P.I., Samoilov O.A. Preimushchestvennye potoki vlagi v strukturnykh suglinistykh pochvakh. Proc. Int. Conf. Soil Science – Base for Sustainable Agriculture and Environment Protection. – Sofia, Bulgaria. P"eblishSaiSet-Eko, Part 1, 2007. – P. 113-115.
3. Bening V.E., Goncharov V.M., Ispol'zovanie metodov matematicheskogo modelirovaniya dlya agrofizicheskoi otsenki pochvennogo pokrova // Vestnik Tverskogo gosuniversiteta, Ser. Prikladnaya matematika. – 2010. – № 9. – Вып. 1 (16). – С. 43-54.
4. Sudnitsyn I.I. Dvizhenie pochvennoi vlagi i vodopotreblenie rastenii. – M.: Izd-vo MGU, 1979. – 348 s.
5. Shein E.V., Goncharov V.M. Osobennosti gidrologicheskogo rezhima pochvy v zonakh tekhnologicheskoi kolei // Vestnik Moskovskogo universiteta, Ser. 17. Pochvovedenie. – 1991. – № 2. S. 35-39.
6. Goncharov V.M., Tymbaev V.G., Faustova E.V. Lateral'naya izmenchivost' agrofizicheskogo sostoyaniya kompleksnogo pochvennogo pokrova // Pochvovedenie. – 2008. – № 10. – С. 54-63.



УДК 631.445.4631.43571.15

С.В. Макарычев, И.А. Бицошвили, Л.В. Лебедева
S.V. Makarychev, I.A. Bitsoshvili, L.V. Lebedeva

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ (НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА НИИСС ИМ. М.А. ЛИСАВЕНКО)

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF GENETIC HORIZONS OF LEACHED CHERNOZEMS (CASE STUDY OF A PRODUCTION PLOT OF LISAVENKO RESEARCH INSTITUTE OF GARDENING IN SIBERIA)

Ключевые слова: влажность, гидрологические константы, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность.

Keywords: moisture content, hydrologic constants, specific thermal capacity, heat conductivity, temperature diffusivity.

Теплофизические характеристики генетических горизонтов чернозема, такие как теплоемкость, тепло- и температуропроводность, зависят от влажности, плотности, температуры почвы, степени ее дисперсности. Гранулометрический состав генетических горизонтов исследованного чернозема весьма однороден и относится к легким суглинкам. Распределение механических элементов, гумуса и плотности определяют характер дифференциации теплофизических коэффициентов в почвенном профиле. Наиболее сильное влияние на теплоемкость и теплопроводность оказывает степень почвенного увлажнения. Затем идут гранулометрический состав, плотность сложения почвенных горизонтов, температура, содержание в почве органического вещества. При этом как теплоемкость, так и теплопроводность возрастают, соответственно, линейно и по закону «насыщения». Температуропроводность же имеет максимальное значение при влажности разрыва капиллярных связей. Уплотнение почвы и увеличение дисперсности вызывает снижение этой характеристики. При переходе от пахотного слоя к почвообразующей породе теплоаккумуляция почвы возрастает, в то время как скорость изменения температуры становится меньше. Выявленные взаимосвязи теплофизических коэффициентов и почвенно-физических факторов позволяют оценить характер и степень изменения тепловых свойств по профилю чернозема при разных режимах увлажнения, что необходимо для комплексного обоснования и эффективного решения актуальных вопросов влаго- и тепломелиорации почв Алтайского края.

Thermophysical properties of genetic horizons of chernozems as specific thermal capacity, heat conductivity and temperature diffusivity depend on soil moisture, density, temperature, and soil particle size. The particle size composition of the genetic horizons of the studied chernozem is quite homogeneous and belongs to light loams. The distribution of mechanical particles, humus and density determine the pattern of thermophysical factors differentiation in the soil profile. The greatest effect on the thermal capacity and heat conductivity is rendered by the degree of soil moistening. Then go the particle size composition, the density of soil horizons, temperature, and soil organic matter content. At the same time both specific thermal capacity and heat conductivity increase respectively linearly and according to the "saturation" law. As for temperature diffusivity, it is at its maximum at the moisture of capillary bond breaking. Soil compaction and increased dispersion cause the reduction of that property. At the transition from the arable layer to the parent rock, the soil heat accumulation increases, while the rate of temperature change decreases. The revealed correlations of thermophysical and soil-physical factors enable evaluating the pattern and degree of thermal properties change throughout chernozem profile under different conditions of moistening; that is topical a comprehensive study and efficient solution of urgent problems of moisture- and thermal melioration of the soils of the Altai Region.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 68-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Бицошвили Ирина Алексеевна, к.с.-х.н., Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: profagau@mail.ru.

