

2019 г. – Perm: IPTs «Prokrost», 2020. – S. 345-350.

8. Pivovarova E.G., Konontseva E.V., Khludentsov Zh.G., Averyanova I.P. Matematicheskie modeli regionalnykh etalonov v agrokhimicheskom monitoringe pochv // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 8 (178). – S. 54-62.

9. Puzachenko Yu.G., Karpachevskiy L.O., Vznuzdaev N.A. Vozможности primeneniya informatsionno-logicheskogo analiza pri izuchenii pochvy na primere ee vlazhnosti // Zakonomernosti prostranstvennogo varirovaniya svoystv pochv i informatsionno-statisticheskie metody ikh izucheniya. – Moskva: Nauka, 1970. – S. 103-121.

10. Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR. – Moskva: Kolos, 1977. – 223 s.

11. Del Barrio, G., Boer M.M., Puigdefábregas, J. (1996). Selecting representative drainage basins

in a large research area using numerical taxonomy on topographic and climatic raster overlays. In: M. Rumor, R. McMillan, and H.F.L. Ottens (eds), PESERA – Second Annual report 125. Geographic information. From research to application through cooperation: Amsterdam, IOS Press, p. 398-407.

12. Bidwell, O, Hole, F. (1964). Numerical Taxonomy and Soil Classification. *Soil Science*. 97. 58-62. 10.1097/00010694-196401000-00009.

13. Rayner, J. (2006). Classification of soils by numerical methods. *Journal of Soil Science*. 17. 79-92. 10.1111/j.1365-2389.1966.tb01454.x.

14. Ilina L.P., Illarionova N.F. Otsenka stepeni agroistoshcheniya pochv zemel selskokhozyaystvennogo naznacheniya // Innovatsii v tekhnologiyakh vozdeleyvaniya selskokhozyaystvennykh kultur: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 4 fevralya 2015 g. – pos. Persianovskiy: Donskoy GAU, 2015 g. – S. 47-52.



УДК 630*114:631.436:630(571.15)

В.В. Хлебникова, С.В. Макарычев, А.В. Шишкин
V.V. Khlebnikova, S.V. Makarychev, A.V. Shishkin

ТЕПЛОВЫЕ И ОБЩЕФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ ПОД НАСАЖДЕНИЯМИ ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР В ДЕНДРАРИИ

THERMAL AND GENERAL PHYSICAL PROPERTIES OF CHERNOZEMS UNDER ORNAMENTAL CROP PLANTATIONS IN THE ARBORETUM

Ключевые слова: сирень, рябина, туя, плотность, дисперсность, гумус, теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность.

Тепловой режим, формирующийся в почве, обуславливает рост и развитие корневой системы и, в итоге, самого растения. При этом атмосферные условия оказывают значительное влияние на комплекс теплофизических свойств и распределение температурных градиентов в почвенной толще. Показано, что повышенная плотность сложения характерна для гумусово-аккумулятивных горизонтов обыкновенного чернозема под рябиной и выщелоченного под сиренью. В то же время выщелоченный чернозем под насаждениями туи имеет пониженное уплотнение верхнего 20-сантиметрового слоя. Содержание глинистых частиц в черноземе обыкновенном с глубиной постепенно уве-

личивается до 62,6%. В черноземах выщелоченных переходный слой АВ облепчен по гранулометрическому составу до среднего суглинка. Количество гумуса в верхнем 20-сантиметровом слое черноземов под листовыми культурами составляет 5,7%, а под хвойными – только 4,5%. Коэффициент теплопроводности черноземов имеет минимальное значение в наименее плотных горизонтах почвенных профилей. В то же время в плотных горизонтах черноземов теплопроводность достигает значений 0,653 Вт/(м К). Максимум объемной теплоемкости также отмечен в иллювиальных горизонтах. В слабо уплотненных переходных слоях АВ он гораздо меньше. Только под туей теплоемкость имеет минимальное значение в гумусовом горизонте, в котором плотность сложения равна лишь 980 Кг/м³. Характер распределения температуропроводности в профиле черноземов обратный по сравнению с объемной

