

АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 633.412: 631.445.4: 631.67 (571.15)

С.В. Макарычев, Н.И. Зайкова
S.V. Makarychev, N.I. Zaykova

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРОШАЕМЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ Р. ОБИ

AGRO-PHYSICAL FEATURES OF IRRIGATED CHERNOZEMS OF THE RIGHT BANK OF THE OB RIVER

Ключевые слова: гранулометрический состав, плотность, порозность, теплоемкость, тепло- и температуропроводность, микроагрегатный состав, дисперсность, влагоемкость.

Для повышения почвенного плодородия и получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур важно определить агрофизические особенности орошаемых черноземов правобережья р. Оби. Для выявления агрофизических и агрохимических характеристик чернозема выщелоченного с мая по октябрь 2010 г. отобраны образцы почвы на опытных участках Лосихинской оросительной системы, занятой свёклой столовой. Отобранные образцы анализировались общепринятыми в почвоведении и агрофизике методами в испытательной лаборатории НИИХИМ с/х и агроэкологии ФГБОУ ВПО АГАУ и испытательной лаборатории ФГУ ЦАС «Алтайский». Благоприятные агрофизические свойства почв являются одним из неперенных условий плодородия. Вследствие изменения этих свойств, характера произрастающей растительности существенно меняется гидротермический режим почвы. Исследования показали, что орошаемый чернозем имеет среднесуглинистый гранулометрический состав. Он хорошо структурирован, легко впитывает и удерживает влагу, что способствует созданию благоприятных условий для обеспечения растений водой и воздухом. Плотность сложения чернозема с глубиной возрастает. Аналогично увеличиваются объемная теплоемкость и теплоустойчивость. Снижение порозности и повышение плотности являются основными причинами уменьшения температуропроводности нижележащих горизонтов почвенного профиля. Водно-физические постоянные также с глубиной постепенно становятся меньше. В то же время чернозем обладает высоким диапазоном активной влаги. Вместе с тем практикуемая в последнее время система земледелия, при которой практически не

используются удобрения, приводит к постепенному и неуклонному снижению уровня почвенного плодородия.

Keywords: particle-size composition, density, porosity, thermal capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity, micro-aggregate composition, dispersion, moisture capacity.

To improve soil fertility and obtain high and steady yields of crops, it is important to define agro-physical features of irrigated chernozems of the right bank of the Ob River. To reveal agro-physical and agrochemical properties of leached chernozem, soil samples were taken from May to October, 2010, in trial plots under table beet in the area of the Losikhinskaya Irrigation System. The samples were tested by conventional in soil science and agro-physical techniques in the Altai State Agricultural University and the Center of Agrochemical Service "Altayskiy". Favorable soil agro-physical properties are essential conditions of soil fertility. With the change of those properties and the vegetation pattern, the soil hydrothermal regime significantly changes. The studies revealed that irrigated chernozem was of medium-loamy particle-size composition. It is well structured, and readily absorbs and holds moisture which promotes favorable conditions for plants supply with water and air. The density of the chernozem increases with depth. Similarly, the volumetric heat capacity and heat absorption increases. The decrease in porosity and increase in density are the main reasons of thermal diffusivity reduction of the underlying horizons of a soil profile. Also water and physical constants gradually decrease with depth. At the same time, the chernozem reveals a wide range of active moisture. The cropping system which has been practiced in recent times, in which fertilizers are practically not applied, results in gradual and steady decrease in the level of soil fertility.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., ректор, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-83-57. E-mail: rector@asau.ru.

Зайкова Наталья Ивановна, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-80-51. E-mail: agau@asau.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Rector, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-57. E-mail: rector@asau.ru.

Zaykova Natalya Ivanovna, Post-Graduate Student, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-80-51. E-mail: agau@asau.ru.

Введение

Физические свойства оказывают большое влияние на развитие почвообразовательного процесса, плодородие почвы и развитие растений.

