

10. Makarova G.I. *Mноголетние кормовые травы Сибири*. Zapadno-Sibirskoe knizhnoe izd-vo, Omskoe otdelenie. – Omsk, 1974 – 248 s.

11. Smelov S.P. *Voprosy biologii nekotorykh zlakovykh trav v svyazi s prakticheskimi zadachami lugovodstva Pastbishcha i senokosy SSSR*. – Moskva: «Kolos», 1974. – S. 78-110.

12. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo: problemy i resheniia (k 80-letiiu Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta kormov imeni V.R. Vil'iamsa)*. – Moskva: FGNU «Rosinformagrotekh», 2002. – 524 s.



УДК 630.114:631.436:630 (571.150)
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-225-7-28-33

С.В. Макарычев
S.V. Makarychev

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ДЕНДРАРИЯ

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SOILS OF DIFFERENT GENESIS DURING GROWING SEASON IN THE ARBORETUM

Ключевые слова: серая лесная почва, дерново-подзолистая почва, дуб, ель, количество теплоты, влажность, объемная теплоемкость, тепло- и температуропроводность.

Процессы накопления и распространения тепловой энергии в почвенном профиле осуществляются под действием ряда природных явлений, таких как теплопередача, конвекция, или перемешивание газов, излучение более теплых частей почвы, а также фильтрация жидкой фазы. Любая растительная форма требует благоприятного теплофизического и водного режимов, которые обеспечивают течение всех биологических процессов. В то же время увлажнение почвы и ее теплофизические свойства определяются внешним атмосферным воздействием и внутренними условиями, которые зависят от гранулометрического состава и плотности сложения почвенного профиля. В то же время разнообразие древесных насаждений также влияет на формирование гидротермического режима почвы, иссушая ее, как серая лесная почва в дубраве, или сохраняя запас влаги, как дерново-подзолистая почва в ельнике. С одной стороны, корневая система деревьев забирает почвенную влагу посредством капиллярного подъема, которая расходуется на транспирацию, а с другой, затенение поверхности почвы древесными кронами препятствует физическому испарению, или десукции. Величины теплофизических коэффициентов в исследованных почвах разного гранулометрического состава оставались близкими по своим значениям в соответствии с формирующимися почвенно-физическими особенностями в течение теплого времени года, несмотря на разный механизм теплопередачи, обусловленный дисперсностью почвенных профилей. Если в суглинистом профиле преобладал кондуктивный теп-

лообмен через контакты между частицами твердой фазы, то в супесчаном приоритет оставался за термодиффузионной теплопроводностью.

Keywords: gray forest soil, soddy-podzolic soil, oak, spruce, heat amount, moisture content, volumetric thermal capacity, thermal conductivity, temperature diffusivity.

The processes of accumulation and distribution of thermal energy in the soil profile are carried out under the influence of a number of natural phenomena such as heat transfer, gas convection or mixing, radiation from warmer parts of the soil, and liquid phase filtration. Any plant form requires favorable thermophysical and water regimes which ensure the course of all biological processes. At the same time, soil moisture and its thermophysical properties are determined by external atmospheric action and internal conditions which depend on the particle-size composition and density of the soil profile. The diversity of tree plantations also affects the formation of the hydrothermal regime of the soil drying it out like gray forest soil in an oak forest, or retaining moisture reserves like soddy-podzolic soil in a spruce forest. On the one hand, the root system of trees takes away soil moisture through capillary rise, and this moisture is spent for transpiration, and on the other hand, shading the soil surface with tree crowns prevents physical evaporation or suction. The values of thermophysical coefficients in the studied soils of different particle-size composition remained close in their values in accordance with the emerging soil-physical features during the warm season despite the different mechanism of heat transfer due to the dispersion of soil profiles. In the loamy profile, conductive heat transfer through the contacts between the particles of the solid phase prevailed but in the sandy loamy profile, the priority remained for thermal diffusion thermal conductivity.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Makarychev1949@mail.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Makarychev1949@mail.ru.

