

**ВЛИЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ РЯБИНЫ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ДЕНДРАРИЯ****THE INFLUENCE OF MOUNTAIN ASH STANDS ON THE THERMOPHYSICAL REGIME
OF ORDINARY CHERNOZEMS UNDER THE CONDITIONS OF THE ARBORETUM**

Ключевые слова: чернозем обыкновенный, генетический горизонт, рябина Алая, влажность, плотность, объемная теплоемкость, тепло- и температуропроводность.

Объектом исследований в 2017-2019 гг. был чернозем обыкновенный, занятый насаждениями рябины Алой. Этот сорт рябины является кустарником с красивой раскидистой кроной и разветвленной корневой системой. В 2018 г. под влиянием активного поступления влаги в почву при снеготаянии ее содержание в мае под рябиной в гумусовых горизонтах А и АВ оказалось очень высоким и составляло 50-55% от массы. В то же время иллювиальный горизонт был менее влажным. С течением времени за счет десукции и транспирации влагозапасы в почвенном профиле снизились до 9-12%. Для исследованного почвенного профиля характерно, что распределение почвенной влаги соответствовало экспозиции склона и биологическим особенностям рябины. Объемная теплоемкость 2 мая достигала значений $3,171 \cdot 10^6$ Дж/(м³ К) в верхней части почвенной толщи. Начиная с июля она постепенно снижалась и оказалась минимальной 15 сентября. Таким образом, способность почвы аккумулировать тепло уменьшилась по сравнению с маем в 2,3 раза. Температуропроводность в летнее время менялась в небольших пределах, особенно в иллювиальном горизонте В. Здесь ее максимум имел место 9 июля и 1 августа. Летом 2019 г. под насаждениями рябины на склоне юго-западной экспозиции влагосодержание в почвенном профиле оказалось не столь высоким, как в 2018 г. Для данного профиля характерно, что почвенное увлажнение в летнее время в переходном и иллювиальном горизонтах находилось в пределах 20-26% от массы почвы. В 2019 г. теплофизические коэффициенты под рябиной, как и влажность, испытывали слабые колебания, особенно в подстилающих горизонтах АВ и В. Максимальные величины температуропроводности достигали $0,638 \cdot 10^{-6}$ Вт/(м К), что соответствовало влажности, близкой к ВРК. В иллювиальном горизонте ее изменения не превышали 2%.

Keywords: ordinary chernozem, genetic horizon, large-berried mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), moisture content, density, volumetric thermal capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity.

The research target from 2017 through 2019 was the ordinary chernozem under the stands of mountain ash 'Alaja krupnaja' (large-berried mountain ash). This mountain ash variety is a shrub with a beautiful spreading crown and branched root system. In 2018, under the influence of active moisture supply to the soil during snowmelt, the moisture content in May under the mountain ash in the humus horizons A and AB was very high and amounted to 50-55% of the soil weight. At the same time, the illuvial horizon was less moist. Over time, due to drying and transpiration, the moisture content in the soil profile decreased to 9-12%. It was characteristic of the studied soil profile that the distribution of soil moisture corresponded to the slope exposure and the biological features of mountain ash. On May 2, volumetric thermal capacity reached 3.171×10^6 J (m³ K) in the upper part of the soil stratum. Starting in July, it gradually decreased and was minimal on September 15. Therefore, the ability of the soil to accumulate heat decreased 2.3 times as compared to May. The thermal diffusivity in summer varied within narrow limits, especially in the illuvial horizon B. There, its maximum values were observed on July 9 and August 1. In the summer of 2019, under the mountain ash stands on the slope of the southwestern exposure, the moisture content in the soil profile was not as high as in 2018. This profile was characterized by the fact that summer moistening in the transitional and illuvial horizons was within 20-26% of the soil weight. In 2019, the thermophysical coefficients under the mountain ash as well as the moisture content slightly fluctuated, especially in the underlying horizons AB and B. The maximum thermal diffusivity reached 0.638×10^{-6} W (m K) which corresponded to the moisture content close to the discontinuous capillary moisture. In the illuvial horizon, its fluctuations did not exceed 2%.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., каф. геодезии, физики и инженерных сооружений, Алтайский государственный аграрный университет. 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.