Лебедева Людмила Владимировна, ассистент, каф. землеустройства, земельного и городского кадастра, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-25-00. E-mail: fro208@yandex.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Chair of Physics, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-57. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Bitsoshvili Irina Alekseyevna, Cand. Agr. Sci., Altai State Agricultural University. E-mail: profagau@mail.ru.

Lebedeva Lyudmila Vladimirovna, Asst., Chair of Land Management, Land and Urban Cadastre, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-25-00. E-mail: fro208@yandex.ru.

Введение

Теплофизические характеристики генетических горизонтов чернозема, такие как объемная теплоемкость, тепло- и температуропроводность, главным образом зависят от целого ряда почвенно-физических факторов: влажности, плотности, температуры почвы, ее дисперсности и от количества органического вещества [1-3].

Гранулометрический состав является одним из консервативных показателей физического состояния почвенного профиля, он способен оставаться на одном уровне в течение длительного времени. Содержание гумуса в почве также весьма стабильно и может изменяться в незначительных пределах при соответствующей агротехнике. Поэтому влия-

ние указанных факторов на теплофизические свойства чернозема за вегетационный период минимально [4].

Гранулометрический состав почвенных горизонтов чернозема достаточно однороден по всем фракциям и является легкосуглинстым. Почвообразующая порода несколько отличается от других почвенных горизонтов и относится к среднесуглинистой разновидности, в основном за счет большого содержания илистой фракции. Отмеченные особенности распределения механических элементов, количества гумуса и плотности по почвенным горизонтам предопределяют характер дифференциации теплофизических характеристик почвенной толщи чернозема.

Результаты исследований

Полученные данные позволяют утверждать, что степень изменения объемной теплоемкости C_p зависит от влажности генетических горизонтов. Так, в пахотном горизонте теплоемкость увеличивается на 41%, иллювиальном – на 43, в материнской породе – на 69%.

Графически изменение объемной теплоемкости генетических горизонтов от влажности представлено на рисунке 1.

На рисунке 1 видно, что объемная теплоемкость изменяется линейно, т.е. при увлажнении почвы увеличивается величина теплоаккумуляции. Изменения объемной теплоемкости происходят в соответствии с уравнением:

$$C_p = C_{p0} + C_{ж} \rho_0 U,$$

где $C_{ж} = 4190$ Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость воды;

ρ_0 – плотность абсолютно сухой почвы;

C_{p0} – объемная теплоемкость сухой почвы;

U – влажность почвы, %.

При этом наименьшей величиной теплоаккумуляции обладают верхние, слабо уплотненные горизонты чернозема, а наибольшей – почвообразующая порода. Это связано с различиями физико-механических и водно-физических показателей почвенных горизонтов чернозема выщелоченного. Так, при увеличении плотности и влажности почвы доля воздуха в единичном объеме уменьшается, и он заземляется твердой либо жидкой почвенными фазами, объемная теплоемкость которых превосходит теплоемкость воздуха на три порядка.

Зависимость температуропроводности от содержания влаги в почве, близкая к параболической и может быть выражена формулой [5]:

$a = a_{\max} - C(U - U_{\max})^2$,
где a_{\max} – максимальная температуропроводность;

C – константа, характеризующая «размах дуги» и равная 10^{-3} ;

U – влажность, %;

U_{\max} – влажность при максимальной температуропроводности, %.

Анализируя данные исследований можно утверждать, что во всех рассматриваемых случаях хорошо выражен максимум температуропроводности (рис. 1-5). При переходе от верхних горизонтов к нижним он сдвигается в сторону большей влажности. При этом в исследуемых горизонтах изменение этого теплофизического коэффициента колеблется от 14 до 25%. Высокая динамичность температуропроводности в иллювиальном горизонте связана с небольшим содержанием органики и преобладанием здесь наиболее температуропроводных почвенных агрегатов размером 0,25-0,05 мм.