Введение

Теплота, поступающая в почву за счет солнечного излучения, играет особую роль в жизни растений, в том числе и древесных пород, составляющих основную часть дендрария г. Барнаула. Процессы накопления и распространения тепловой энергии в почвенном профиле осуществляются под действием ряда природных явлений, таких как теплопередача, конвекция, или перемешивание газов, излучение более теплых частей почвы, а также фильтрация жидкой фазы [1]. Любая растительная форма требует благоприятного теплового и водного режима, который обеспечивают течение всех биологических процессов. Как известно, изучения таких почвенных характеристик, как теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность в Алтайском крае до 1975 г. не проводилось [2]. Исключение представляют наблюдения, проведенные Г.В. Васильченко [3], связанные со снежным покровом и его влиянием на плодовые культуры. Нужно отметить, что проводились также исследования температурного режима С.Н. Хабаровым [4] под облепиховыми насаждениями. В связи с этим нами была определена **цель** комплексного изучения теплофизического состояния почвенного профиля под различными древесными породами, такими как дуб черешчатый и ель Энгельмана.

Объекты и методы

Объекты исследований явились дерново-подзолистой почвы в еловых насаждениях и серые лесные в дубраве. Предмет изучения – тепловые свойства почвенного покрова и динамика их формирования в теплое время года. Объемная теплоемкость, тепло- и температуропроводность измерены импульсным методом плоского нагревателя с использованием расчетной методики С.В. Макарычева [5]. Относительная влажность – с помощью весового метода [6], а температура – электронным термометром [7].

Результаты исследований

Дуб черешчатый летний (*G. Robur*) представляет собой дерево чаще всего с шатровой кроной. Он имеет крепкие сучья и толстый ствол [8, 9], живет до 500 лет, достигая 40 м в высоту. У

дуба мощная, глубокая стержневая система корней, которая проникает на глубину более 5 м, что обеспечивает высокую ветроустойчивость.

Ель Энгельмана (*Picea engelmannii* (Parry) Engelm) – это дерево до 50 м в высоту с диаметром ствола 90 см. Крона конусовидная и густая. Ель морозоустойчива, хорошо противостоит ветру благодаря форме своей кроны. Весьма негативно относится к переувлажнению и уплотнению почвы. Ее используют для озеленения, в устройстве аллей, а также в ботанических садах и дендрариях.

Для характеристики теплофизического состояния под древесными насаждениями необходимо знание морфологических признаков исследуемых почвенных разностей, а также плотности сложения, гранулометрического состава и относительного увлажнения их генетических горизонтов [10]. Разрез профиля серой лесной почвы выполнен в дубовой роще. Почва относится к среднемошной легкосуглинистой разновидности. Лесная подстилка (0-2 см) представлена слаборазложившейся травяной растительностью и органическими образованиями бурокоричневого оттенка. Гумусово-аккумулятивный горизонт А (2-26 см) серого цвета, легкосуглинистый, уплотненный. Гумусово-подзолистый горизонт белесово-серого оттенка, легкосуглинистый, плотный, отмечен кремнезем. Иллювиальный горизонт В (53-97 см) светло-бурый, скорее среднесуглинистый, уплотнен, заметны потеки окиси железа. Почвообразующая порода (ниже 97 см) светло-бурая, легкий суглинок. Вскипания от соляной кислоты нет.

Профиль дерново-подзолистой почвы изучен на разрезе, расположенном на горизонтальном участке под насаждениями ели Энгельмана. Поверхность почвы покрыта хвойным опадом. Гумусовый горизонт А₁ (2-10 см) темно-серого цвета, супесчаный, плотный. Подзолистый горизонт А₁А₂ (10-25 см) светло-серый, супесчаный, плотный. Иллювиальный горизонт В (44-87 см) пестрой окраски представлен плотным песком с пятнами оксидов железа. Почвообразующая порода С (ниже 87 см) песчаная сизого цвета, карбонатов кальция нет.

