

3. Макарычев С.В., Болотов А.Г. Использование импульсного метода плоского нагревателя для определения теплофизических коэффициентов почвы. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – № 4. – С. 38-42.

4. Вадюнина А.В., Корчагина З.А. Методы определения физических свойств почв и грунтов. – М.: Высшая школа, 1961. – 345 с.

5. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. 1. – М.: Высшая школа, 1965. – 323 с.

6. Мазиров М.А., Макарычев С.В. Теплофизическая характеристика почвенного покрова Алтая и западного Тянь-Шаня. – Владимир: Изд-во Владимирского ГУ, 2002. – 447 с.

7. Панфилов В.П., Чащина Н.И. Особенности поведения влаги в супесчаных и суглинистых автоморфных почвах в связи с их порозностью // Известия СО Ан СССР. Биология. – 1975. – Вып. 1. – С. 3-7.

References

1. Chudnovskiy A.F. Teplofizika pochv. – М.: Gostekhizdat, 1976. – 352 s.

2. Makarychev S.V. Osobennosti teplofizicheskogo sostoyaniya pakhotnykh vyshchelochennykh chernozemov Priobya // Pochvovedenie. – 2007. – № 8. – S. 949-953.

3. Makarychev S.V., Bolotov A.G. Ispol-zovanie impulsnogo metoda ploskogo nagrevatelya dlya opredeleniya teplofizicheskikh koeffitsientov pochvy // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2003. – № 4. – S. 38-42.

4. Vadyunina A.V., Korchagina Z.A. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov. – М.: Vysshaya shkola, 1961. – 345 s.

5. Kachinskiy N.A. Fizika pochvy, ch. 1. – М.: Vysshaya shkola, 1965. – 323 s.

6. Mazirov M.A., Makarychev S.V. Teplofizicheskaya kharakteristika pochvennogo pokrova Altaya i zapadnogo Tyan-Shanya. – Vladimir: Izd-vo Vladimirskego GU, 2002. – 447 s.

7. Panfilov V.P., Chashchina N.I. Osobennosti povedeniya vlagi v supeschanykh i suglinistykh avtomorfnykh pochvakh v svyazi s ikh poroznostyu // Izvestiya SO AN SSSR. Biologiya. – 1975. – Vyp. 1. – S. 3-7.



УДК 631.671.1:634.13

А.Г. Болотов, И.В. Гефке, Е.П. Чугузов, Н.А. Гончаров
A.G. Bolotov, I.V. Gefke, Ye.P. Chuguzov, N.A. Goncharov

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ГРУШИ КАК ФУНКЦИИ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ

MODELING PRODUCTIVITY OF DIFFERENT PEAR VARIETIES AS FUNCTION OF ABIOTIC FACTORS UNDER THE CONDITIONS OF THE ALTAI REGION'S OB RIVER AREA

Ключевые слова: тепловой режим почвы, водный режим почвы, необходимость мелиораций, продуктивность груши.

В многолетних насаждениях груши проведена оценка теплового и водного режима чернозема выщелоченного в условиях Алтайского Приобья за 2012-2014 гг. Гранулометрический состав почвенных горизонтов чернозема достаточно однороден по всем фракциям и имеет среднесуглинистый, близкий к тяжелосуглинистому иловато-крупнопылеватый состав. Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает от 1 г/см³ в пахотном горизонте до 1,4 г/см³ в почвообразующей породе. Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте находится в пределах 5%, затем убывает до 1,9% в иллювиальном горизонте, а в переходном к почвообразующей породе составляет лишь 0,6%, что соответствует средним значениям по региону. С помощью модели продуктивности рассчитана относительная

продуктивность этой культуры, а также найдены оптимальные условия её произрастания. В качестве входных параметров использованы текущие, максимальные и оптимальные значения факторов, такие как влажность и температура почвы. При этом принималось допущение, что при экстремальных значениях данных факторов продуктивность плодовой культуры минимальна, а при оптимальных – максимальна. Исследования показали, что в условиях Алтайского Приобья груша наиболее чувствительна к недостатку влаги, где средняя продуктивность составляет 30% от максимально возможной. При увеличении продуктивных запасов в почве в 2,8 раза и температуры почвы в 1,2 раза продуктивность груши увеличивается до 65% от максимальной. Для получения максимально возможной продуктивности необходимо кроме увеличения изучаемых факторов уменьшить среднеквадратические отклонения от их средних значений до 10%.