Изменение теплопроводности при увлажнении показано на рисунке 2. Согласно полученным данным, изменение характеристики теплопереноса при увлажнении происходит согласно закону «насыщения». Такое распределение коэффициента теплопередачи связано с тем, что процессы теплообмена определяются исключительно кондуктивным механизмом переноса тепла в почве. С увеличением влажности возрастает площадь стыковых манжет и, соответственно, величина кондуктивной теплопроводности. Одновременно увеличивается и объемная теплоемкость, линейно зависящая от влажности. В дальнейшем увеличение содержания влаги в почве в диапазоне пленочно-стыковой рыхлосвязанной приводит к росту интенсивности пародиффузного переноса тепла; теплопроводность возрастает быстрее, чем объемная теплоемкость.

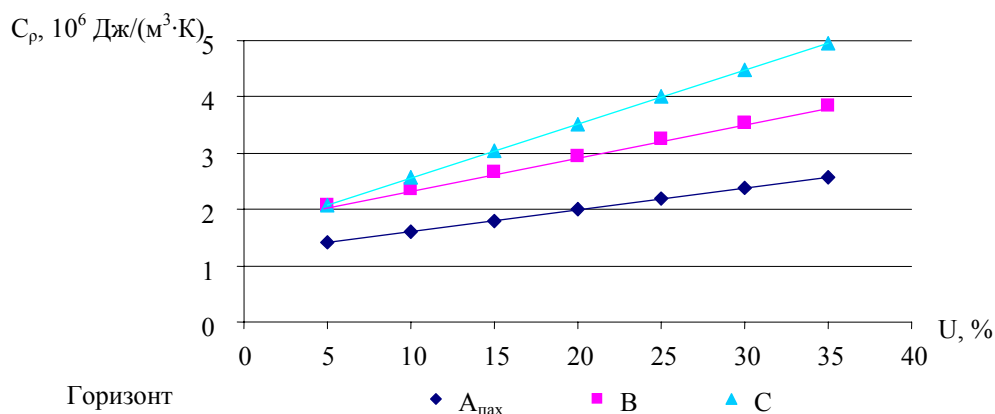


Рис. 1. Объемная теплоемкость генетических горизонтов при различном увлажнении

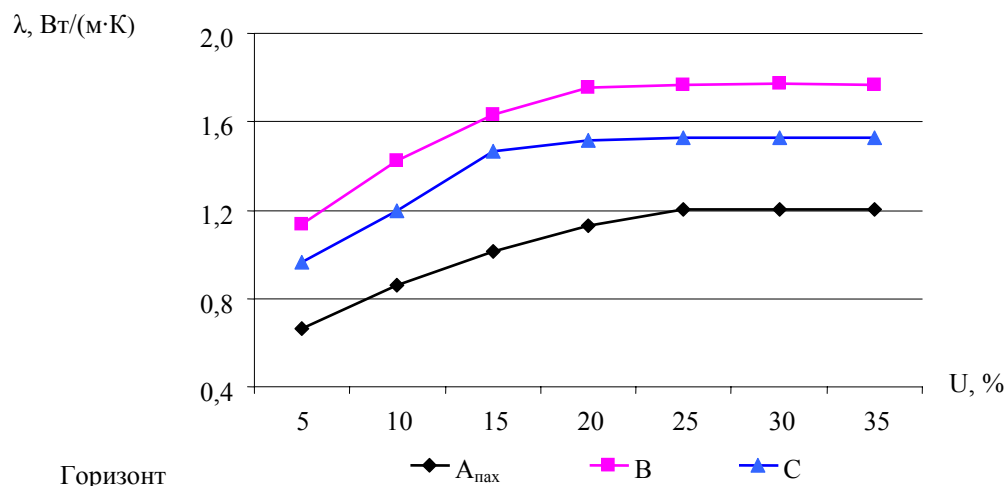
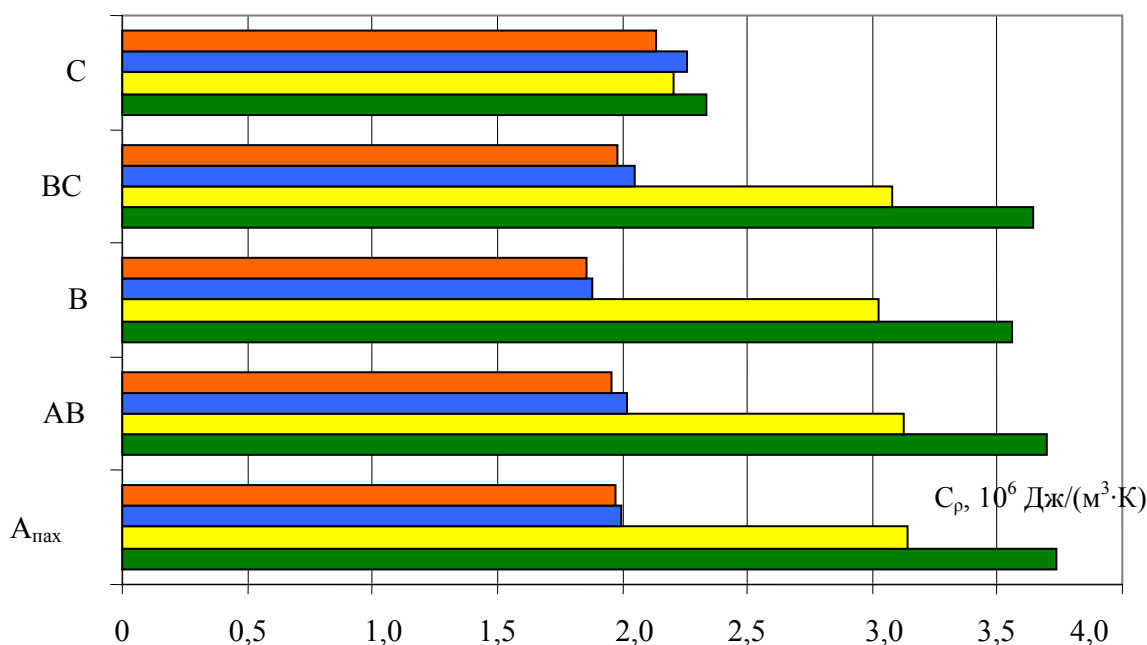


