

meditsine // Tezisy dokladov XI Vsesoyuznoi konferentsii. – Samarkand, 1990. – S. 151.

4. Dumkin A.I., Bepalova N.S. Kompleksnoe deistvie udobrenii, mikroelementov i stimulyatorov rosta // Khimizatsiya sel'skogo khozyaistva. – 1990. – № 6. – S. 59-61.

5. Kukh I.A. Mikroelementy – vazhnyi faktor optimizatsii pitaniya kartofelya v usloviyakh Zapadnogo regiona USSR / Mikroelementy v biologii i ikh primenenie v sel'skom khozyaistve i meditsine // Tezisy dokladov XI Vsesoyuznoi konferentsii. – Samarkand, 1990. – S. 181.

6. Puzina T.I. i dr. Rol' fitogormonov v fiziologicheskom deistvii medi i tsinka v formirovanii klubnei kartofelya / Mikroelementy v biologii i ikh primenenii v sel'skom khozyaistve i meditsine. – Samarkand, 1990. – S. 317.

7. Krylov E.A. Novye formy mikroudobrenii // Khimizatsiya sel'skogo khozyaistva. – 1996. – № 6. – S. 31-36.

8. Tomarovskii A.A. Mikroelementy v pochvakh i sistema mikroudobrenii dlya razlichnykh kul'tur v usloviyakh umerenno-zasushivoi kolchoi stepi Altaiskogo kraya: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul, 1999. – 17 s.

9. Adam A.Ya., Spitsyna S.F. Vliyanie mikroudobrenii i navoza na ploshchad' listovoi poverkhnosti i urozhainost' kartofelya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2003. – № 2 (10). – S. 8.

10. Biswas T.D., Mukherjee S.K. Textbook of Soil Science. Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1987. – 314 p.



УДК 631.445.15

С.В. Макарычев, И.В. Гейке, И.В. Шорина
S.V. Makarychev, I.V. Gefke, I.V. Shorina

ВЛИЯНИЕ БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЧЕРНОЗЕМОВ

THE EFFECT OF CUCURBITS CROPS ON THE FORMATION OF CHERNOZEM THERMOPHYSICAL REGIME

Ключевые слова: бахчевые культуры, тыква, кабачки, влажность, объемная теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность.

Теплофизические характеристики почвы зависят от ряда факторов, таких как влажность, плотность, гранулометрический состав, содержание гумуса, температура и т.д. Эти факторы обуславливают формирование температурного режима в почвенном профиле. При этом почвенное увлажнение является определяющим условием, от которого напрямую зависят рост и развитие сельскохозяйственных культур. Знание почвенной влажности генетических горизонтов чернозема позволило определить общие и оценить полезные запасы влаги в метровом слое почвы. Кроме того, исследование теплофизических характеристик дало возможность выявить, что черноземы Алтайского Приобья являются плохо прогреваемыми, особенно в нижних горизонтах профиля вследствие высоких значений объемной теплоемкости и теплопроводности. Осенью черноземы медленно остывают благодаря высоким запасам тепла, накопленного за вегетацию, и сезонному снижению тепло- и температуропроводности. Особенностью теплофизического состояния чернозема является также стабилизация их теплового режима в периоды похолоданий.

Keywords: cucurbits crops, squash, zucchini, moisture, volumetric heat capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity.

Soil thermophysical properties depend on a number of factors as moisture content, density, particle-size distribution, humus content, temperature, etc. Those factors determine the formation of the temperature regime in the soil profile. And the soil moisture is a determining factor directly affecting the crop growth and development. The knowledge of soil moisture content in the genetic horizons of chernozem enabled determining the total moisture reserve and evaluating available moisture reserves in one meter soil layer. In addition, the study of the thermal properties has revealed that the chernozems of the Altai Region's Priobye (the Ob River area) warm up poorly particularly in the lower horizons of the profile due to high values of volumetric heat capacity and thermal conductivity. Chernozems cool slowly in autumn due to large reserves of heat accumulated during the growing season and the seasonal decrease of thermal conductivity and thermal diffusivity. Another feature of chernozem thermophysical status is the stabilization of the thermal regime at the periods of cold weather.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-57. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Гефке Ирина Валентиновна, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-83-53. E-mail: ivgefke@mail.ru.

