

АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.445.4:631.425.6:635.621.3

И.В. Шорина, И.В. Гефке
I.V. Shorina, I.V. Gefke

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ПОД БАХЧЕВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

TEMPERATURE FIELDS AND HEAT FLOWS IN LEACHED CHERNOZEM UNDER CUCURBITS CROPS

Ключевые слова: тепловой режим, температурное поле, чернозем выщелоченный, бахчевые культуры, тепловые потоки.

Овощные культуры тыква и кабачок – ценные в пищевом отношении растения. Они богаты каротином, фолиевой кислотой, минеральными веществами – калием, кальцием, фосфором. Температура почвы и воздуха – один из важнейших факторов роста и развития растений. Пахотный слой играет значительную роль в формировании теплового режима почвы. Здесь происходит превращение лучистой энергии в тепловую, закладываются основы теплового режима в глубинных почвенных слоях. Тепловые потоки и движение влаги в почве зависят от совокупности теплофизических свойств и распределения температурных полей в её профиле. Тепловой режим почв оказывает сильное влияние на интенсивность процессов почвообразования, формирование урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивность естественных фитоценозов. Характеристика условий теплообмена в системе атмосфера-растение-почва имеет большое значение при исследовании температурного режима почвы различного культурного состояния. Наблюдения за температурой чернозема в метровом слое позволили создать модели температурных полей под бахчевыми культурами, тыквой и кабачком, выращиваемых на территории государственного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства (ВНИИО) Россельхозакадемии, рассчитать теплоток в различные сроки наблюдений. Оказалось, что чернозем в паровом поле в летнее время прогревался сильнее, чем под загущенными посадками тыкв и кабачков, которые уменьшали суточные колебания температур верхнего пахотного слоя и способствовали формированию более устойчивого

температурного поля. Тепловые потоки в почве парового поля, как правило, были выше, чем под бахчевыми культурами.

Keywords: thermal regime, temperature field, leached chernozem, cucurbits crops, heat flows.

Vegetables crops as squash and zucchini are valuable plants in terms of nutrition. They are rich in carotene, folic acid and minerals as potassium, calcium and phosphorus. The temperature of soil and air is one of the most important factors of plant growth and development. Topsoil plays a significant role in the formation of soil thermal regime. It is in the topsoil where the energy of radiation is converted into thermal energy and the foundations of deep soil layer thermal regime are formed. Heat flow and moisture movement in soil depend on combined thermophysical properties and the distribution of temperature fields in its profile. Soil thermal regime has a strong impact on the intensity of soil formation, crop yield formation and productivity of natural phytocenoses. The features of heat exchange in the system "atmosphere – plant – soil" are of great importance when studying the thermal regime of soils of different tillage status. Observation over chernozem temperature in one meter layer enabled to develop the models of temperature fields under the cucurbits crops as squash and zucchini grown in the fields of the State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Vegetable Crop Growing and calculate heat flows at different times of observation. It was found that chernozem in a fallow in summer warmed up greater than that under dense squash and zucchini plantings which reduced daily temperature fluctuations of topsoil and contributed to a more stable temperature field. The heat flows in the soil of a fallow field were generally higher than those under cucurbits crops.

Шорина Ирина Владимировна, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: irishorina@yandex.ru.

Гефке Ирина Валентиновна, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: ivgefke@mail.ru.

Shorina Irina Vladimirovna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Physics, Altai State Agricultural University. E-mail: irishorina@yandex.ru.

Gefke Irina Valentinovna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Physics, Altai State Agricultural University. E-mail: ivgefke@mail.ru.

Введение

Овощи положительно влияют на пищевую ценность различных продуктов, дополняют их необходимыми компонентами и способствуют более полному усвоению. Ценными в этом отношении являются бахчевые – тыква и кабачок. Они богаты каротином, фолиевой кислотой, минеральными веществами – калием, кальцием, фосфором. Важным условием получения высоких урожаев бахчевых культур является создание оптимального теплового режима в почвенном профиле. Тепловые потоки и движение влаги в почве зависят от совокупности теплофизических свойств и распределения температурных полей в её профиле.