теплоемкостью. При минимальной плотности сложения гумусово-аккумулятивного слоя под туей значение температуропроводности равно $0,517 \cdot 10^{-6}$ м²/с. В то же время при плотности 1230 Кг/м³ в иллювиальном горизонте она уменьшается до $0,350 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Keywords: *lilac, mountain ash, thuja, density, dispersion, humus, thermal capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity.*

The thermal regime that forms in the soil determines the growth and development of the root system and, as a result, the plant itself. The atmospheric conditions have a significant effect on the complex of thermophysical properties and the distribution of temperature gradients in the soil depth. It is shown that increased bulk density is typical of the humus accumulative horizons of ordinary chernozem under mountain ash and leached chernozem under lilac. At the same time, leached chernozem under thuja plantations has a reduced compaction of the upper 20 cm layer. With depth, the content of clay particles in ordinary chernozem

gradually increases to 62.6%. In leached chernozems, the transition layer AB is lighter regarding its particle-size composition and it is a medium loam. The amount of humus in the upper 20 cm layer of chernozems under deciduous plants makes 5.7%, and under conifers - 4.5% only. The thermal conductivity coefficient of chernozems has a minimum value in the least dense horizons of the soil profiles. At the same time, in dense horizons of chernozems, thermal conductivity reaches 0.653 W (m K). The maximum of volumetric thermal capacity is also recorded in the illuvial horizons. It is much smaller in weakly compacted transition layers AB. It is under thuja only, that the thermal capacity has the minimum value in the humus horizon where the bulk density is only 980 kg m³. The distribution pattern of thermal diffusivity in the chernozem profiles is inverse as compared to the bulk thermal capacity. At the minimum bulk density of the humus-accumulative layer under thuja, the thermal diffusivity amounts to 0.517×10^{-6} m² s. At the same time, at the density of 1230 kg m³ in the illuvial horizon, it decreases to 0.350×10^{-6} m² s.

Хлебникова Виктория Валерьевна, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., каф. геодезии, физики и инженерных сооружений, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Шишкин Александр Викторович, к.с.-х.н., доцент, каф. геодезии, физики и инженерных сооружений, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: shishkin8@yandex.ru.

Khlebnikova Viktoriya Valeryevna, post-graduate student, Altai State Agricultural University. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Chair of Geodesy, Physics and Engineering Structures, Altai State Agricultural University. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Shishkin Aleksandr Viktorovich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Geodesy, Physics and Engineering Structures, Altai State Agricultural University. E-mail: shishkin8@yandex.ru.

Введение

Для г. Барнаула важное значение имеет такой природоохранный комплекс, как дендрарий, который создан на территории НИИСС им. М.А. Лисавенко. В его состав входят разнообразные декоративные культуры, кустарники и древесные породы, интродуцированные – сирень, рябина, туя, орех, облепиха, жимолость, сосна, ель и другие растения [1]. Они по-разному реагируют на климат, рельеф, гидрологию, а также на теплофизическое состояние (ТФС) региона.

В этой связи нами была поставлена задача исследования режимов тепла и влаги, формирующихся под декоративными культурами, такими как сирень Майера, рябина Алая и туя Даника. Это непосредственно связано с температурой и комплексом теплофизических коэффициентов генетических горизонтов почв разного генезиса. Изучение таких показателей будет

востребовано при разработке агрометеорологических приемов, обеспечивающих создание оптимального теплофизического состояния в почвенном профиле для выращивания и сохранения уникальных декоративных растений.

Известно, что тепловой режим, формирующийся в почве, обуславливает рост и развитие корневой системы и, в конечном итоге, самого растения. Следует подчеркнуть, что атмосферные условия оказывают значительное влияние на комплекс теплофизических свойств и распределение температурных градиентов в почвенной толще [2, 3].

В то же время сведений о процессах создания ТФС почв и режимов тепла под насаждениями декоративных культур в условиях дендрария практически нет. Поэтому исследование комплекса теплофизических коэффициентов почв разного генезиса весьма актуально.