Введение

Насаждения зеленых декоративных культур и древесных пород – один их важнейших элементов градостроительства. Этот фактор играет большую роль в архитектурном, планировочном, санитарном и социальном смысле. Значение санитарной гигиены при выращивании зеленых насаждений невозможно преувеличить. Основная гигиеническая функция зеленых насаждений заключается в процессах регулирования режимов поступления солнечной энергии и формирования теплофизического состояния почвенного профиля, направленного на создание микроклимата, который обеспечивает оптимальные условия для человека. Кроме того, значение зеленых насаждений обосновано тем, что они обеспечивают защиту городских и сельских поселений от пыли, промышленных выбросов газа, от ветра и шума. Через органы чувств растения благоприятно воздействуют на нервную систему человека и улучшают его мироощущение. В этой связи также было бы целесообразным создание теплового комфорта для населения, обусловленного теплообменом человека и окружающей среды [1].

Следует подчеркнуть, что пылезащитная роль дендрария и зеленых насаждений в городской черте определяется характером почвенного покрова. Специалистами замечено, что наличие ухоженного газона под декоративными культурами и древесными породами способствует значительному снижению осаждения пыли. Воздействие деревьев и кустарников на уменьшение концентрации вредных газов в воздухе имеет место

за счет рассеивания их кронами и частичного поглощения листовой поверхностью через устьица и клеточную ткань. Так, зеленые растения извлекают из воздуха сернистый газ и концентрируют его в виде сульфата в своей структуре.

В этой связи нами был исследован почвенный покров под некоторыми декоративными культурами, произрастающими в дендрарии, который находится в южной нагорной части г. Барнаула на территории НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко. Его территория представлена как выровненным, так и всхолмленным рельефом, что дает возможность выращивать растения различных природно-климатических поясов [2-4]. **Целью** исследований явилось наблюдение за динамикой влагосодержания и теплофизических свойств в черноземе обыкновенном, занятом насаждениями рябины Алой.

Объекты и методы

Объект исследований – чернозем обыкновенный, занятый насаждениями рябины Алой. Этот сорт рябины является кустарником с красивой раскидистой кроной и мощной корневой системой. Он солнцелюбив и хорошо переносит морозы.

Эксперименты проводились на территории НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко с 2017 г. по настоящее время. Для нахождения влагосодержания в почве был использован весовой метод, принятый в земледелии [5]. Теплофизические показатели чернозема определялись в лаборатории импульсным методом [6] и в полевых условиях – цилиндрическим зондом [7-9].

Результаты исследований

В таблице 1 представлены результаты определения влажности и теплофизических коэффициентов, таких как температуропроводность, теплопроводность и объемная теплоемкость летом 2018 г. в черноземе обыкновенном под насаждениями рябины Алой.

Под влиянием активного поступления влаги в почву в результате снеготаяния ее содержание в мае под рябиной в гумусовых горизонтах А и АВ оказалось очень высоким и составляло 50-55% от массы сухой почвы. В то же время иллювиальный горизонт был менее влажным. Выпавшие в конце июня осадки привели к увеличению увлажнения в профиле чернозема, особенно в верхнем 20-сантиметровом слое. С течением времени за счет десукции и транспирации влагозапасы в почвенном профиле снижались до 9-12%.

Такие колебания влажности обусловили варьирование теплофизических коэффициентов. Так, объемная теплоемкость 2 мая достигала значений $3,171 \cdot 10^6$ Дж/(м³ К) в верхней части почвенной толщи. Несмотря на более высокую плотность иллювиального горизонта, этот показатель при влажности 28,3% здесь оказался равным $2,406 \cdot 10^6$ Дж/(м³ К). Высокая температура воздуха и интенсивное поглощение влаги растениями привели к снижению теплоаккумуляции в середине июня. После некоторого увеличения объемная теплоемкость постепенно падала и оказалась минимальной 15 сентября. В менее плотном переходном горизонте АВ в это время она равнялась $1,346 \cdot 10^6$ Дж/(м³ К). Таким образом, способность почвы аккумулировать тепло уменьшилась по сравнению с маем в 2,3 раза. Аналогичные изменения наблюдались и в других генетических горизонтах чернозема.

Это подтверждают данные рисунков 1 и 2, на которых представлена динамика влажности и ТФК (теплофизических коэффициентов) верхнего слоя чернозема летом 2018 г.