Keywords: soil thermal regime, soil water regime, need for melioration, pear productivity.

The thermal and water regime of leached chernozem over the period from 2012 to 2014 was evaluated under the conditions of the Altai Region's Ob River area in perennial pear plantings. The particle-size composition of chernozem soil horizons is fairly homogeneous throughout all fractions, and it is medium-loamy, close to heavy-loamy silty-coarse-grained. The bulk density of chernozem gradually increases with depth from 1 g cm³ in the arable layer to 1.4 g cm³ in the parent rock. Humus content in the humus-accumulative horizon is within 5%, and then decreases to 1.9% in the illuvial horizon, and in the horizon transitional to the parent rock it makes 0.6% only 0.6%, which corresponds to the average values for the region. By using the productivity

model, the relative productivity of this crop has been calculated, and the optimal conditions for its growth have been found. The current, maximum and optimal values of the factors as soil moisture content and temperature were used as the input data. It was assumed that at extreme values of these factors the productivity of this fruit crop would be minimal, and at optimal values – maximum. The studies have shown that in the Altai Region's Ob River area the pear is most sensitive to moisture deficiency when its average productivity is 30% of the maximum possible. When productive soil moisture storage increases 2.8 times and soil temperature 1.2 times, pear productivity increases to 65% of the maximum possible. To obtain the maximum possible productivity, along with the increase of the studied factors, the root-mean-square deviations from their mean values should be reduced to 10%.

Болотов Андрей Геннадьевич, д.б.н., доцент, каф. метеорологии и климатологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА им К.А. Тимирязева. E-mail: agbolotov@gmail.com.

Гефке Ирина Валентиновна, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: ivgefke@mail.ru.

Чугузов Евгений Павлович, аспирант, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: chuguzov@mail.ru.

Гончаров Никита Александрович, к.с.-х.н., главный специалист отдела по строительству комитета по строительству, архитектуре и развитию города г. Барнаула, г. Барнаул, ул. Короленко, 65. E-mail: goncharovnikita@mail.ru

Bolotov Andrey Gennadyevich, Dr. Bio. Sci., Assoc. Prof., Chair of Meteorology and Climatology, Russian State Agricultural University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy. E-mail: agbolotov@gmail.com.

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

Chuguzov Yevgeniy Pavlovich, post-graduate student, Altai State Agricultural University. E-mail: chuguzov@mail.ru.

Goncharov Nikita Aleksandrovich, Cand. Agr. Sci., Chief Specialist, Committee on City Construction, Architecture and Development, Barnaul. E-mail: goncharovnikita@mail.ru.

Введение

Климатические условия определяют распространение плодовых культур по регионам. Груша – давно известное и самое распространенное после яблони плодовое дерево, род груша (*Pyrus L.*) относится к семейству розоцветных (*Rosaceae*). В Алтайском крае выращивают наиболее зимостойкие сорта – Тёма, Поля, Сибирячка, Внучка, Веселинка [1]. Известно, что требования растений группируются по трем основным факторам: водный, питательный и тепловой. Необходимость орошения плодовых культур может быть обоснована только при анализе одновременного воздействия температурных и водных условий почвы при оптимальном питательном режиме. Например, в условиях с достаточно низкими температурами, даже если вероятность необходимости орошения будет велика, эффекта от орошения не будет, т.к. продуктивность растений определяется лимитирующим фактором среды. Получение высоких урожаев груши в условиях Алтайского края в основном лимитировано водным и тепловым режимом. Груша тре-

бовательна к влаге, что особенно выражено в молодом возрасте, когда корневая система у нее еще слабо развита. Одним из способов решения данной проблемы является выявление и выведение более устойчивых к засухе сортов груши [2], но наряду с этим водные мелиорации остаются наиболее действенным фактором повышения продуктивности плодовых культур в условиях недостаточного увлажнения.