Объекты и методы

Цель работы – изучение режимов тепла и влаги под декоративными культурами. Объектами исследований явились черноземы обыкновенные и выщелоченные, занятые насаждениями рябины, сирени и туи. Наблюдения проводились с 2017 по 2019 гг. на территории дендрария НИИСС им. М.А. Лисавенко в нагорной части г. Барнаула в трехкратной повторности. В работе представлены средние значения теплофизических коэффициентов за годы исследований. При измерении плотности сложения, дисперсности и содержания гумуса применялись общепринятые в земледелии методы [4]. Остальные теплофизические коэффициенты определены импульсным методом плоского нагревателя [5-7].

Результаты исследований

Насаждения декоративных культур на территории дендрария распределены по-разному. Так, сирень расположена на горизонтальном выровненном участке. Рябина произрастает на пологом склоне юго-западной экспозиции, тогда как туя на пониженном участке мезорельефа. Следует отметить, что сирень Майера представляет собой карликовый кустарник, который не превышает 60 см высоты, а его крона компактная, округлой формы. Рябина Алая является красивым деревом или кустарником с ажурной раскидистой кроной, разветвленной корневой системой и высотой 5 м и более. Туя Даника – хвойный вечнозеленый низкорослый кустарник, крона которого сформирована множеством покрытых мягкой хвоей побегов. Основная часть ветвей направлена вверх.

Профиль черноземов, занятых декоративными культурами, имеет свои особенности [8]. Так, плотность сложения почвы под насаждениями сирени и рябины в профиле распределена неравномерно. Значительное уплотнение имеет место в гумусово-аккумулятивных горизонтах обыкновенного чернозема под рябиной и выщелоченного под сиренью (табл. 1). Наиболее уплотнен здесь иллювиальный горизонт В, тогда как переходный горизонт на обоих участках

имеет пониженную плотность сложения. В то же время выщелоченный чернозем под насаждениями туи характеризуется слабо уплотненным верхним слоем.

Содержание глинистой фракции в черноземе обыкновенном с глубиной постепенно увеличивается от 40,6 в гор. А и до 62,6% в гор. В. В черноземе выщелоченном переходный слой АВ облегчен по гранулометрическому составу до 44,1% под сиренью и до 38,4% под туей. Количество органического вещества в гумусовом горизонте довольно значительно под лиственными культурами (5,2-5,7%) и гораздо меньше под хвойными (4,5%).

Особенности рассмотренных физических свойств черноземов нашли отражение и на их теплофизических коэффициентах (ТФК). В этой связи можно отметить, что под удельной теплоемкостью понимают количество тепла, необходимого для нагревания единицы массы почвы на один градус. Соответственно, объемной теплоемкостью называют количество тепла, которое идет на повышение температуры единицы объема почвы также на один градус. Температуропроводность характеризует скорость изменения температуры почвы, а теплопроводность есть тепловой поток, который проходит через поперечное сечение образца при единичном градиенте температур.

В таблице представлена удельная теплоемкость профиля чернозема под декоративными культурами. Как правило, на различных вариантах она изменяется незначительно. В верхних гумусовых слоях, где выше содержание органики, удельная теплоемкость больше, чем в переходных. Соответственно, под насаждениями туи, где количество гумуса составляет только 4,5%, она также ниже по сравнению другими культурами. Кислотность почвы здесь повышена, и поэтому требуется внесение некоторого количества гипса [9, 10]. В то же время максимальное значение теплоемкости отмечено в иллювиальных горизонтах с повышенной дисперсностью.

Коэффициент теплопроводности черноземов имеет минимальное значение в наименее плот-

ных горизонтах почвенных профилей. Так, при плотности сложения, равной 980 кг/м³ (под туей), она составляет только 0,382 Вт/(М К). Это относится и к горизонту АВ под рябиной. В то же время в наиболее плотных иллювиальных горизонтах черноземов теплопроводность достигает значений 0,653 Вт/(м К).