Шорина Ирина Владимировна, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-83-53. E-mail: irishorina@yandex.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Gefke Irina Valentinovna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: ivgefke@mail.ru.

Shorina Irina Vladimirovna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: irishorina@yandex.ru.

Введение

Изменение теплофизических характеристик генетических горизонтов чернозема подчинено в основном сезонной динамике их влажности [1-5]. Кроме этого существенное влияние оказывают гранулометрический состав, плотность и другие агрофизические свойства. Эти почвенные факторы обуславливают формирование температурного режима почвенной толщи.

Влажность почвы является одним из главных условий, обеспечивающих благоприятный рост и развитие сельскохозяйственных культур. Запасы почвенной влаги в сочетании с термическими ресурсами и другими факторами становятся часто решающими в формировании урожая [6, 7]. Влажность почвы также оказывает определяющее влияние на комплекс теплофизических показателей генетических горизонтов.

Целью работы было выявление сезонного изменения теплофизических характеристик и формирования температурного режима в черноземах Алтайского Приобья. Для ее достижения решалась **задача** экспериментального изучения погодных условий, режима почвенной влажности и характера агрофона в течение 2005-2007 гг. на территории Западно-Сибирской овощной опытной станции (ЗСОС).

Результаты исследований

На рисунке 1 видно, что изменение влажности гумусово-аккумулятивного горизонта тесно сопряжено с атмосферным увлажнением и температурными условиями в период вегетации.

В начале вегетации 2005 г. влажность почвы на всех вариантах невысокая. Максимальное количество влаги содержалось под кабачками и тыквой, минимальное – в пару. Эта тенденция сохранялась на протяжении всего периода развития растений. Только в конце июля 2005 г. наблюдалось небольшое увеличение влажности в паровом поле (20% от массы почвы), что связано с осадками, выпавшими накануне.

В 2006 г. указанные закономерности в распределении почвенной влаги сохранились:

периоды иссушения сменялись локальными максимумами влажности почвы после выпадения осадков. В целом, вплоть до уборки урожая условия увлажнения верхнего горизонта близки к оптимальным. Временной промежуток (июль-август) характеризовался незначительным иссушением чернозема в пару.

К концу мая 2007 г. содержание влаги составляло в пару 17% от массы почвы, под кабачками и тыквой – 21%. Такое распределение влажности почвы происходило за счет физического испарения. Дожди, прошедшие в начале июня, способствовали накоплению влаги под бахчевыми культурами. В первой декаде августа значение влажности под кабачками и тыквой уменьшилось вдвое и составило 13-15% от массы почвы, при этом количество влаги в пару оставалось неизменным.

В отличие от гумусово-аккумулятивного в иллювиальном горизонте влажность почвы в большей степени зависела от величины поздне-осеннего или ранневесеннего промачивания и в меньшей мере – от выпадения летних осадков.

В течение вегетационного периода 2005 г. влажность переходного горизонта была в диапазоне 18-23% (что выше ВРК) вплоть до августа на всех исследованных вариантах. В начале сентября влажность почвы существенно увеличилась под кабачками и тыквой, вследствие июльских и августовских осадков, достигнув горизонта В. В пару таких колебаний не наблюдалось.

В начале вегетации 2006 г. различия в степени увлажнения на всех исследуемых вариантах были близки по своим значениям. К концу третьей декады июня (27.06) наблюдалось иссушение почвенного горизонта по всем вариантам. В конце июля ситуация изменилась, содержание влаги в горизонте В увеличилось как в пару (19,7%), так и под тыквой (27%) и кабачками (23%). Этому способствовали невысокая температура и осадки, а также затенение почвы ветвящимися побегами бахчевых культур. В августе имело место незначительное иссушение иллювиального горизонта по всем вариантам.