Изменения теплопроводности в течение вегетации, как следует из таблицы 1 и рисунка 2, определяются, прежде всего, колебаниями почвенного увлажнения, поскольку она находится в параболической зависимости от влажности почвы вплоть до ВРК (влажности разрыва капилляров), после чего практически не меняется [10-12]. Коэффициент температуропроводности в летнее время варьирует в небольших пределах, особенно в иллювиальном горизонте В. Ее максимум наблюдается здесь 9 июля и 1 августа при увлажнении, близком к ВРК. Следует отметить, что функция $f(U)$ представляет собой перевернутую параболу. При повышении влажности почвы температуропроводность быстро растет, достигая максимума, а при дальнейшем увеличении увлажнения становится меньше. Таким образом, в переувлажненной и иссушенной почве она принимает минимальные значения.

В таблице 2 и на рисунках 3-4 показаны значения всех вышерассмотренных величин в черноземе обыкновенном под насаждениями рябины летом 2019 г.

Под насаждениями рябины на склоне юго-западной экспозиции влагосодержание в исследованном почвенном профиле оказалось ниже, чем под сиренью. Только в гор. А 12 июня оно составило 36,3% от массы почвы. В остальные сроки наблюдений влажность чернозема не превышала 30% по всем горизонтам. Для данного профиля характерно, что почвенное увлажнение в летнее время в переходном и иллювиальном горизонтах изменялось и находилось в пределах 20-26% от массы сухой почвы.

Динамика теплофизических коэффициентов чернозема обыкновенного под насаждениями рябины летом 2018 г. (C_p , 10^6 Дж/(м³ К) – объемная теплоемкость; α , 10^{-6} м²/с – температуропроводность; λ , Вт/(м К) – теплопроводность; U , % – влажность; T , °С – температура воздуха в 9:00)

Срок	02.05	15.05	09.06	01.07	19.07	01.08	17.08	15.09
T	15	7	35	27	23	22	11	4
Гор. А, 0-20 см, $\rho = 1100$ кг/м ³								
C_p	3,171	2,919	1,407	3,045	1,911	1,785	2,037	1,491
α	0,421	0,438	0,578	0,427	0,553	0,568	0,532	0,528
λ	1,334	1,280	0,814	1,302	1,056	1,015	1,085	0,937
U	50,2	44,4	7,7	46,5	19,5	17,2	22,7	10,2
Гор. АВ, 40-50 см, $\rho = 990$ кг/м ³								
C_p	3,111	2,355	1,598	2,102	1,682	1,472	1,430	1,346
α	0,421	0,499	0,635	0,536	0,615	0,661	0,603	0,598
λ	1,309	1,175	1,015	1,126	1,035	0,974	0,963	0,952
U	55,0	37,2	19,4	30,7	20,5	15,7	14,5	12,5
Гор. В, 70-80 см, $\rho = 1230$ кг/м ³								
C_p	2,406	2,784	1,986	2,532	2,112	1,860	1,818	1,608
α	0,506	0,475	0,550	0,495	0,535	0,565	0,570	0,546
λ	1,218	1,324	1,093	1,255	1,132	1,051	1,038	0,961
U	28,3	37,4	18,5	31,2	20,6	14,9	14,3	9,3

Примечание. В статье использованы данные В.В. Хлебниковой по влажности черноземов.

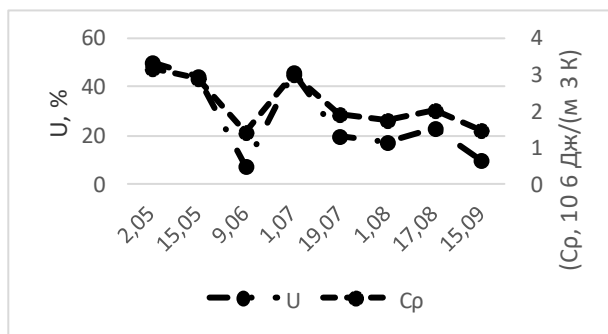


Рис. 1. Влажность и теплоемкость горизонта А чернозема, 2018 г.