Благоприятные общие физические, водно-физические и физико-химические свойства и режимы почв – одно из неперенных условий плодородия, получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Вследствие изменения агрофизических свойств, характера произрастающей растительности существенно трансформируется водно-тепловой режим почв [1-2].

Цель – для повышения почвенного плодородия и получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур важно определить агрофизические особенности орошаемых черноземов правобережья р. Оби.

Объекты и методы исследования

Для выявления агрофизических и агрохимических характеристик чернозема выщелоченного с мая по октябрь 2010 г. отобраны образцы почвы на опытных участках Лосихинской оросительной системы, занятой свёклой столовой.

Отобранные образцы анализировались общепринятыми в почвоведении и агрофизике методами в испытательной лаборатории НИИХИМ с/х и агроэкологии ФГБОУ ВПО АГАУ и испытательной лаборатории ФГУ ЦАС «Алтайский».

Теплофизические свойства изучали на многоканальном измерительном комплексе для определения ТФС почв на основе модуля

АЦП/ЦАП ZET 210, разработанном А.Г. Болотовым [3]. В основу работы комплекса положен метод цилиндрического зонда, который основывается на аналитическом описании температурного поля, создаваемого действием постоянного бесконечно длинного линейного источника тепла в неограниченной среде.

Результаты и их обсуждение

Гранулометрический состав оказывает большое влияние на почвообразование. В практике земледелия давно отмечено большое влияние структуры почвы на ее физические свойства, водно-воздушный и питательный режимы. Результаты гранулометрического анализа чернозема выщелоченного представлены в таблице 1.

Гранулометрический состав почвы прежде всего определяет поглотительные (сорбционные) свойства почвы. Тонкодисперсные частицы в силу большой абсолютной и удельной поверхности обладают высокой емкостью поглощения. С измельчением частиц возрастают их гигроскопичность, влагоёмкость, технологические свойства.

Данные таблицы показывают, что чернозем выщелоченный имеет среднесуглинистый гранулометрический состав.

В гумусовом горизонте содержится значительное количество мелкого песка ~ 39% (в гор. АВ). В то же время содержание песчаной фракции в почвообразующей породе различно и увеличивается вниз по профилю; максимальное значение в горизонте ВС – 43%, в слое 60-70 см – падает до 26%.

Таблица 1

Гранулометрический состав выщелоченного чернозема опытного участка (метод Н.А. Качинского) (2010 г.)

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Размер фракций, мм; содержание, % от абсолютно сухой почвы						
		1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	сумма 0,01
A _{пах}	0-10	1,01	26,75	42,32	5,28	9,56	15,08	29,92
	10-20	1,36	31,68	37,56	6,52	8,56	14,32	29,40
AB	20-30	1,09	39,43	31,00	3,36	7,44	17,68	28,48
B	30-40	0,64	29,92	33,44	4,12	5,56	26,32	36,00
	40-50	0,80	29,2	36,68	2,12	6,40	24,80	33,32
	50-60	1,08	30,48	36,56	2,64	5,64	23,60	31,88
	60-70	1,02	24,86	45,88	3,00	4,48	20,76	28,24
BC	70-80	1,77	32,55	39,40	3,44	4,52	18,32	26,28
	80-90	1,79	38,49	34,32	2,76	4,72	17,92	25,40
	90-100	0,84	42,40	30,80	3,32	4,92	17,72	25,96

Для почв, развитых на лессовидных породах, характерно повышенное содержание крупно-пылеватой и илистой фракций. Так, количество крупной пыли (0,05-0,01 мм) в исследуемом почвенном профиле колеблется в пределах от 31 до 46%. Количество средней пыли определяет пластичность и связность почвы (0,01-0,005). Данная фракция лучше удерживает влагу, обладая при этом слабой водопроницаемостью, она не способна к коагуляции. Исходя из этого невысокое содержание средней пыли в почве (менее 10%) позволяет избежать её запыливания [4].