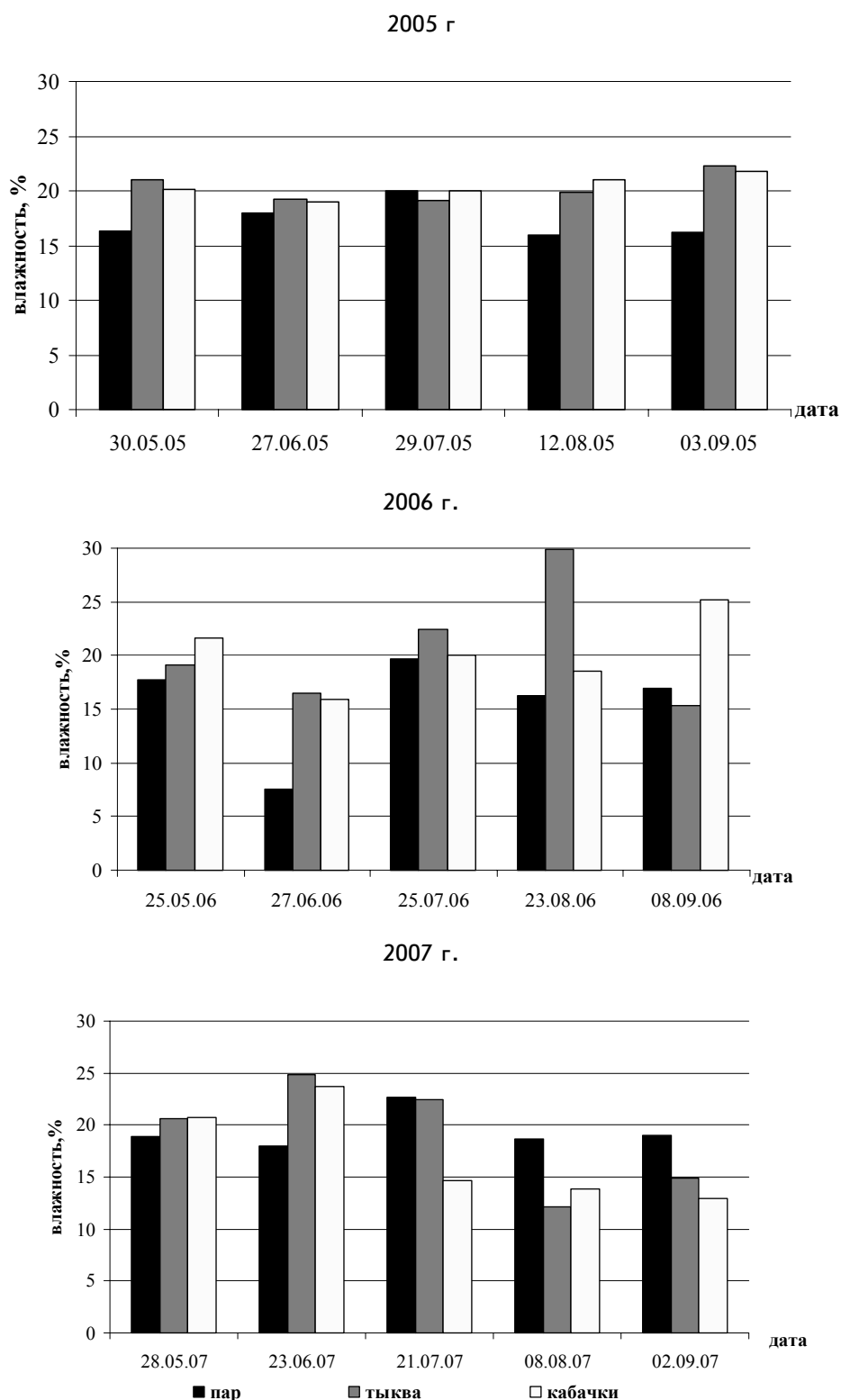


Рис. 1. Изменение влажности в гумусово-аккумулятивном горизонте за вегетационный период

В 2007 г. изменение влажности в иллювиальном горизонте В стало иным, содержание влаги в паровом поле составило 20% от массы сухой почвы. Под тыквой и кабачками значение влажности изменялось от 13 до 17% вплоть до августа. Происходило постепенное иссушение почвенного профиля на данных вариантах. Такое распределение влаги в горизонте В связано с выпадением осадков за первые два месяца вегетации (60 мм).