Большое значение при исследовании температурного режима почвы разного культурного состояния имеет характеристика условий внешнего теплобаланса, т.е. теплообмена в системе атмосфера-растение-почва [1]. Комплексные исследования тепловых свойств и гидротермических режимов чернозёмов с учетом агротехники их выращивания и биологии весьма актуальны. С другой стороны, гидротермическое экспериментальное обеспечение под различными сельскохозяйственными культурами актуально в решении вопросов, связанных с краевыми условиями при моделировании температурного режима почв [2].

Целью исследований было наблюдение за температурой чернозема в метровом слое под бахчевыми культурами. В задачи исследований входили создание моделей температурных полей и расчет теплотоков в черноземе выщелоченном под бахчевыми культурами.

Объект и методы исследований

Объектом исследований явился чернозём выщелоченный среднемогучный малогумусный среднесуглинистый.

Исследования были организованы на территории государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства» (ВНИИО) Россельхозакадемии под бахчевыми культурами и в пару.

Для изучения температурных режимов, формирующихся в почвенном профиле, и последующего определения теплотоков был использован многоточечный цифровой 1-Wire термометр, позволяющий измерять температуру в почвенном профиле через каждые 5 см [3-5]. Определение влажности чернозема выщелоченного производилось методом горячей сушки. Полученные

данные по температуре почвы обрабатывались с помощью компьютерной программы, написанной на языке LISP на графической платформе AutoCAD. Программа позволила визуально наблюдать форму температурных полей в 3D-режиме и получать данные о любой точке поля (глубина, время, температура) [6].

Результаты исследований

Температура почвы существенно влияет на развитие корневой системы и ее поглотельную способность, а также сказывается на процессах жизнедеятельности микроорганизмов [7].

Наибольшее влияние на периодичность теплового режима и элементов баланса оказывает метеорологический фактор, а все остальные факторы (характер почвы, произрастающая культура, агротехнические мероприятия, месторасположение географического пункта наблюдения) в меньшей степени влияют на формирование теплового режима [8, 9].

Наблюдения за температурой чернозема в метровом слое позволили создать модели температурных полей (рис. 1). На данном рисунке видно, что в верхних слоях почвы ход температуры наиболее тесно связан с изменением метеорологических факторов.

Наибольшие амплитуды колебаний в течение вегетации характерны для гумусово-аккумулятивного и переходного к иллювиальному горизонтов. Нужно сказать, что прогревание почвы до благоприятных в биологическом отношении температур выше 15°C по метровому профилю чернозема происходило с конца июня – начала июля до середины августа.

При увеличении глубины распределение температуры становилось более упорядоченным. Температурный профиль постепенно формировался и преобразовывался в семейство парабол, вершина которых с глубиной становилась пологой. Следовательно, возбуждаемые тепловые волны в поверхностном слое почвы при колебании суточных и годовых температур в первом приближении можно считать гармоническими. В действительности тепловая волна не гармонична. Однако это малозначительно. Дело в том, что любое периодическое колебание можно представить в виде наложения гармонических колебаний кратных периодов. Колебания температуры почвы начинают возбуждаться на её поверхности и передаются внутрь, но их амплитуда постепенно уменьшается с глубиной.