Плотность серой лесной почвы высокая. Так, в гумусовом горизонте А₁ она равна 1,36 г/см³, в

иллювиальном – 1,68 г/см³. Влажность завядания (ВЗ) и наименьшая влагоемкость (НВ) по профилю составляют в среднем около 5 и 30% от массы сухой почвы соответственно. Профиль дерново-подзолистой почвы также сильно уплотнен как в верхнем горизонте (1,38 г/см³), так и в иллювиальном (1,59 г/см³), средние гидрологические константы равны 1,2 и 4,5%. Количество гумуса в верхнем слое серой лесной почвы достигает 5,2%, а в дерново-подзолистой – только 1,7%.

Наши исследования сводились к определению влажности и теплофизических коэффициентов (ТФК) почвенных разностей разного генезиса в течение теплого времени года. Для достижения поставленной цели были проведены комплексные исследования в течение 2014-2017 гг. как в лабораторных, так и в полевых условиях. В данной статье рассмотрены наиболее контрастные по степени увлажнения 2014 и 2016 гг. В таблице 1 представлены некоторые метеорологические данные за это время.

Таблица 1

Температура воздуха, почвы и количество осадков за 2014 и 2016 гг. согласно метеостанции НИИ садоводства Сибири

Показатели	Годы	Месяцы				
		май	июнь	июль	август	сентябрь
Т воздуха, °С	2014	8	18	21	19	10
	2016	12	20	21	18	15
Сумма температур, °С	2014	338	548	639	581	297
	2016	381	592	655	549	438
Т _{макс} поверхности почвы, °С	2014	36	53	53	49	31
	2016	38	53	42	39	34
Сумма жидких осадков, мм	2014	47	30	97	66	56
	2016	38	69	133	41	17

Анализ данных таблицы 1 показывает, что 2016 г. был теплее, чем 2014 г., особенно в мае и сентябре, судя по среднемесячным температурам воздуха, которые отличались на 48% в обоих случаях. В 2016 г. они оказались больше в июне и августе, но всего лишь на 1-2⁰С. Сумма средних температур воздуха в этом году также оказалась выше. Максимальная температура

оголенной поверхности почвы в годы исследований была высокой и достигала 53⁰С. Сумма месячных осадков в 2016 г. в июне-июле превышала 2014 год на 67 и 37% соответственно, но в остальные месяцы была ниже, особенно в августе-сентябре.

На рисунках 1 и 2 показаны результаты исследований летом 2014 г.