Сумма фракций менее 0,01 мм возрастает от 28% в гумусово-аккумулятивном горизонте до 36% в иллювиальном, а затем снижается до 26% в почвообразующей породе. Это говорит о некотором утяжелении гранулометрического состава с глубиной.

Почвенная толща содержит также значительное количество илстых частиц. Так, в пахотном слое они составляют 15%, в горизонте В содержится максимальное количество илстых частиц – до 26%, в почвообразующей породе – 18% частиц.

Благоприятное влияние на агрофизические свойства почв оказывает микроструктура при условии ее пористости и водопрочности. Наиболее ценными являются микроагрегаты размером 0,25-0,05 и 0,05-0,01 мм. Микроагрегаты размером 0,010-0,005 мм снижают водо- и воздухопроницаемость.

Результаты микроагрегатного анализа чернозема выщелоченного по генетическим горизонтам показаны в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что основная доля микроагрегатов представлена размером 0,25-0,05 и 0,05-0,01 мм, то есть наиболее ценным в агрономическом отношении. При этом гумусовый слой содержит меньшее количество фракции – 0,05-0,01 мм и большее

– 0,25-0,05 мм. С глубиной наблюдается перераспределение этих фракций. Менее ценных частиц в черноземах мало (от 3 до 8%) и они не играют существенной роли в процессе массо- и теплообмена.

Расчеты показали, что величина коэффициента дисперсности (K) в гумусовом горизонте чернозема выщелоченного составляет 3,3%, а в горизонте ВС – 2,7%, что говорит о более слабой оструктуренности верхнего гумусового горизонта, но в целом по показателю коэффициента дисперсности исследуемый чернозем оказывается хорошо структурированным. Он легко впитывает влагу, которая по мере движения рассасывается комками, промежутки между которыми заполняются воздухом. Воздух содержится и в порах аэрации. В такой почве потери воды от поверхностного стока незначительны, а наличие некапиллярных пор предохраняет почву от испарения с поверхности. Следовательно, в исследуемом черноземе одновременно создаются благоприятные условия обеспечения растений влагой и воздухом.

Кроме того, нами были определены общие физические и водно-физические показатели почвы: плотность сложения (ρ), плотность твердой фазы (d), порозность аэрации при НВ ($\Gamma_{\text{аэр}}$), максимальная гигроскопичность (МГ), влажность завядания (ВЗ), влажность разрыва капилляров (ВРК), наименьшая влагемкость (НВ) (табл. 3-4).

Основным агрофизическим свойством является плотность сложения почвы, которая, обуславливая водно-воздушный режим, оказывает значительное воздействие на рост и продуктивность растений. Кроме того, с помощью плотности вычисляют запасы воды, питательных веществ в пахотном или в любом другом горизонте.

Таблица 2

Микроагрегатный состав выщелоченного чернозема опытного участка (2010 г.)

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций (% от абсолютно сухой почвы)						
		1,0- 0,25 мм	0,25- 0,05 мм	0,05- 0,01 мм	0,01- 0,005 мм	0,005- 0,001 мм	<0,001 мм	сумма фракций <0,01 мм
A _{пах}	0-10	1,58	42,22	48,0	4,12	3,52	0,56	8,20
	10-20	1,82	51,98	40,52	2,92	2,32	0,44	5,68
AB	20-30	1,39	46,09	44,92	3,64	3,40	0,56	7,60
B	30-40	1,95	44,49	46,96	3,24	2,40	0,96	6,60
	40-50	1,36	44,08	48,64	2,68	2,80	0,44	5,92
	50-60	1,75	37,37	56,00	2,80	1,32	0,76	4,88
	60-70	1,41	44,59	50,52	1,40	1,72	0,36	3,48
BC	70-80	2,03	47,77	47,08	1,40	1,20	0,52	3,12
	80-90	2,45	45,99	48,36	1,80	0,80	0,60	3,20
	90-100	1,21	46,35	49,76	1,48	0,80	0,40	2,68