Рис. 2. Теплопроводность генетических горизонтов при различном увлажнении



	A _{пах}	AB	B	BC	C
MG	1,98	1,96	1,85	1,98	2,13
B3	1,99	2,02	1,88	2,05	2,26
BPK	3,14	3,12	3,02	3,08	2,20
NB	3,73	3,70	3,56	3,64	2,34

Рис. 3. Объемная теплоемкость генетических горизонтов чернозема выщелоченного при разных гидрологических константах

В области насыщения по мере перехода пленочно-стыковой влаги в пленочно-капиллярную и возникновения сплошных водяных пробков в части пор пародиффузный перенос тепла ослабляется, и теплообмен сводится к кондуктивной теплопередаче, как и при низких влажностях, при этом теплопроводность почвы замедляет свой рост [6].

Замедление роста теплопроводности почвы во многом определяется качественным составом почвенной порозности, а вместе с тем характером и степенью обводненности порового пространства. В этом отношении почвы, а в равной мере и их отдельные генетические горизонты, имеющие суглинистый или супесчаный гранулометрический состав, существенно различаются [7].

Полученные значения коэффициента теплопроводности позволили проследить его изменения в генетических горизонтах. При этом следует отметить, что характер этих изменений во всех почвенных горизонтах одинаков. Диапазон изменений коэффициента теплопередачи при увлажнении составляет для гумусового горизонта 69%, для почвообразующей породы – 20, а для горизонта В – 55%.

Большой интерес представляет распределение теплофизических характеристик генетических горизонтов чернозема выщелоченного при различных гидрологических константах.

Изменение объёмной теплоемкости почвенного профиля чернозема представлено на рисунке 3.

Максимальная динамичность теплоемкости характерна для гумусового горизонта. Здесь объёмная теплоемкость от максимальной гигроскопичности до наименьшей влагоемкости возрастает практически в 2 раза. Такое же колебание отмечается и в иллювиальном горизонте. В почвообразующей породе изменение объёмной теплоемкости от МГ до НВ составляет всего 9%.

Изменение температуропроводности генетических горизонтов при некоторых гидроконстантах представлено на рисунке 4.

Нужно отметить, что температуропроводность имеет выраженный экстремум при

влажности, близкой к ВРК, что характерно для почв суглинистого гранулометрического состава. Диапазон изменений температуропроводности от МГ до НВ для гумусового горизонта составляет 17%, в переходном горизонте – 22%. Такое распределение теплофизической характеристики связано с содержанием гумуса в генетических горизонтах.

Характер изменения теплопроводности генетических горизонтов при различных гидроконстантах представлен на рисунке 5.

Приведенные данные показывают, что при влажностях, соответствующих той или иной гидрологической константе, качественный характер изменения теплофизических коэффициентов по профилю чернозема остается почти неизменным, хотя степень изменения их при этом разная. То же можно сказать и о динамике коэффициентов теплопереноса в каждом генетическом горизонте в связи с меняющейся влажностью.