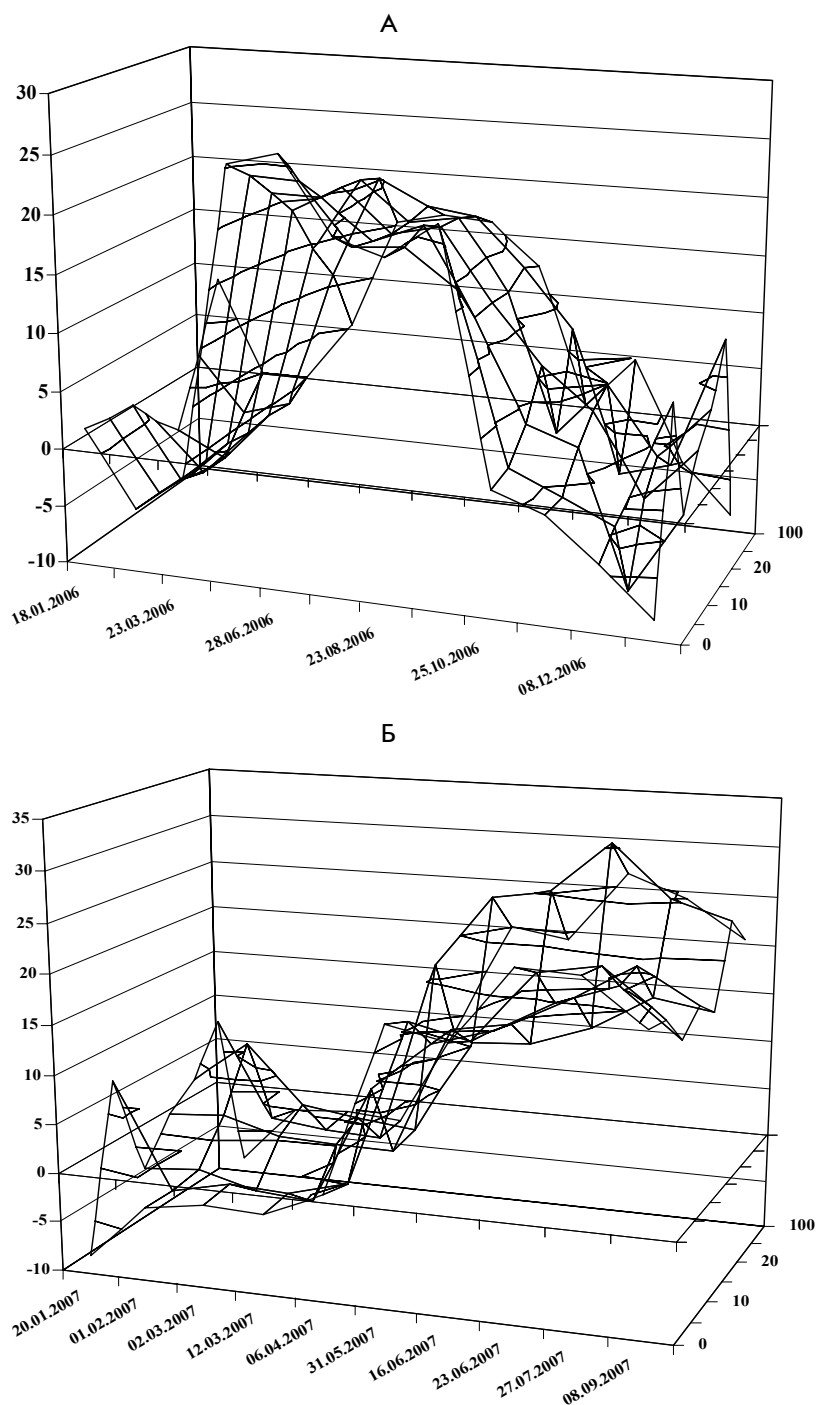


Рис. 1. Температурное поле чернозема выщелоченного под бахчевыми культурами: А – за период с января по декабрь 2006 г.; Б – за период с января по август 2007 г.

На поверхности чернозема амплитуда температурной волны максимальна, а на глубине 100 см она уменьшается вдвое. При таком распределении температуры по почвенному профилю существенное значение имеют низкочастотные колебания. Учитывая данный факт, можно отметить перспективную возможность расчета температуропроводности на основе спектрального анализа данных по термометрии [10]. В наших наблюдениях колебания температуры имеют периоды, равные одному году

или одним суткам. При этом следует отметить, что эти колебания, вызываемые нагреванием почвы днем и охлаждением ночью, затухают на метровой глубине. Годовые колебания температуры почвенной толщи, связанные с нагреванием её летом и охлаждением зимой, выравниваются на глубине более 200 см. Начиная с 50 см и глубже температурная зависимость в течение года становится параболической без каких-либо искажений.

Расстояние между двумя точками параболы с одинаковой амплитудой при увеличении глубины возрастало и на глубине около 1 м достигало 0,5 года. Одновременно с увеличением глубины происходил сдвиг фаз (вершин парабол).