В таблице представлены значения объемной теплоемкости и температуропроводности черноземов. Для наглядности эти коэффициенты по-

казаны также и на рисунках 1, 2. Анализ таблицы и рисунков дает возможность сравнить теплофизическое состояние черноземов под исследованными насаждениями декоративных культур.

Под рябиной максимум объемной теплоемкости имеет место в наиболее плотном иллювиальном горизонте В и равен 1,76·10⁶ Дж/(м³ К). В слабо уплотненном переходном слое АВ он снижается до 0,79·10⁶ Дж/(м³ К).

Таблица

Плотность сложения (ρ), дисперсность (D), гумус (N), удельная теплоемкость (C_0), объемная теплоемкость (C_p), температуропроводность (α) и теплопроводность (λ) черноземов под различными декоративными культурами (обезвоженное состояние)

Горизонт	ρ , кг/м ³	D , %	N , %	C_0 , Дж/(кгК)	C_p , 10 ⁶ Дж/(м ³ К)	α , 10 ⁻⁶ м ² /с	λ , Вт/(мК)
Рябина, чернозем обыкновенный							
A	1100	40,6	5,7	974,7	1,179	0,435	0,513
AB	990	50,2	3,5	809,3	0,793	0,477	0,378
Bк	1230	62,6	0,8	1000,5	1,759	0,350	0,616
Сирень, чернозем выщелоченный							
A	1200	57,8	5,2	989,9	1,664	0,361	0,445
AB	1090	44,1	2,1	972,4	1,153	0,452	0,521
B	1310	63,4	0,3	1055,6	2,072	0,315	0,653
Туя, чернозем выщелоченный							
A	980	52,6	4,5	869,3	0,739	0,517	0,382
AB	1170	38,4	1,3	982,7	1,486	0,416	0,618
B	1220	52,3	0,0	1065,1	1,707	0,380	0,648

Примечание. Относительные погрешности измерений: $E_{C_p} = 3,1\%$; $\alpha = 2,3\%$; $\lambda = 3,9\%$.

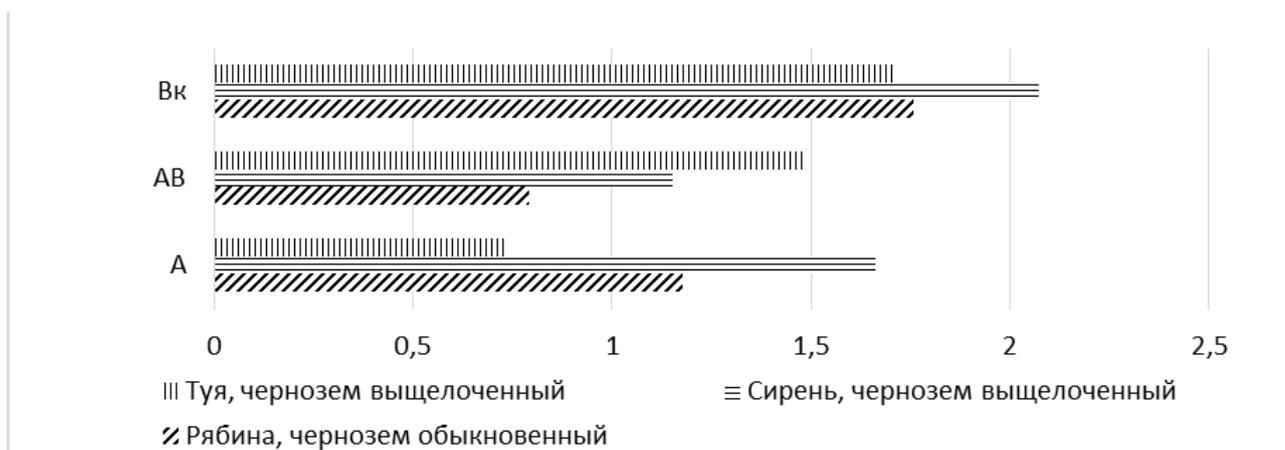


Рис. 1. Объемная теплоемкость черноземов под насаждениями декоративных культур при нулевой влажности