Так, при одинаковых гидроконстантах теплопроводность имеет меньшие значения в пахотном слое, а с глубиной они закономерно увеличиваются. Например, при влажности завядания теплопроводность возрастает при переходе от $A_{\text{пах}}$ к горизонту С на 23%, а при наименьшей влагоемкости – на 29%. Следовательно, с повышением влажности почвы значения теплофизических коэффициентов в профиле имеют тенденцию к выравниванию.

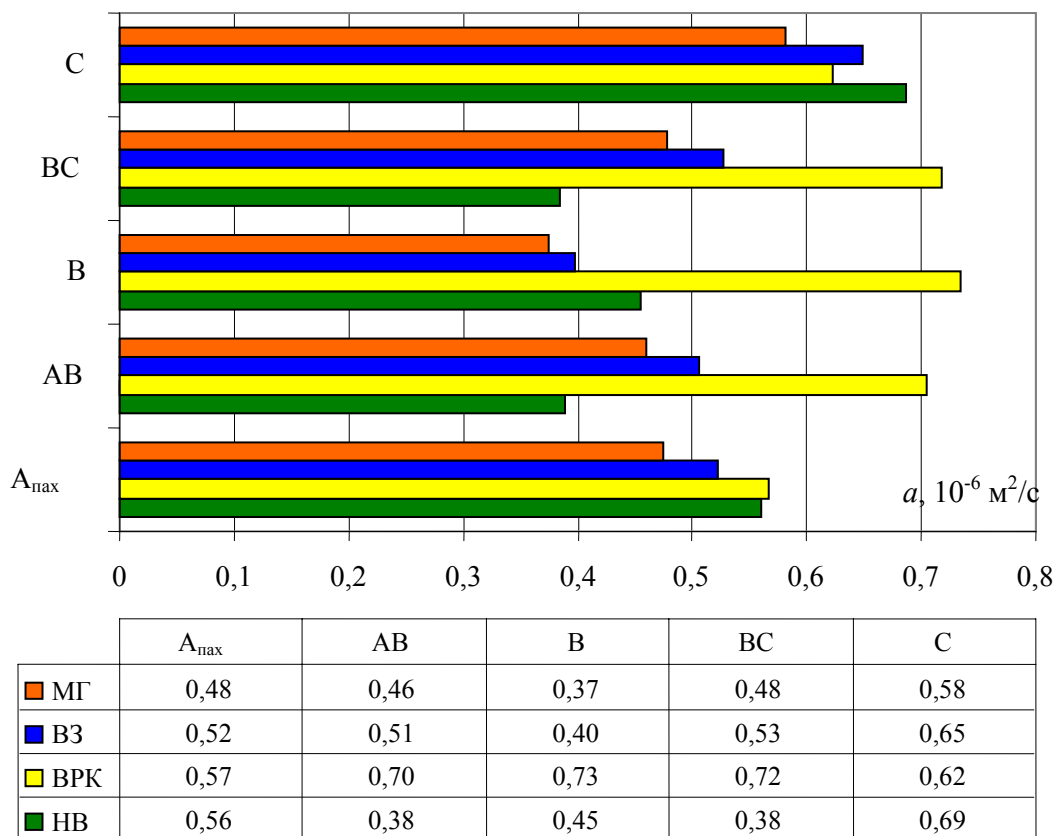


Рис. 4. Температуропроводность генетических горизонтов чернозема выщелоченного при разных гидрологических константах