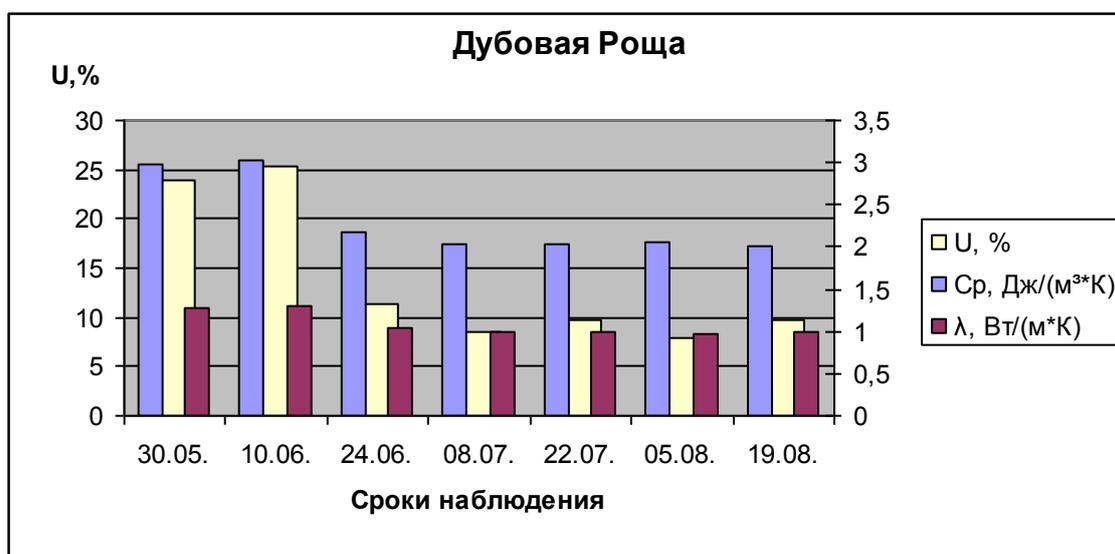


Рис. 1. Динамика влажности, теплоемкости и теплопроводности серой лесной почвы в течение вегетации 2014 г.

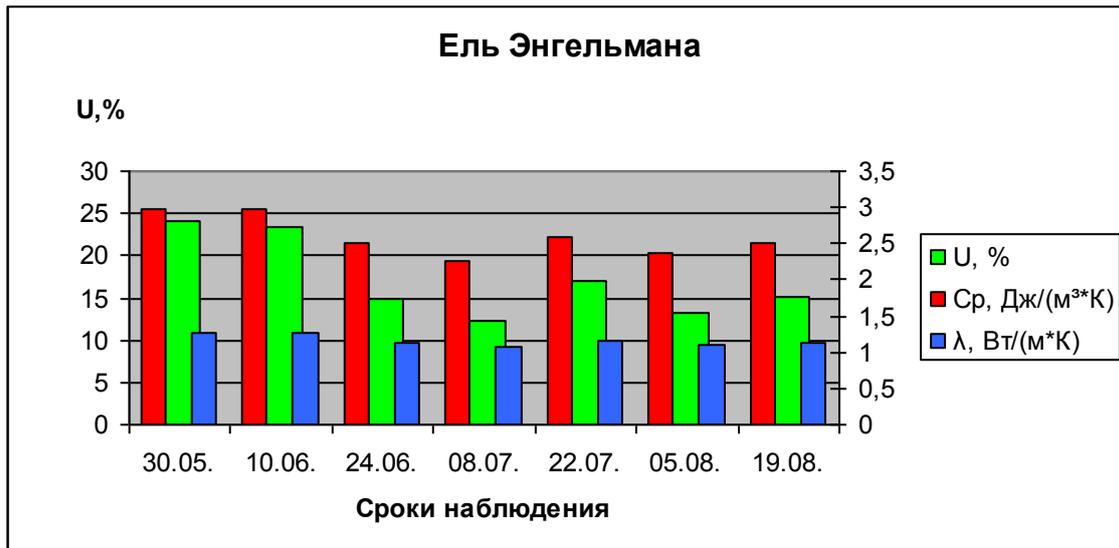


Рис. 2. Динамика влажности, теплоемкости и теплопроводности дерново-подзолистой почвы в течение вегетации 2014 г.

Данные рисунков 1 и 2 позволяют отметить, что в серой лесной почве под дубравой (рис. 1) относительное влагосодержание горизонта А с конца мая до середины июня оставалось в пределах влажности разрыва капиллярных связей (ВРК). С течением времени оно постепенно снижалось и к концу лета составило только 8-10% от массы сухой почвы, т.е. приблизилось к влажности завядания (ВЗ). В подстилающей породе в мае увлажнение не превышало 9%, а в августе упало до 2%, что соответствовало максимальной гигроскопичности (МГ). Учитывая, что корневая система дуба глубоко проникает в почвенную толщу, можно констатировать наличие дефицита почвенной влаги, которая не компенсировалась в отсутствие орошения.

В дерново-подзолистой почве в еловой роще (рис. 2) в начале вегетации количество влаги в профиле оказалось достаточно высоким (до 23% от массы). В начале июля влажность упала до 11%, но к концу августа возросла под влиянием дождей до 15%. Подстилающий почвенный слой в течение летних месяцев не испытывал дефицита влаги, поскольку влажность завядания составляла не более 3% от массы сухой почвы.