Для наиболее полной характеристики теплофизического состояния чернозема выщелоченного на вариантах опыта необходимо знание о величинах теплоточков. Известно, что теплообороты в основном зависят от амплитуды колебания температуры поверхности почвы как одного из

производных параметров континентальности климата. Кроме того, теплообмен в почве определяется не только приходом солнечной радиации, но и вертикальными градиентами, влагозапасами, а также физическими свойствами почв [8, 9, 11, 12].

Нами рассчитаны теплоточков на основании данных об изменении температуры почвы в верхнем 20-сантиметровом слое и объемной теплоемкости чернозема (табл.). Определение тепловых потоков производилось в разных метеорологических условиях.

Таблица

Тепловые потоки P ($Вт/м^2$) в черноземе выщелоченном на различных агрофонах 25-26 июля 2005 г.

Время Культура	7:00-10:00	10:00-13:00	13:00-16:00	16:00-19:00	19:00-1:00	1:00-7:00	Сумма за сутки
Тыква	45	90	30	-34	-44	-27	60
Кабачки	88	216	78	-64	-58	-26	78
Пар	111	80	18	-66	-51	-31	61

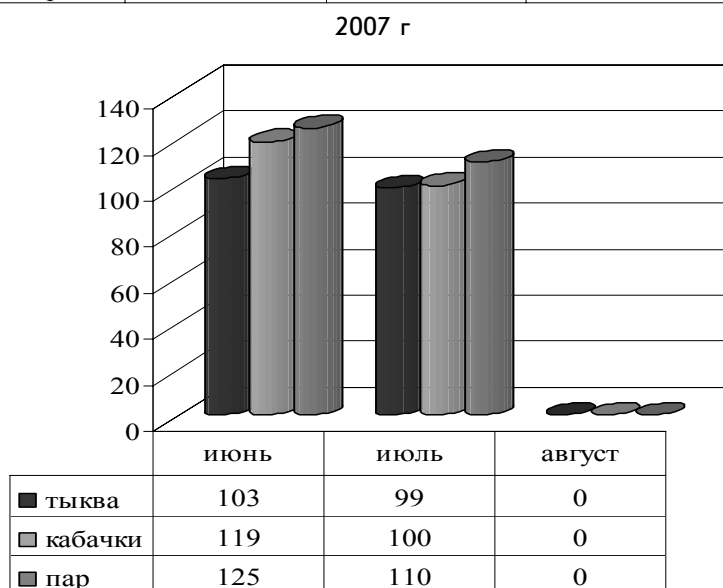
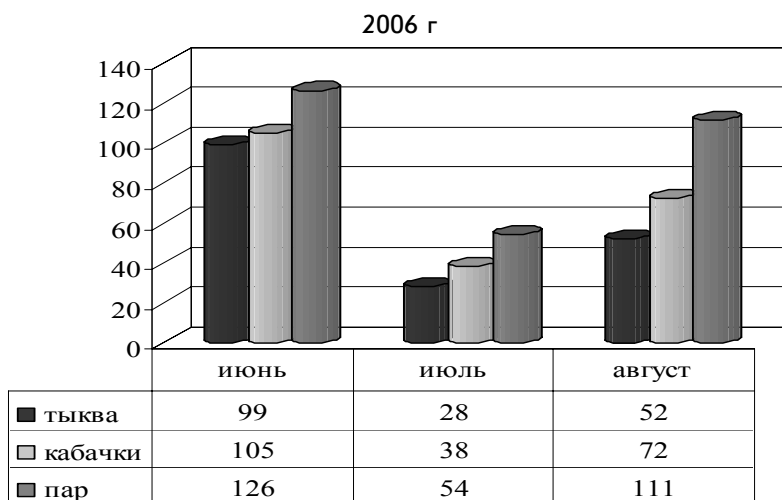


Рис. 2. Средние за сутки тепловые потоки (P , $Вт/м^2$) в черноземе выщелоченном в различные сроки наблюдений

Согласно полученным данным с 7:00 до 13:00 ч шло интенсивное поглощение солнечной радиации по всем исследуемым участкам. Причем, интенсивнее этот процесс происходил в паровом поле (111 Вт/м^2). Начиная с 16:00 и до 7:00 ч наблюдался обратный поток тепла. Незатененный растениями чернозем, находящийся в пару, быстро терял тепло. Однако суммарное значение теплоточков за сутки на выбранных вариантах менялось незначительно. Разница между вариантами не превышала 19 Вт/м^2 .