**Общие физические свойства и гумусированность
выщелоченного чернозема опытного участка (2010 г.)**

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Плотность, кг/м ³	Плотность твердой фазы, кг/м ³	Общая порозность, % от объема почвы	Гумус, %
A _{пах}	0-10	1210	2530	52,2	3,8
	10-20	1260	2640	52,3	3,6
AB	20-30	1280	2660	51,9	1,3
B	30-40	1420	2640	46,2	0,3
	40-50	1470	2570	42,8	0,1
	50-65	1490	2570	42,0	0,1

Анализируя данные таблицы 3, можно отметить, что плотность сложения чернозема с глубиной возрастает от 1210 до 1490 кг/м³. В результате проведения агротехнических мероприятий плотность гумусово-аккумулятивного горизонта может варьировать.

Общая порозность характеризует воздушные свойства почвы. Наиболее благоприятной для сельскохозяйственных культур считается порозность, равная 50-60%. В соответствии с изменениями плотности почвы и плотности ее твердой фазы общая порозность с глубиной уменьшается с 54,5%, что соответствует ее удовлетворительной оценке, до 41,6%. Уменьшение порозности связано с невысоким содержанием органических веществ в этих горизонтах и их оструктуренностью. Кроме этого существенное влияние оказывает увеличение в них плотности под влиянием давления верхних гумусовых горизонтов.

По содержанию органического вещества в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте чернозем относится к малогумусным с содержанием гумуса в верхнем слое 3,8%. С глубиной содержание гумуса резко уменьшается до нуля. Потери гумуса происходят от эрозии и дефляции почв [5].

Степень доступности почвенной влаги растениям и состояние водного режима выра-

жают почвенно-гидрологическими константами (табл. 4).

Максимальная гигроскопичность (МГ) является особой разновидностью влагоемкости почвы, характеризующей предельно высокое количество парообразной воды, которое может быть поглощено и удержано почвой. Величина максимальной гигроскопичности зависит от химического, гранулометрического и минералогического состава почв. В нашем случае МГ в профиле чернозема изменяется в пределах от 4,5% от массы почвы в пахотном слое А до 4,0% в горизонте ВС.

Полная влагоемкость (ПВ) – наибольшее количество воды, которое может вместить почва при полном заполнении всех пор водой. По данным таблицы 4 ПВ в пахотном слое почвы составляет 42,3%, с глубиной уменьшается до 27,8% в горизонте ВС.

Наименьшая влагоемкость (НВ) в верхних горизонтах чернозема имеет высокие значения (до 30% от массы почвы), что обеспечивает хорошую аэрацию в зоне корневой системы растений. В почвообразующей породе она снижается до 16%.

Аналогично изменяются и другие гидроконстанты (ВРК и ВЗ). Их минимальные значения отмечены в нижележащих горизонтах.

Таблица 4

Водно-физические свойства выщелоченного чернозема опытного участка (2010 г.)

Горизонт	Глубина взятия образца, см	МГ	ПВ	ВЗ	ВРК	НВ	П _{аэр}
A _{пах}	0-10	4,37	43,14	5,90	21,3	30,4	17,7
	10-20	4,65	41,51	6,37			
AB	20-30	4,56	40,55	6,25	20,9	29,9	13,2
B	30-40	5,95	32,54	8,15	20,9	29,9	13,2
	40-50	5,77	29,12	7,90	14,8	21,2	11,3
	50-65	5,15	28,20	7,06	14,8	16,3	7,6
BC	65-100	4,50	27,80	6,0	11,4	16,0	7,1

Таблица 5

Объёмная теплоёмкость (C_p), температуропроводность (a), теплопроводность (λ) и теплоусвояемость (b) чернозема при различных гидрологических константах