Знание почвенной влажности генетических горизонтов чернозема позволило определить общие (ОПЗ) и оценить полезные запасы влаги (ПЗВ) в метровом слое почвы. Так, к началу вегетации 2005 г. общие запасы влаги в метровом слое на всех исследуемых вариантах удовлетворительны. Наиболее увлажненным оставался почвенный профиль под кабачками. Эта тенденция сохранялась на протяжении всего периода наблюдений.

В мае 2006 г. достаточным количеством влаги обладал чернозем, находящейся под паром (214,5 мм). Однако лидирующую позицию занимал почвенный профиль под кабачками, где содержание влаги составляло 232,4 мм. В период июнь-сентябрь общие запасы влаги в метровом слое почвы постепенно уменьшались. К концу вегетации в почвенном профиле под кабачками их содержание стало равно 222,4 мм, под тыквой – 163,7, в паровом поле – 147 мм. Однако значительная часть влаги оставалась недоступной растениям.

К началу вегетации бахчевых культур почвенный профиль имел удовлетворительные запасы доступной растениям влаги. В течение всего периода наблюдений они уменьшались по всем исследуемым вариантам. Так, с мая по сентябрь 2005 г. количество продуктивной влаги сократилось под тыквой на 32%, под кабачками – на 20, а в пару – на 28%. Подобная тенденция сохранялась и в 2006 г. За это время запасы влаги, доступной растениям, в метровом слое под тыквой уменьшились на 19%, под кабачками – на 39, в пару – на 12%. В конце мая 2007 г. метровый слой чернозема под тыквой обладал 112 мм влаги, доступной корневой системе растений, а под кабачками почва содержала 216,7 мм. Паровое поле имело наименьшие запасы продуктивной влаги.

В течение вегетации бахчевых культур нами изучалась объемная теплоемкость чернозема выщелоченного, т.к. она является важнейшей теплофизической характеристикой, определяющей теплоаккумуляционную способность почв. Известно, что объемная теплоемкость зависит от влажности и плотности почвы. Это определяет ее изменение во времени вследствие колебания влажности почвенных горизонтов.

Ниже представлено изменение объемной теплоемкости в горизонтах чернозема выщелоченного под тыквой, кабачками и в пару (рис. 2). Данные этого рисунка показывают, что значения объемной теплоемкости в гумусово-аккумулятивном горизонте подчиняются изменению влажности почвы вслед за выпадением осадков и проводимыми агротехническими мероприятиями. Так, 27 июня 2005 г. объемная теплоемкость под кабачками составляла в среднем $2,46 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К), а 8 сентября она увеличилась до $2,63 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К). Максимальное значение объемной теплоемкости в горизонте А под тыквой в этот период отмечалось в сентябре ($2,02 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К)). В паровом поле в течение вегетационного периода 2005 г. изменение коэффициента теплоаккумуляции в гумусовом горизонте не превышало 9%.

В 2006 и 2007 гг. характер изменения объемной теплоемкости в гумусово-

аккумулятивном горизонте практически не изменялся. Только 23 августа 2006 г. теплоемкость горизонта А под тыквой увеличилась на 19%. Иссущение пахотного слоя парового поля и достаточно высокие температуры воздуха привели к уменьшению объемной теплоемкости на 12%. В начале вегетации 2007 г. объемная теплоемкость гумусового горизонта не превышала $2 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К) под тыквой и в пару. Почвенный горизонт под кабачками в этот период был наиболее теплоемким ($2,55 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К)). К августу значение объемной теплоемкости на всех исследуемых вариантах уменьшилось на 12%.

В иллювиальном горизонте объемная теплоемкость почвы более стабильна в течение вегетации, что связано с отсутствием промачивания (рис. 2).