В результате коэффициент теплоаккумуляции гумусово-аккумулятивного горизонта серой лесной почвы в начале июня достиг максимума – $3,02 \times 10^6$ Дж/(м³ К). С течением времени в связи с иссушением почвенного профиля теплоаккумуляция постепенно уменьшалась в среднем до 30-35%. В подстилающей породе в связи с падением влагосодержания с мая по август теп-

лоемкость закономерно снижалась, несмотря на то, что ее абсолютные величины в отдельные сроки наблюдений были выше, чем в верхнем 20-сантиметровом слое. Аналогично изменялись коэффициенты теплоаккумуляции и теплопередачи исследованных горизонтов. В то же время коэффициент температуропроводности варьировал в пределах 14%.

Под еловыми насаждениями увлажнение в супесчаной дерново-подзолистой почве в течение всего вегетационного периода оставалось выше НВ в 2-3 раза по всем почвенном профиле. Следует отметить, что величины теплофизических коэффициентов в исследованных почвах разного гранулометрического состава оставались близкими по своим значениям в соответствии с формирующимися почвенно-физическими особенностями в течение теплого времени года, несмотря на разный механизм теплопередачи, обусловленный дисперсностью почвенных профилей. Если в суглинистом профиле преобладал кондуктивный теплообмен через контакты между частицами твердой фазы, то в супесчаном приоритет оставался за термодиффузионной теплопроводностью [6].

Наблюдения, проведенные в 2016 г., подтверждают полученные ранее результаты (рис. 3, 4).

Учитывая погодные условия лета 2016 г., нужно отметить, что в июне-июле выпало гораздо больше осадков, чем в 2014 г. (табл. 1). В июне разница составила 130%, в июле – 40%. Но в августе и сентябре их количество оказалось меньше на 60 и 230% соответственно. В

итоге это сказалось на величинах теплофизических коэффициентов (рис. 3, 4). В результате общая картина их динамики изменилась. Так, объемная теплоемкость и теплопроводность верхнего слоя серой лесной почвы (рис. 3) стали больше в июне-июле и меньше в конце лета и начале осени. Температуропроводность достигла максимума в конце вегетации, с 20 августа по 3 сентября она составляла $0,50 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Аналогичные изменения влажности и ТФК наблюдались в профиле дерново-подзолистой почвы (рис. 4). В середине лета коэффициент теплоаккумуляции C_p в верхнем 20-сантиметровом слое увеличился до $3,22 \times 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3\text{К})$, а к сентябрю снизился до $1,88 \times 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3\text{К})$. Теплопроводность в июне была равна $1,32 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, а затем

уменьшилась до $1,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Эти колебания составили для теплоемкости 70%, а для коэффициента теплопередачи – 30%. Температуропроводность варьировала в диапазоне 12%. В почвообразующей породе степень почвенного увлажнения в 2016 г. оказалась ниже, чем в 2014 г., поэтому теплофизические коэффициенты также изменились и стали меньше за исключением показателя скорости теплообмена, т.е. температуропроводности. Следует отметить также, что увлажнение исследованного супесчаного профиля соответствовало условиям активной диффузии молекул парообразной влаги через поровое пространство почвы, свободное от воды под действием градиентов температуры.