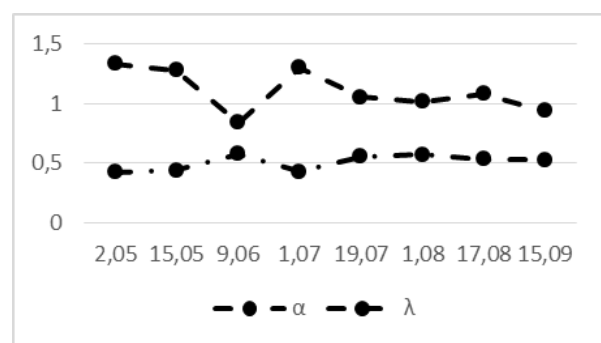


Рис. 2. Тепло- и температуропроводность горизонта А чернозема, 2018 г.

В гумусово-аккумулятивном слое влажность почвы была подвержена более сильным колебаниям. Так, с конца июня до середины июля влагосодержание здесь было равно 17,0%, а в конце августа – 14,6% от массы почвы. Такое распределение почвенной влаги соответствовало экспозиции скло-

на и особенностям рябины, которая достигла высоты 5 м и имела хорошо разветвленную корневую систему. В результате транспирация у такого растения проходила активнее и в больших объемах, следовательно, в почве содержалось меньшее количество влаги по сравнению с сиренью и тем более туей.

Таблица 2

Динамика теплофизических коэффициентов чернозема обыкновенного под насаждениями рябины летом 2019 г. (C_p , 10^6 Дж/(m^3 К) – объемная теплоемкость; α , 10^{-6} м²/с – температуропроводность; λ , Вт/(м К) – теплопроводность)

Срок	10.05	27.05	12.06	27.06	15.07	30.07	12.08	29.08
Гор. А, 0-20 см, $\rho = 1100$ кг/м ³								
C_p	2,029	2,019	2,701	1,903	1,930	2,407	2,281	1,819
α	0,518	0,501	0,447	0,533	0,530	0,476	0,487	0,544
λ	1,051	1,012	1,206	1,014	1,023	1,147	1,111	0,990
U	20,1	19,8	36,3	16,7	17,0	29,4	25,7	14,6
Гор. АВ, 40-50 см, $\rho = 990$ кг/м ³								
C_p	1,885	1,759	1,885	1,591	1,843	1,801	1,864	1,738
α	0,573	0,599	0,579	0,638	0,582	0,589	0,575	0,602
λ	1,081	1,053	1,091	1,015	1,072	1,060	1,071	1,043
U	25,6	23,2	26,3	19,1	24,7	23,7	25,5	22,5
Гор. В, 70-80 см, $\rho = 1230$ кг/м ³								
C_p	2,639	2,765	2,660	2,681	2,597	2,370	2,807	2,572
α	0,432	0,423	0,429	0,427	0,431	0,443	0,431	0,430
λ	1,141	1,170	1,142	1,144	1,119	1,050	1,182	1,105
U	21,0	24,2	21,5	22,3	20,2	14,6	24,9	19,4

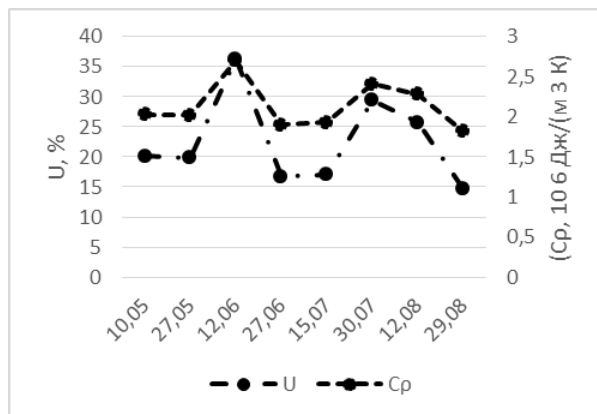


Рис. 3. Влажность и теплоемкость горизонта А чернозема. 2019 г.