Относительные изменения теплоаккумуляционной способности чернозема в период вегетации 2005 г. составили в среднем по выбранным вариантам: 10% – под тыквой, 12% – под кабачками и 19% – в пару. В целом ситуация не менялась и в 2006 г. 2007 г. характеризовался значительным промачиванием в весенний период и обильными осадками с мая по июнь, поэтому изменения объемной теплоемкости были несколько выше, чем в предыдущий год, и составили не более 10% на всех исследуемых участках.

В августе теплоаккумуляционная способность почвы в пару уменьшились на 20%, под кабачками – на 9%, под тыквой наблюдалось их увеличение в пределах 8%.

Наибольшая объемная теплоемкость характерна для почвообразующей породы, как имеющей максимальную плотность сложения (рис. 2, горизонт С). Здесь, к примеру, 30 мая 2005 г. объемная теплоемкость под тыквой достигала $3,24 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К), под кабачками – $2,80 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К), в пару – $2,37 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К). В течение вегетационного периода 2005 г. характер изменения теплоаккумуляции почвы не менялся.

Максимальное значение объемной теплоемкости в этот период отмечалось в августе под тыквой и составляло $3,35 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К), что, естественно, препятствовало быстрому прогреванию нижнего горизонта чернозема выщелоченного. В пару и под кабачками колебание теплоемкости не превышало 2%. Характер распределения объемной теплоемкости под различными культурами и в пару оставался неизменным как в 2006, так и в 2007 гг.

Изменение условий молекулярного переноса энергии в почвенной толще, обусловленное колебаниями влажности привело к варьированию температуропроводности чернозема. В гумусово-аккумулятивном горизонте ее значение в течение вегетации изменялось незначительно по всем исследуемым

вариантам. Так, при увеличении влажности почвы выше ВРК происходило снижение температуропроводности (например, 30 мая 2005 г. в пару, 23 июня 2007 г. на всех вариантах). В остальном характер изменения температуропроводности за годы наблюдений в период вегетации оставался неизменным.

Максимальное значение коэффициента температуропроводности отмечалось в иллювиальном горизонте и 3 сентября 2005 г. составляло $0,5404 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ под кабачками. При этом следует отметить, что в паровом поле и под бахчевыми культурами температуропроводность изменялась в пределах 0,5-1,0%. Резких изменений увлажнения почвы в данном диапазоне в период вегетации 2006-2007 гг. не

происходило, поэтому температуропроводность в иллювиальном горизонте менялась в малых пределах. Следует также отметить, что до августа влажность почвы не превышала ВРК, поэтому коэффициент скорости переноса тепла был максимален и составлял до $0,539 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ в 2006 и 2007 гг.

Достаточной стабильностью температуропроводности обладала почвообразующая порода. В 2005 г. ее значение на исследуемых вариантах в течение вегетации не превышало $0,5394 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. В 2006 г. она уменьшилась до $0,5393 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Скорость переноса тепла в черноземе за вегетационный период 2007 г. увеличилась до $0,5400 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