Физические показатели	Гидрологические константы				
	0	МГ	ВЗ	ВРК	НВ
	Горизонт $A_{\text{пах}}$				
$C_p, 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	1,661	1,812	1,862	2,043	2,197
$a, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	0,581	0,622	0,631	0,595	0,462
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	1,156	1,322	1,374	1,653	1,645
$b, 10^3 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{К})$	1,420	1,463	1,477	1,528	1,572
Горизонт АВ					
$C_p, 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	1,765	1,849	1,919	2,225	2,414
$a, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	0,611	0,661	0,673	0,636	0,485
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	1,144	1,276	1,318	1,511	1,481
$b, 10^3 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{К})$	1,428	1,473	1,493	1,580	1,633
Горизонт В					
$C_p, 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	1,790	1,991	2,072	2,789	3,220
$a, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	0,537	0,586	0,598	0,608	0,580
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	1,091	1,261	1,313	1,468	1,506
$b, 10^3 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{К})$	1,445	1,521	1,549	1,790	1,939
$\text{НСР}_{05(C_p)} = 0,47\%; \text{НСР}_{05(a)} = 1,03\%; \text{НСР}_{05(\lambda)} = 0,63\%$					

При сравнении величин влажности завядания и наименьшей влагоемкости можно заметить, что чернозем выщелоченный обладает высоким диапазоном активной влаги. В гумусовом слое он составляет 24%, в нижних слоях уменьшается до 10-14% от массы почвы.

Для всех вышеперечисленных величин присутствует тенденция снижения в каждом из последующих горизонтов, что обусловлено особенностями гранулометрического состава и содержанием органических веществ.

Дифференцированность почвенного профиля по физико-механическим и водно-физическим свойствам нашла отражение и в распределении теплофизических характеристик по почвенным горизонтам чернозема.

В таблице 5 представлены значения коэффициентов теплопередачи и теплоаккумуляции при различных гидрологических константах для деятельного слоя черноземов выщелоченных.

Анализируя данные таблицы, можно отметить следующее: результат распределения теплофизических коэффициентов в почвенном профиле приобретает свои особенности. Плотность чернозема с глубиной имеет тенденцию к росту, объёмная теплоёмкость (C_p) при уплотнении почвы с глубиной тоже возрастает в абсолютно сухом состоянии от $1,661 \cdot 10^6$ до $1,790 \cdot 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$. Аналогично

изменяется теплоусвояемость (b) от $1,420 \cdot 10^3$ до $1,445 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{К})$. Далее в таблице 5 представлены изменения коэффициентов температуро- и теплопроводности (a, λ) почвы. Снижение порозности и увеличение плотности с глубиной (изменение условий молекулярного переноса энергии) являются главной причиной уменьшения температуропроводности нижележащих горизонтов. Причем эти изменения колеблются в небольших пределах и составляют не больше 20%. Максимальной скоростью изменения температуры отличается верхний слабоуплотненный, но содержащий органику слой.

Однородный гранулометрический состав, особенности распределения органики и микрочастицы 0,25-0,05 мм служат причиной слабых изменений коэффициентов теплопереноса в почвенной толще.

Анализ данных о теплофизических коэффициентах при различных гидрологических константах показывает, что распределение теплоемкости, тепло- и температуропроводности в почвенном профиле аналогично абсолютно сухому состоянию. Объёмная теплоемкость и теплоусвояемость увеличиваются с глубиной, характер распределения тепло- и температуропроводности в горизонтах обусловлены указанными выше причинами.

Для обеспечения высокой урожайности сельскохозяйственных культур важное значение имеет содержание питательных веществ в доступных для растений формах. Вовлечение почвы в сельскохозяйственное использование резко меняет баланс веществ. За счет распашки земель изменяются параметры биологического круговорота в результате смены естественных биоценозов агроценозами. В почву поступают биофильные элементы в виде удобрений и мелиорантов, а в случае орошения – в виде веществ, растворенных и взвешенных в оросительных водах. Распаханные почвы теряют питательные вещества из-за развития поверхностного стока, плоскостной и линейной эрозии.