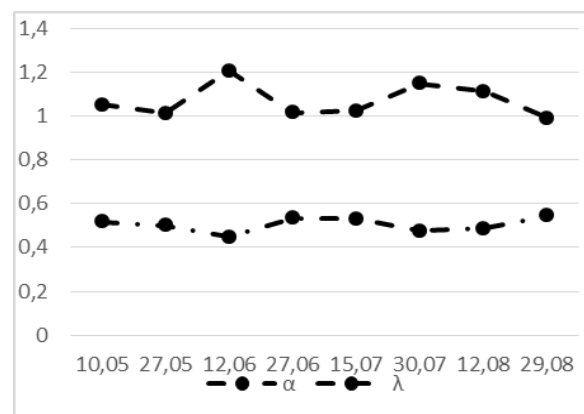


Рис. 4. Тепло- и температуропроводность горизонта А чернозема. 2019 г.

Теплофизические коэффициенты под рябиной, как и влажность, испытывали слабые колебания, особенно в подстилающих горизонтах АВ и В. При этом самые низкие значения теплоемкости и теплопроводности наблюдались в менее плотном переходном слое – не более $1,885 \cdot 10^6$ Дж/(m^3 К) и $1,050$ Вт/(м К) соответственно. Максимальные величины температуропроводности составили $0,638 \cdot 10^{-6}$ Вт/(м К), что соответствовало

влажности, близкой к разрыву капиллярных связей. Кроме того, этот коэффициент в нижних слоях профиля практически не изменялся. Его колебания в иллювиальном горизонте не превышали 2%.

Выводы

1. В 2018 г. под влиянием активного поступления влаги в почву в результате снеготаяния ее содержание в мае под рябиной в

гумусовых горизонтах А и АВ оказалось очень высоким и составляло 50-55% от массы сухой почвы. В то же время иллювиальный горизонт был менее влажным. После некоторого иссушения выпавшие в конце июня осадки привели к увеличению увлажнения в профиле чернозема, особенно в верхнем 20-сантиметровом слое. С течением времени за счет десукции и транспирации влагозапасы в почвенном профиле снизились до 9-12%. Для исследованного почвенного профиля характерно, что распределение почвенной влаги соответствовало экспозиции склона и особенностям рябины, которая достигла высоты 5 м и имела хорошо разветвленную корневую систему.

2. Объемная теплоемкость 2 мая достигала значений $3,171 \cdot 10^6$ Дж/(м³ К) в верхней части почвенной толщи. Начиная с июля она постепенно снижалась и оказалась минимальной 15 сентября. Таким образом, способность почвы аккумулировать тепло уменьшилась по сравнению с маем в 2,3 раза. Аналогичные изменения наблюдались и в других генетических горизонтах чернозема. Температуропроводность в летнее время менялась в небольших пределах, особенно в иллювиальном горизонте В. Здесь ее максимум имел место 9 июля и 1 августа. Следует отметить, что в переувлажненной и иссушенной почве этот показатель принимал минимальные значения.

3. Летом 2019 г. под насаждениями рябины на склоне юго-западной экспозиции влагосодержание в исследованном почвенном профиле оказалось не столь высоким, как в 2018 г. Только в гор. А 12 июня оно составило 36,3% от массы почвы. В остальные сроки наблюдений влажность почвы не превышала 30% по всем горизонтам. Для данного профиля характерно, что почвенное увлажнение в летнее время в переходном и иллю-

виальном горизонтах изменялось и находилось в пределах 20-26% от массы сухой почвы.

4. В 2019 г. теплофизические коэффициенты под рябиной, как и влажность, испытывали слабые колебания, особенно в подстиляющих горизонтах АВ и В. При этом самые малые значения теплоемкости и теплопроводности наблюдались в менее плотном переходном слое. Максимальные величины температуропроводности оказались в этом же горизонте и достигли $0,638 \cdot 10^{-6}$ Вт/(м К), что соответствовало влажности, близкой к разрыву капиллярных связей (ВРК). Кроме того, данный коэффициент в нижних слоях профиля практически не изменялся. Его колебания в иллювиальном горизонте не достигали 2%.

Библиографический список

1. Гейгер, Р. Климат приземного слоя воздуха / Р. Гейгер. – Москва: Изд-во иностранной литературы, 1960. – 162 с. – Текст: электронный.
2. Абаимов, В. Ф. Дендрология / В. Ф. Абаимов. – Москва: Изд-кий центр «Академия», 2009. – 363 с. – Текст: непосредственный.
3. Колесников, А. И. Декоративная дендрология / А. И. Колесников. – Москва, 1974. – 703 с. – Текст: непосредственный.
4. Зинченко, С. И. Почвы и растения / С. И. Зинченко, М. А. Мазиров, М. К. Зинченко; Рос. акад. с.-х. наук, Владимир. НИИ сел. хоз-ва РАСХН. – Москва, 2008. – 284 с. – Текст: непосредственный.
5. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с. – Текст: непосредственный.