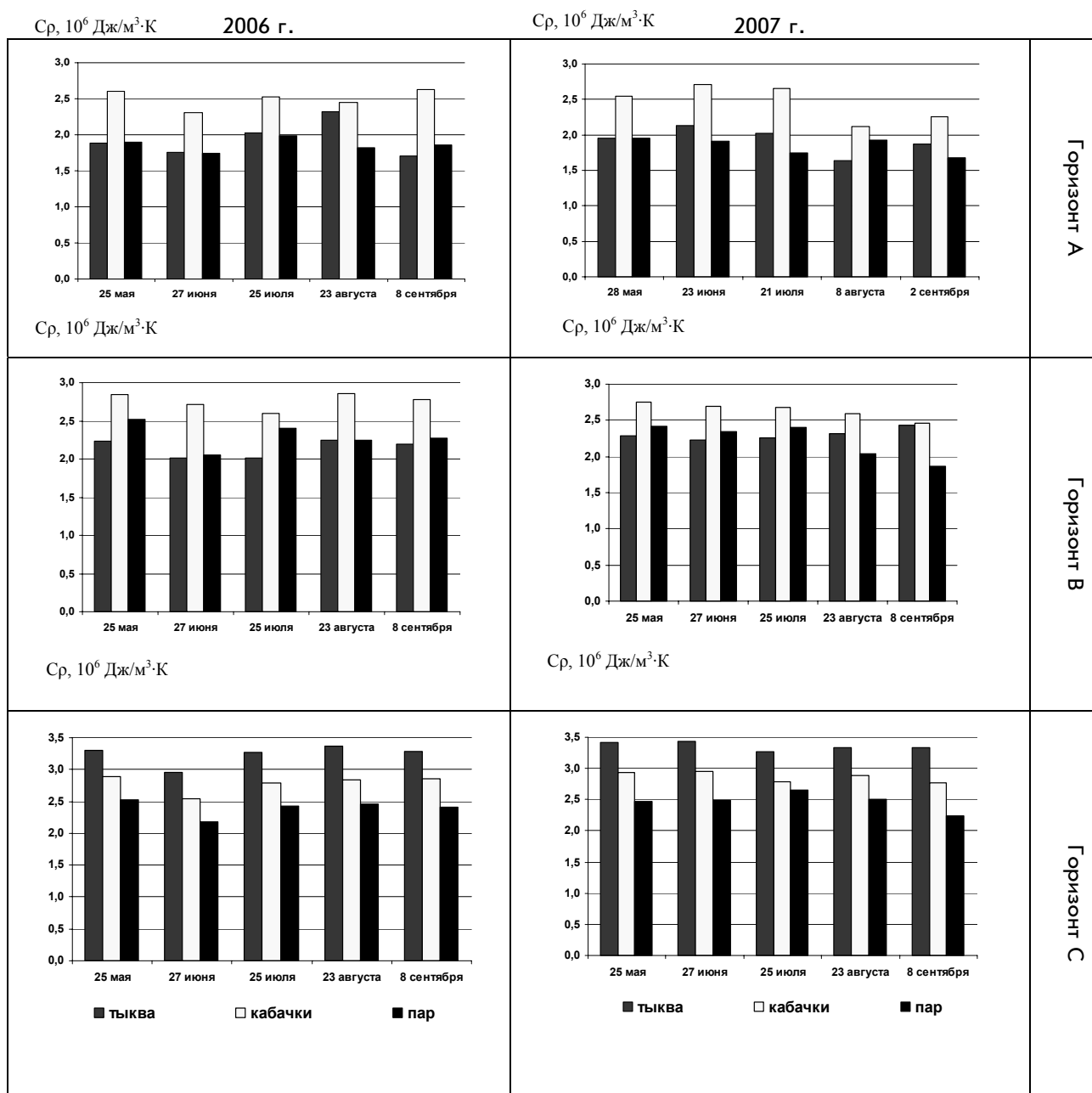


Рис. 2. Изменение объемной теплоемкости чернозема под различными агроценозами

Максимальное значение теплопроводности горизонта А в 2005 г. имело место под кабачками и составляло в среднем 1,37 Вт/(м·К). Под тыквой и в пару эти значения, соответственно, были равны 1,04 Вт/(м·К) и 1,01 Вт/(м·К). В 2006 г. характер изменения теплопроводности гумусово-аккумулятивного горизонта остался точно таким же, как и в 2005 г. За вегетацию разница между минимальным и максимальным значением коэффициента теплопроводности под кабачками оказалась равна 13%, под тыквой – 27, в пару – 12%. Увеличение объёмной теплоемкости в 2007 г. привело к росту коэффициента теплопередачи. Так, под кабачками он увеличился до 1,46 Вт/(м·К). Пахотный горизонт А под тыквой и в паровом поле оказался менее теплопроводным. Здесь теплопроводность в среднем составила 1,04 Вт/(м·К) (под тыквой) и 1,00 Вт/(м·К) (в пару). В иллювиальном горизонте на всех исследуемых вариантах коэффициент теплопередачи менялся незначительно. Следует отметить, что наибольшее значение теплопроводности почвы зафиксировано в сентябре 2005 г. под кабачками. Разница между вариантами в этот период составляла 26%.