Изменения теплоточков в течение вегетации представлены на рисунке 2.

В пару теплоточки принимали несколько большие максимальные значения, а абсолютные различия между вариантами усиливались. Так, наибольший теплоточок фиксировался в паром поле в июне 2006 г. и составлял 126 Вт/м^2 , различия между бахчевыми культурами не превышали 7 Вт/м^2 . В июле значение среднесуточного теплоточка пахотного слоя в пару уменьшилось на 57%, под кабачками – на 64, под тыквой – на 248%. Такое распределение явилось следствием невысоких температур ($20,3^\circ\text{C}$) и наличием значительных атмосферных осадков (130 мм). В августе 2006 г. устойчивая ясная погода способствовала аккумуляции тепла на всех исследуемых вариантах.

В 2007 г. характер распределения средних суточных теплоточков не изменился. Так, наиболее интенсивный теплообмен происходил в почвенном профиле чернозёма, находящегося под паром (125 Вт/м^2). Неустойчивые метеорологические условия практически нивелировали различия между вариантами (тыква и кабачки) в июле. Здесь теплоточок был равен 99 и 101 Вт/м^2 соответственно. Таким образом, устойчивая ясная солнечная погода способствовала аккумуляции тепла в почвенной толщине на всех исследуемых вариантах. Во время периодов охлаждения летом растительность уменьшала интенсивность турбулентного теплообмена между почвой и атмосферой.

Заклучение

Чернозем в паровом поле в летнее время прогревался сильнее, чем под загущенными посадками тыкв и кабачков, которые уменьшали суточные колебания температур верхнего пахотного слоя и способствовали формированию более устойчивого температурного поля. Тепловые потоки в

почве парового поля, как правило, были выше, чем под бахчевыми культурами.

Библиографический список

1. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. – М., 1976. – 352 с.
2. Болотов А.Г. Многослойная численная модель температурного режима почвы // Инновационная наука. – Уфа: ООО «Аэтерна», 2015. – № 5. – С. 30-31.
3. Болотов А.Г. Измерение температуры почв в полевых условиях // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: матер. II Междунар. конф. – Барнаул, 2002. – С. 148-150.
4. Болотов А.Г. Теплофизическое состояние почв и совершенствование инструментальной базы для его исследований: дис. ... канд. с.-х. наук – Барнаул: АГАУ, 2003. – 148 с.
5. Болотов А.Г. Измерение температуры почвы с помощью технологии 1-Wire // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 11. – С. 29-30.
6. Бондаренко С.Ю. Устройства локального обогрева на основе электропроводных волокон для агропромышленного комплекса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2003. – 23 с.
7. Бондаренко Н.Ф. Физические основы мелиорации почв. – Л.: Колос, 1975. – 258 с.
8. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. – М., 1967. – 583 с.
9. Воронина Л.В. Роль теплового баланса в формировании климата почв // Почвенная климатология Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – С. 64-84.
10. Болотов А.Г. Метод определения температуропроводности почвы // Вестник Алтайского ГАУ. – 2015. – № 7. – С. 74-79.
11. Мартынова Г.Н. Некоторые особенности теплового режима почв Онон-Аргунской степи // Климат почвы: докл. совещ. науч. совета по изучению климатич. и агроклиматич. ресурсов (ноябрь 1969 г.). – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – С. 103-109.
12. Павлов А.В. Итоги и перспективы стационарных исследований теплового баланса и гидротермического режима почвы в криолитозоне // Климат почвы: сб. науч. тр. – Пушино, 1985. – С. 127-131.