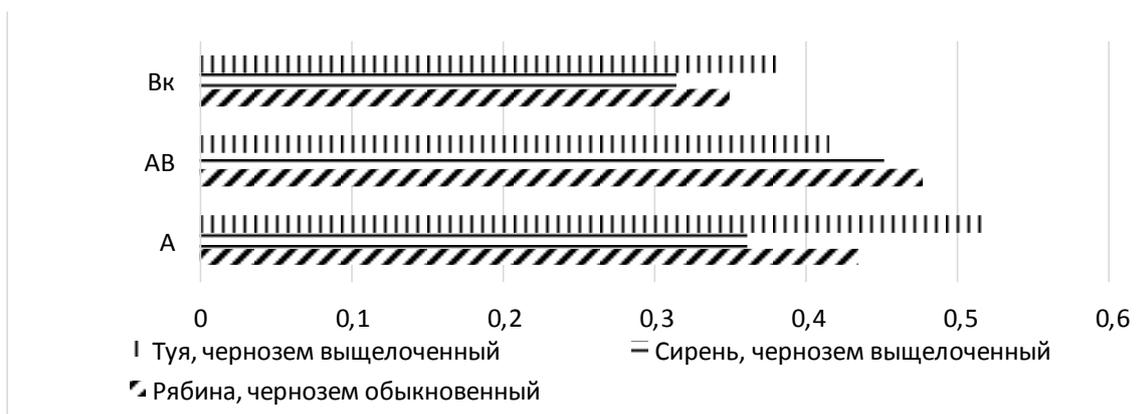


Рис. 2. Температуропроводность черноземов под насаждениями декоративных культур при нулевой влажности

Аналогичную картину можно наблюдать и под другими декоративными культурами. Только под туей теплоемкость минимальна в гумусовом горизонте, в котором плотность сложения равна лишь 980 Кг/м^3 . В то же время при плотности чернозема 1310 кг/м^3 под посадками рябины объемная теплоемкость составляет уже $2,07 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \text{ К)}$.

Следует отметить, что характер распределения коэффициента температуропроводности в профиле черноземов обратный по сравнению с объемной теплоемкостью. При минимальной плотности сложения гумусово-аккумулятивного слоя под туей значение температуропроводности равно $0,517 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. В то же время при плотности 1230 Кг/м^3 в иллювиальном горизонте она снижается до $0,350 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Аналогичное распределение в зависимости от плотности сложения почвенного профиля отмечено и на других вариантах. Самое низкое значение температуропроводности, равное $0,315 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, наблюдается в иллювиальном горизонте под сиренью при максимальной плотности сложения 1310 Кг/м^3 .

Выводы

1. Значительная плотность сложения характерна для гумусово-аккумулятивных горизонтов обыкновенного чернозема под рябиной и выщелоченного под сиренью. В то же время выщелоченный чернозем под насаждениями туи характеризуется пониженным уплотнением верхнего 20-сантиметрового слоя.

2. Содержание глинистой фракции в черноземе обыкновенном с глубиной постепенно увеличивается до 62,6%. В черноземах выщелоченных переходный слой АВ облегчен по гранулометрическому составу до среднего суглинка. Количество гумуса в верхнем 20-сантиметровом слое черноземов под листовыми культурами составляет (5,2-5,7)%, а под хвойными – только 4,5%.

3. Коэффициент теплопроводности черноземов имеет минимальное значение в наименее плотных горизонтах почвенных профилей. Так, при плотности сложения, равной 980 кг/м^3 (под туей) она составляет только $0,382 \text{ Вт/(м К)}$. В то же время в иллювиальных горизонтах черноземов теплопроводность достигает значений $0,653 \text{ Вт/(м К)}$.

4. Под рябиной максимум объемной теплоемкости имеет место в наиболее плотном иллювиальном горизонте. В слабо уплотненном переходном слое АВ он гораздо меньше. Аналогичная картина наблюдается и под другими декоративными культурами. Только под туей теплоемкость имеет минимальное значение в гумусовом горизонте, в котором плотность сложения равна лишь 980 Кг/м^3 .