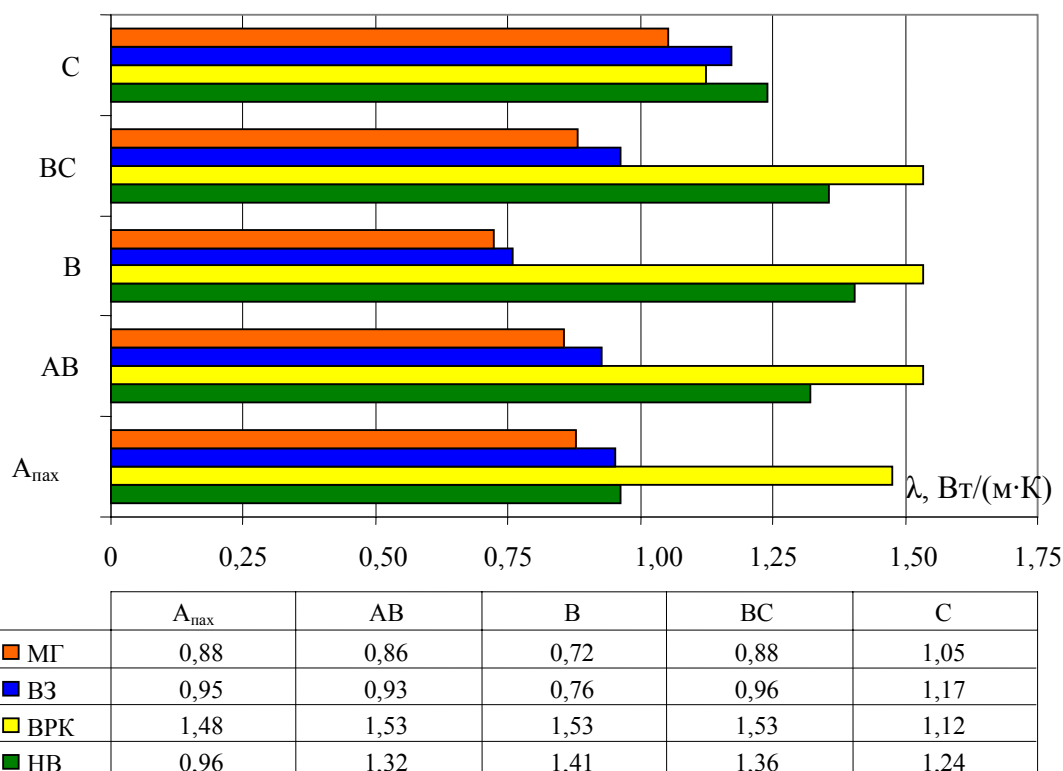


Рис. 5. Теплопроводность генетических горизонтов чернозема выщелоченного при разных гидрологических константах

Заключение

Суммируя вышесказанное, следует отметить, что установленная на примере чернозема выщелоченного приуроченность наиболее выраженных изменений теплофизических свойств почвы к определенным константам влаго- и воздухосодержания в почве является, на наш взгляд, важным моментом в развитии представлений о влиянии влажности на тепловые свойства почвы. Особенно значим практический аспект выявленных взаимосвязей, так как они позволяют оценить и прогнозировать характер и степень изменения тепловых свойств по профилю почвы при разных режимах увлажнения, что необходимо для комплексного обоснования и эффективного решения актуальных вопросов влаго- и тепломелиорации почв Сибири.

Библиографический список

1. Макарычев С.В. Теплофизические основы мелиорации почв. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. – 280 с.
2. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. – М., 1976. – 352 с.
3. Чудновский А.Ф. Физика теплообмена в почве. – М.; Л., 1946. – 220 с.
4. Макарычев С.В., Гэфке И.В. Коэффициенты аккумуляции и переноса тепла выщелоченных черноземов Алтайского Приобья // Вестник АГАУ. – 2006. – № 4. – С. 33-38.
5. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. – М., 1984. – 203 с.

6. Макарычев С.В. Метод определения коэффициентов термодиффузии в влажных почвах // Современные методы исследований в агрономии: сб. тр. Алтайского СХИ. – Барнаул, 1990. – С. 81-85.

7. Макарычев С.В., Бицошвили И.А. Гидротермический режим чернозема под цветочными культурами в условиях Алтайского Приобья. – Барнаул, 2013. – 104 с.

References

1. Makarychev S.V. Teplofizicheskie osnovy melioratsii pochv. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2005. – 280 s.
2. Chudnovskii A.F. Teplofizika pochv. – M., 1976. – 352 s.
3. Chudnovskii A.F. Fizika teploobmena v pochve. – M.; L., 1946. – 220 s.
4. Makarychev S.V., Gefke I.V. Koeffitsienty akkumulyatsii i perenosa tepla vyshchelochennykh chernozemov Altaiskogo Priob'ya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2006. – № 4. – S. 33-38.
5. Voronin A.D. Strukturno-funktional'naya gidrofizika pochv. – M., 1984. – 203 s.
6. Makarychev S.V. Metod opredeleniya koeffitsientov termoparoperenosa vo vlazhnykh pochvakh // Sovremennye metody issledovaniy v agronomii: sb. tr. Altaiskogo SKhl. – Barnaul, 1990. – S. 81-85.
7. Makarychev S.V., Bitsoshvili I.A. Gidrotermicheskii rezhim chernozema pod tsvetochnymi kul'turami v usloviyakh Altaiskogo Priob'ya. – Barnaul, 2013. – 104 s.