6. Макарычев, С. В. Теплофизические свойства выщелоченных черноземов Алтайского Приобья: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Макарычев С. В. – Новосибирск: ИПА СО АН СССР, 1980. – 23 с. – Текст: непосредственный.

7. Болотов, А. Г. Электронный измеритель температуры почвы / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев, Ю. В. Беховых. – Текст: непосредственный // Проблемы природопользования на Алтае: сборник научных трудов молодых ученых. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2001. – С. 55-57.

8. Болотов, А. Г. Метод определения температуропроводности почвы / – Текст: непосредственный / А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 7 (129). – С. 74-79.

9. Шеин, Е. В. Моделирование теплового режима почвы по амплитуде температуры приземного воздуха / Е. В. Шеин, А. Г. Болотов, М. А. Мазиров, А. И. Мартынов. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2017. – № 7. – С. 26-28.

10. Трофимов, И. Т. Использование дефеката для известкования почв Западной Сибири / И. Т. Трофимов, С. В. Макарычев, А. Н. Иванов. – Текст: непосредственный // Плодородие. – 2006. – № 4 (31). – С. 15-16.

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

12. Bolotov A.G., Shein E.V., Makarychev S.V. (2019). Water retention capacity of soils in the Altai Region. *Eurasian Soil Sci.* 52 (2): 187-192.

References

1. Geyger R. *Klimat prizemnogo sloya vozdukh.* – Moskva: Izd-vo inostrannoy literatury, 1960. – 162 s.

2. Abaimov V.F. *Dendrologiya.* – Moskva: Izd. tsentr «Akademiya», 2009. – 363 s.

3. Kolesnikov A.I. *Dekorativnaya dendrologiya.* – Moskva, 1974. – 703 s.

4. Zinchenko S.I. *Pochvy i rasteniya / S.I. Zinchenko, M.A. Mazirov, M.K. Zinchenko // Ros. akad. s.-kh. nauk, Vladimir. NII sel. khoz-va RASKhN.* – Moskva, 2008. – 284 s.

5. Vadyunina A.F. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochvy / A.F. Vadyunina, Z.A. Korchagina.* – Moskva: Agropromizdat, 1986. – 416 s.

6. Makarychev S.V. *Teplofizicheskie svoystva vyshchelochennykh chernozemov Altayskogo Priobya: avtoreferat diss. ... kandidata biologicheskikh nauk.* – Novosibirsk: IPA SO AN SSSR, 1980. – 23 s.

7. Bolotov A.G. *Elektronnyy izmeritel temperatury pochvy / A.G. Bolotov, S.V. Makarychev, Yu.V. Bekhovyykh // Problemy prirodnopolzovaniya na Altae.* – Sb. nauch. tr. molodykh uchenyykh. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2001. – S. 55-57.

8. Bolotov A.G. *Metod opredeleniya temperatury i teploprovodnosti pochvy // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – 2015. – No. 7 (129). – S. 74-79.

9. Shein E.V. *Modelirovanie teplovogo rezhima pochvy po amplitude temperatury prizemnogo vozdukh / Shein E.V., Bolotov A.G., Mazirov M.A., Martynov A.I. // Zemledelie.* – 2017. – No. 7. – S. 26-28.

10. Trofimov I.T. *Ispolzovanie defekata dlya izvestkovaniya pochv Zapadnoy Sibiri / I.T. Trofimov, S.V. Makarychev, A.N. Ivanov // Plodorodie.* – 2006. – No. 4 (31). – S. 15-16.

11. Kaurichev I.S. *Pochvovedenie / I.S. Kaurichev, L.N. Aleksandrova, N.P. Panov i dr.* – Moskva: Kolos, 1982. – 496 s.

12. Bolotov A.G., Shein E.V., Makarychev S.V. (2019). Water retention capacity of soils in the Altai Region. *Eurasian Soil Sci.* 52 (2): 187-192.