5. Характер распределения коэффициента температуропроводности в профиле черноземов обратный по сравнению с объемной теплоемкостью. При минимальной плотности сложения гумусово-аккумулятивного слоя под туей значение температуропроводности равно $0,517 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. В то же время при плотности

1230 Кг/м³ в иллювиальном горизонте она уменьшается до $0,350 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Библиографический список

1. Горышина, Т. К. Деревья и кустарники / Т. К. Горышина. – Москва, 1979. – 368 с. – Текст: непосредственный.
2. Булыгин, Н. Е. Дендрология / Н. Е. Булыгин. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 280 с. – Текст: непосредственный.
3. Абаимов, В. Ф. Дендрология / В. Ф. Абаимов. – Москва: Академия, 2009. – 363 с. – Текст: непосредственный.
4. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с. – Текст: непосредственный.
5. Болотов, А. Г. Электронный измеритель температуры почвы / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев, Ю. В. Беховых, Е. Г. Сизов. – Текст: непосредственный // Проблемы природопользования на Алтае: сборник научных трудов молодых ученых. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2001. – С. 55-57.
6. Болотов, А. Г. Автоматизированная система для исследования теплофизических характеристик почв / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев, А. А. Левин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2002. – № 3. – С. 20-22.
7. Болотов, А. Г. Метод определения теплопроводности почвы / А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 7 (129). – С. 74-79.
8. Бондарев, А. Г. Физические свойства почв: концепции их оптимизации и повышение устойчивости к деградации / А. Г. Бондарев. – Текст: непосредственный // Труды Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: Изд-во АФИ, 2002. – С. 25-28.
9. Трофимов, И. Т. Использование дефеката для известкования почв Западной Сибири / И. Т. Трофимов, С. В. Макарычев, Ю. В. Бехо-

вых. – Текст: непосредственный // Плодородие. – 2007. – № 4 (31). – С. 15-16.

10. Кауричев, И. С. Почвоведение / И. С. Кауричев, Л. Н. Александрова, Н. П. Панов [и др.]. – Москва: Колос, 1982. – 496 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Goryshina T.K. Derevyta i kustarniki. – Moskva, 1979. – 368 s.
2. Bulygin N.E. Dendrologiya. – Moskva: Agropromizdat, 1985. – 280 s.
3. Abaimov V.F. Dendrologiya. – Moskva: Izdvo «Akademiya», 2009. – 363 s.
4. Vadyunina A.F. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochvy / A.F. Vadyunina, Z.A. Korchagina. – Moskva: Agropromizdat, 1986. – 416 s.
5. Bolotov A.G. Elektronnyy izmeritel temperatury pochvy / A.G. Bolotov, S.V. Makarychev, Yu.V. Bekhovykh, E.G. Sizov // Problemy prirodopolzovaniya na Altae. – Sb. nauch. trudov molodykh uchenykh. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2001. – S. 55-57.
6. Bolotov A.G. Avtomatizirovannaya sistema dlya issledovaniya teplofizicheskikh kharakteristik pochv / A.G. Bolotov, S.V. Makarychev, A.A. Levin // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2002. – No. 3. – S. 20-22.
7. Bolotov A.G. Metod opredeleniya temperaturoprovodnosti pochvy // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – No. 7 (129). – S. 74-79.
8. Bondarev A.G. Fizicheskie svoystva pochv: kontseptsii ikh optimizatsii i povyshenie ustoychivosti k degradatsii // Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Sankt-Peterburg: Izd-vo AFI, 2002. – S. 25-28.
9. Trofimov I.T. Ispolzovanie defekata dlya izvestkovaniya pochv Zapadnoy Sibiri / I.T. Trofimov, S.V. Makarychev, Yu.V. Bekhovykh // Plodorodie. – 2007. – No. 4 (31). – S. 15-16.
10. Kaurichev I.S. Pochvovedenie / I.S. Kaurichev, L.N. Aleksandrova, N.P. Panov i dr. – Moskva: Kolos, 1982. – 496 s.