References

1. Chudnovskiy A.F. Teplofizika pochv. – M., 1976. – 352 s.

2. Bolotov A.G. Mnogosloynaya chislen-naya model' temperaturnogo rezhima pochvy // Innovatsionnaya nauka. – 2015. – № 5. – S. 30-31.
3. Bolotov A.G. Izmerenie temperatury pochv v polevykh usloviyakh // Antropogennoe vozdeystvie na lesnye ekosistemy: materialy II mezhdunar. konf. – Barnaul, 2002. – S. 148-150.
4. Bolotov A.G. Teplofizicheskoe sostoyanie pochv i sovershenstvovanie instrumental'noy bazy dlya ego issledovaniy: dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul: AGAU, 2003. – 148 s.
5. Bolotov A.G. Izmerenie temperatury pochvy s pomoshch'yu tekhnologii 1-Wire // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – № 11. – S. 29-30.
6. Bondarenko S.Yu. Ustroystva lokal'nogo obogreva na osnove elektroprovodnykh volokon dlya agropromyshlennogo kompleksa: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. – Barnaul, 2003. – 23 s.
7. Bondarenko N.F. Fizicheskie osnovy melioratsii pochv. – L.: Kolos, 1975. – 258 s.
8. Nerpin S.V., Chudnovskiy A.F. Fizika pochvy. – M., 1967. – 583 s.
9. Voronina L.V. Rol' teplovogo balansa v formirovanii klimata pochv // Pochvennaya klimatologiya Sibiri. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – S. 64-84.
10. Bolotov A.G. Metod opredeleniya temperaturoprovodnosti pochvy // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 7. – S. 74-79.
11. Mart'yanova G.N. Nekotorye osobennosti teplovogo rezhima pochv Onon-Argunskoy stepi // Klimat pochvy: dokl. soveshch. nauch. soвета po izuch. klimatich. i agroklimatich. resursov. (Noyabr' 1969 g.). – L.: Gidrometeoizdat, 1971. – S. 103-109.
12. Pavlov A.V. Itogi i perspektivy statsionarnykh issledovaniy teplovogo balansa i gidrotermicheskogo rezhima pochvy v kriolitozone // Klimat pochv: sb. nauch. tr. – Pushchino, 1985. – S. 127-131.



УДК 631.436

С.В. Макарычев, М.А. Мазиров
S.V. Makarychev, M.A. Mazirov

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕЛИННЫХ СЕРОЗЕМОВ УЗБЕКИСТАНА

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF VIRGIN SIEROZEMS OF UZBEKISTAN

Ключевые слова: гранулометрический состав, плотность, плотность твердой фазы, порозность, водно-физические постоянные, теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность.

Сероземные почвы на территории Узбекистана распространены в крупнейших межгорных котловинах. Они развиваются преимущественно на рыхлых породах – лессах, которые характеризуются преобладанием в гранулометрическом составе генетических горизонтов пылеватых фракций, микроагрегированностью и высокой порозностью, богатством углекислого кальция и низким содержанием коллоидов. В абсолютно сухом состоянии максимальной теплоемкостью обладают наиболее уплотненные почвенные слои типичной и темной сероземной почвы. С глубиной коэффициенты теплоаккумуляции претерпевают изменения, связанные с распределением плотности сложения генетических горизонтов. Уплотнение влечет за собой снижение температуропроводности, но при этом теплопроводность увеличивается. Объемная теплоемкость целинных сероземов при увлажнении возрастает и остается наибольшей в гумусово-аккумулятивном горизонте. Температуропроводность достигает максимума в диапазоне ВЗ-НВ в зависимости от гранулометрического со-

става. Так, в менее дисперсных горизонтах светлого серозема это влажность в пределах ВРК-НВ, а в тяжелосуглинистых темных и типичных сероземов – ВЗ-ВРК. Теплопроводность с ростом влажности изменяется по закону «насыщения».

Keywords: particle-size distribution, density, particle density, porosity, hydro-physical invariables, thermal capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity.

Sierozem soils in Uzbekistan are common in the largest intermountain depressions. They primarily develop on loose rocks – loess characterized by the predominance of genetic horizons of silt fractions in the particle size distribution, micro-aggregation and high porosity, high content of calcium carbonate and low content of colloids. Under bone-dry humidity, the maximum thermal capacity is revealed in the most compacted soil layers of typical sierozem and dark sierozem. With depth, thermal storage coefficients undergo changes associated with the distribution of genetic horizon density. Compaction leads to thermal diffusivity reduction, but thermal conductivity increases. Volumetric thermal capacity of virgin sierozems increases with moistening and remains the highest in the humus-accumulative horizon. Thermal diffusivity reaches its maximum in the range from wilt-