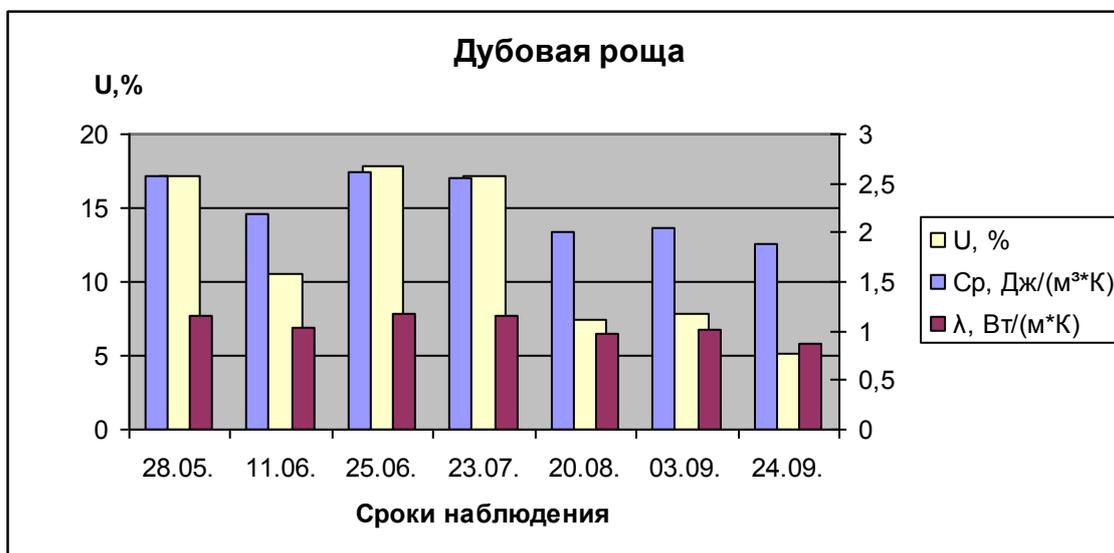


Рис. 3. Динамика влажности, теплоемкости и теплопроводности серой лесной почвы в течение вегетации 2016 г.

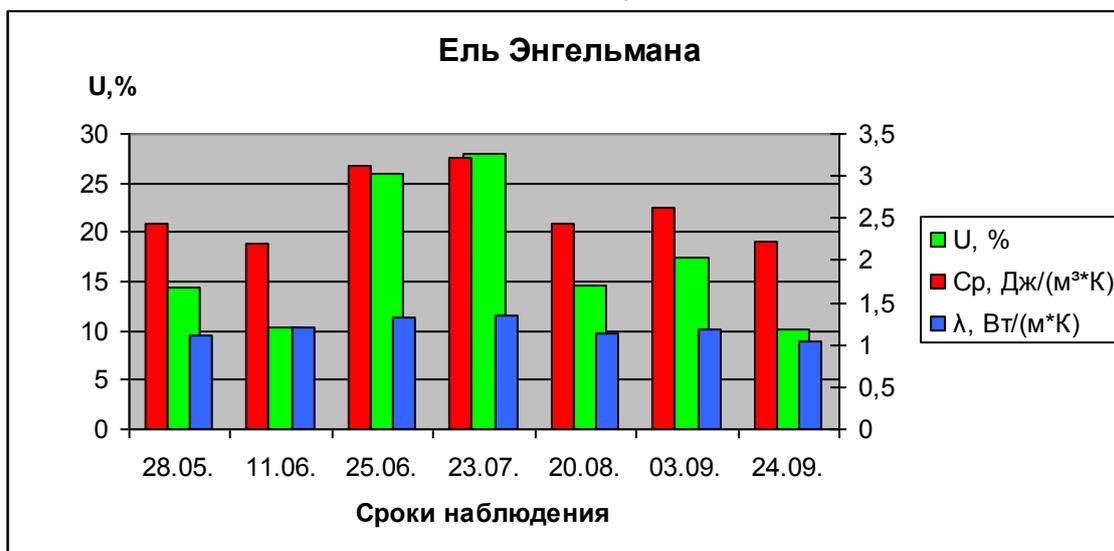


Рис. 4. Динамика влажности, теплоемкости и теплопроводности дерново-подзолистой почвы в течение вегетации 2016 г.