Изменения теплопроводности в течение вегетации были сопряжены с динамикой влажности. В иллювиальном горизонте они были равны в 2006 г. под кабачками 8%, под тыквой – 11, в пару – 19%; в 2007 г. – соответственно, 9, 8 и 22%. Для почвообразующей породы характерны более высокие коэффициенты теплопередачи по сравнению с горизонтом В. Так, теплопроводность почвы под тыквой значительно выше, чем под другими вариантами. Разница между вариантами составляла 15% в 2005 г., 12% – в 2006 и 2007 гг.

Заключение

Итак, черноземы выщелоченные в условиях Алтайского Приобья являются трудно прогреваемыми весной в нижних горизонтах из-за высоких значений объёмной теплоемкости, однако это отчасти компенсируется максимальными за вегетацию значениями коэффициентов теплопередачи. Осенью черноземы медленно остывают вследствие высоких запасов тепла в почвообразующей породе и сезонного снижения коэффициентов тепло- и температуропроводности. Особенностью теплофизического состояния чернозема является также стабилизация теплового режима в холодное время суток или в периоды похолоданий.

Библиографический список

1. Серова Н.В. О картировании теплофизических характеристик почв // Климат поч-

вы. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 80-86.

2. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. – М.: Колос, 1972. – 359 с.

3. Воронин А.Д. Основы гидрофизики почв. – М., 1986. – 244 с.

4. Макарычев С.В., Гефке И.В., Шишкин А.В. Теплофизическое состояние черноземов плодовых садов Алтайского Приобья. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 192 с.

5. Макарычев С.В., Шорина И.В. Теплофизические свойства и гидротермические режимы черноземных почв на склонах высокого Алтайского Приобья. – Барнаул: РИО АГАУ, 2012. – 120 с.

6. Панфилов В.П., Макарычев С.В. Особенности формирования теплофизического режима сезонномерзлотных черноземов // Мерзлотно-гидротермический режим промерзающих почв, его регулирование, использование и охрана. – М.: Наука, 1982. – С. 83-87.

7. Омелянов В.П. Теплофизические свойства автоморфных почв северной лесостепи и подтайги Алтайского края // Агроклиматология Сибири. – Новосибирск: Наука. СО, 1977. – С. 84-90.

References

1. Serova N.V. O kartirovanii teplofizicheskikh kharakteristik pochv // Klimat pochvy. – L.: Gidrometeoizdat, 1971. – S. 80-86.

2. Dimo V.N. Teplovoi rezhim pochv SSSR. – M.: Kolos, 1972. – 359 s.

3. Voronin A.D. Osnovy gidrofiziki pochv. – M., 1986. – 244 s.

4. Makarychev S.V., Gefke I.V., Shishkin A.V. Teplofizicheskoe sostoyanie chernozemov plodovykh sadov Altaiskogo Priob'ya. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2008. – 192 s.

5. Makarychev S.V., Shorina I.V. Teplofizicheskie svoistva i gidrotermicheskie rezhimy chernozemnykh pochv na sklonakh vysokogo Altaiskogo Priob'ya. – Barnaul: RIO AGAU, 2012. – 120 s.

6. Panfilov V.P., Makarychev S.V. Osobnosti formirovaniya teplofizicheskogo rezhima sezonnomerzlotnykh chernozemov // Merzlotno-gidrotermicheskii rezhim promerzayushchikh pochv, ego regulirovanie, ispol'zovanie i okhrana. – M.: Nauka, 1982. – S. 83-87.

7. Omel'yanov V.P. Teplofizicheskie svoistva avtomorfnykh pochv severnoi lesostepi i podtaigi Altaiskogo kraja // Aгроклиматология Sibiri. – Novosibirsk: Nauka. SO, 1977. – S. 84-90.