Изменение величин реакции почвенного раствора находится в небольших пределах. РНв в пахотном слое составляет в среднем 6,7. Обеспеченность почвы во всем корнеобитаемом слое нитратным азотом очень низкая (0,87-1,38 мг/кг). Подвижный фосфор высокий (250-295 мг/кг). Обеспеченность подвижным калием также высокая (179,2-196,4 мг/кг). Значительное количество валового калия в черноземах опытного участка связано с особенностями минералогического состава почв и почвообразующих горных пород [6]. Исходя из обеспеченности подвижными питательными веществами, урожайность вышеуказанной овощной культуры, которая является культурой высокого выноса элементов питания, будет лимитироваться в первую очередь азотом.

Выводы

Итак, исследованный чернозем имеет среднесуглинистый гранулометрический состав. Он хорошо структурирован, легко впитывает и удерживает влагу, что способствует созданию благоприятных условий для обеспечения растений водой и воздухом. Также данные свидетельствуют о низком содержании гумуса и нитратного азота.

Плотность чернозема с глубиной возрастает. В результате увеличиваются объемная теплоемкость и теплоусвояемость. Снижение порозности и повышение плотности являются основными причинами уменьшения теплопроводности нижележащих горизонтов.

Очевидно также, что практикуемая в последнее время система земледелия, при которой практически не используются удобрения, приводит к постепенному и неуклонному снижению уровня почвенного плодородия.

Библиографический список

1. Макарычев С.В., Мазиров М.А. Теплофизика почв: методы и свойства. – Суздаль, 1996. – Т. 1. – 130 с.
2. Теплофизические основы мелиорации почв: учебное пособие / С.В. Макарычев, М.А. Мазиров. – М.: Химия в сельском хозяйстве, 2004. – 290 с.
3. Болотов А.Г., Беховых Ю.В., Семенов Г.А. Определение теплофизических свойств капиллярно-пористых тел импульсным методом с использованием технологии визуального программирования // Вестник АГАУ. – 2010. – № 6. – С. 37-40.
4. Кауричев М.С., Панов Н.П., Розов Н.Н. и др. Почвоведение: учебное пособие. – М.: Агропромиздат, 1989. – 719 с.
5. Бурлакова Л.М. Проблемы изменения черноземов при орошении // Развитие мелиорации в Алтайском крае: сб. тр. – Барнаул, 1986. – С. 21-24.
6. Трофимов И.Т. Рекомендации по мелиорации Алтайского края. – Барнаул: АСХИ, 1977. – 30 с.
7. Wierenga P.J., Nelsen D.R., Hagan R.M. Thermal properties of soil based upon field and laboratory measurements // Ibid. 1969. – V. 33. – P. 354-360.

References

1. Makarychev S.V., Mazirov M.A. Teplofizika pochv: metody i svoistva. – Suzdal', 1996. – T. 1. – 130 s.
2. Teplofizicheskie osnovy melioratsii pochv: uchebnoe posobie / S.V. Makarychev, M.A. Mazirov. – M.: Izd-vo «Khimiya v sel'skom khozyaistve», 2004. – 290 s.
3. Bolotov A.G., Bekhovykh Yu.V., Semenov G.A. Opredelenie teplofizicheskikh svoistv kapillyarno-poristyykh tel impul'snym metodom s ispol'zovaniem tekhnologii vizual'nogo programmirovaniya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 6. – S. 37-40.
4. Kaurichev M.S., Panov N.P., Rozov N.N. i dr. Pochvovedenie: uchebnoe posobie. – M.: Agropromizdat, 1989. – 719 s.
5. Burlakova L.M. Problemy izmeneniya chernozemov pri oroshenii // Razvitie melioratsii v Altaiskom krae; sb. tr. – Barnaul, 1986. – S. 21-24.
6. Trofimov I.T. Rekomendatsii po melioratsii Altaiskogo kraya. – Barnaul: Izd-vo ASKhl, 1977. – 30 s.
7. Wierenga P.J., D.R. Nielsen, and R.M. Hagan. 1969. Thermal Properties of a Soil Based Upon Field and Laboratory Measurements. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:354-360.