Заключение

Таким образом, увлажнение почвы и ее теплофизические свойства определялись внешним атмосферным воздействием и внутренними условиями, которые зависели от гранулометрического состава и плотности сложения почвенного профиля. В то же время разнообразие древесных насаждений также влияло на формирование гидротермического режима почвы, иссушая ее, как серая лесная почва в дубраве, или сохраняя запас влаги, как дерново-подзолистая почва в ельнике. С одной стороны, корневая система деревьев забирала почвенную влагу посредством капиллярного подъема, которая расходовалась на транспирацию, а с другой, затенение поверхности почвы древесными кронами препятствовало физическому испарению, или десукции. Таким образом, проведенный эксперимент позволил установить, что сезонное варьирование влагосодержания в почве в первую очередь формировало величину теплофизических свойств почвенного профиля. В то же время определенное воздействие на тепловое состояние почвы в течение вегетации оказывали особенности древесных насаждений, таких как дуб и ель.

Библиографический список

1. Воронин, А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А. Д. Воронин. – Москва: Изд-во МГУ, 1984. – 204 с. – Текст: непосредственный.
2. Теплофизические свойства и режимы черноземов Приобья / В. П. Панфилов, С. В. Макарычев [и др.]. – Новосибирск: Изд-во Наука СО, 1981. – 120 с. – Текст: непосредственный.
3. Васильченко, Г. В. Снежный покров и сад / Г. В. Васильченко. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. – 120 с. – Текст: непосредственный.
4. Хабаров, С. Н. Агроэкосистемы садов юга Западной Сибири / С. Н. Хабаров. – Новосибирск: Изд-во Наука СО, 1999. – 308 с. – Текст: непосредственный.
5. Макарычев, С. В. Теплофизические основы мелиорации почв / С. В. Макарычев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. – 279 с. – Текст: непосредственный.
6. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с. – Текст: непосредственный.
7. Болотов, А. Г. Электронный измеритель температуры почвы / А. Г. Болотов, Ю. В. Беховых, С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Проблемы природопользования на Алтае: сборник научных трудов. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2001. – С. 87-91.
8. Булыгин, Н. Е. Дендрология / Н. Е. Булыгин. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 280 с. – Текст: непосредственный.
9. Абаимов, В. Ф. Дендрология / В. Ф. Абаимов. – Москва: Академия, 2009. – 363 с. – Текст: непосредственный.
10. Gefke I.V. Морфология и физические свойства почв разного генезиса в условиях дендрария / И. В. Gefke, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (137). – С. 58-63.

References

1. Voronin A.D. Strukturno-funktsionalnaia gidrofizika pochv. – Moskva: Izd-vo MGU, 1984. – 204 s.
2. Panfilov V.P. Teplofizicheskie svoistva i rezhimy chernozemov Priobia / V.P. Panfilov, S.V. Makarychev i dr. – Novosibirsk: Izd-vo Nauka SO, 1981. – 120 s.
3. Vasilchenko G.V. Snezhnyi pokrov i sad. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. – 120 s.
4. Khabarov S.N. Agroekosistemy sadov iuga Zapadnoi Sibiri. – Novosibirsk: Izd-vo Nauka SO, 1999. – 308 s.
5. Makarychev S.V. Teplofizicheskie osnovy melioratsii pochv. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2005. – 279 s.
6. Vadiunina A.F. Metody issledovaniia fizicheskikh svoistv pochvy / A.F. Vadiunina, Z.A. Korchagina. – Moskva: Agropromizdat, 1986. – 416 s.
7. Bolotov A.G. Elektronnyi izmeritel temperatury pochvy. / A.G. Bolotov, Iu.V. Bekhovyykh, S.V. Makarychev // Problemy prirodopolzovaniia na Altae: sb. nauch. tr. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2001. – S. 87-91.
8. Bulygin N.E. Dendrologiia. – Moskva: Agropromizdat, 1985. – 280 s.
9. Abaimov V.F. Dendrologiia. – Moskva: Izd-vo «Akademii», 2009. – 363 s.
10. Gefke I.V. Morfologiia i fizicheskie svoistva pochv raznogo genезisa v usloviakh dendrariia / I.V. Gefke, L.V. Lebedeva // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 3 (137). – S. 58-63.