Целью исследований является моделирование продуктивности груши при обосновании оросительных мелиораций. Для достижения поставленной цели решали следующие **задачи**: экспериментальное измерение температуры и влажности почвы под грушей; оценка зависимости продуктивности груши от этих факторов – на основе моделирования; формирование основ регулирования гидротермического режима почвы под грушей в условиях Алтайского Приобья.

Объект и методы исследований

Объект исследований – чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный среднесуглинистый. Исследования были ор-

ганизованы в НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко на участках сортоиспытания. Опытные участки размещены на южной окраине города Барнаула, на высоком левом берегу реки Оби.

В течение вегетационных периодов 2012-2014 гг. были измерены температура и влажность чернозема выщелоченного под грушей посадки 1996 г. Изучение теплового режима почвы проведено с помощью полевого измерителя температуры, основанного на технологии 1-Wire с применением датчиков DS18B20 производства фирмы «Dallas Semiconductor-Maxim» [3, 4]. Полевая влажность определена термостатно-весовым способом [5].

Зависимость продуктивности растения от факторов внешней среды может быть представлена различными функциями [6]. Зависимость продуктивности растения от факторов внешней среды описана моделью [7]:

$$S = \left(\frac{\varphi}{\varphi_{opt}} \right)^{\gamma \varphi_{opt}} \left(\frac{\varphi_{max} - \varphi}{\varphi_{max} - \varphi_{opt}} \right)^{\gamma (\varphi_{max} - \varphi_{opt})} \quad (1)$$

где S – относительная продуктивность;

φ – текущее значение фактора;

φ_{max} – максимальное значение фактора;

φ_{opt} – оптимальное значение фактора;

γ – коэффициент саморегулирования растения.

Эти зависимости позволяют получить границы экологической ниши при разных уровнях S : в двухфакторном случае такая ниша может быть очерчена эллипсом, а в трехмерном – эллипсоидом. При рассмотрении в качестве переменных водного (W) и теплового (t) факторов зависимость можно представить в виде колоколообразной фигуры. Она построена на следующих осях: аппликата – степень оптимальности, выраженная через относительную продуктивность; абсцисса – водный фактор (продуктивные влагозапасы в почве); ордината – тепловой фактор (температура почвы).

Результаты и обсуждение

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемогучный малогумусный среднесуглинистый. Гранулометрический состав почвенных горизонтов чернозема достаточно однороден по всем фракциям и имеет среднесуглинистый, близкий к тяжелосуглинистому иловато-крупнопылеватый состав. Почвообразующая порода несколько отличается от других почвенных гори-

зонтов и относится к тяжелосуглинистой по гранулометрическому составу, в основном за счет меньшего содержания фракции мелкого песка и повышенного – мелкой пыли. Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает от 1 г/см³ в пахотном горизонте до 1,4 г/см³ в почвообразующей породе. Содержание гумуса по профилю убывает от 5%, затем убывает до 1,9% в иллювиальном горизонте, а в переходном к почвообразующей породе составляет лишь 0,6% [8], что соответствует средним значениям по региону [9, 10].

Рассмотрим зависимость средней продуктивности груши в условиях сада при изменении температуры и влажности чернозема выщелоченного (рис. 1). Результаты представлены в трехмерном виде доступных влагозапасов в слое 0-100 см и температуры почвы на глубине 20 см.

На рисунке 1 видно, что средняя продуктивность груши в естественных условиях Алтайского Приобья составляет 20-30% от максимальной возможной. При увеличении продуктивных запасов в почве в 2,8 раза и температуры почвы в 1,2 раза продуктивность груши увеличится до 65% от максимальной, при этом также использован не весь потенциал возможной продуктивности. На рисунке видно, что диапазон регулирования гидротермического режима под грушей достаточно высок. Поэтому нами был продолжен поиск путей возможного увеличения продуктивности данной культуры. Известно, что на величину продуктивности влияют не только средние значения параметров, но и их среднеквадратические отклонения от среднего, что связано с дополнительными энергозатратами растения на поддержание своей жизнедеятельности в неустойчивых условиях внешней среды. Для этого было проведено дополнительное вычислительное моделирование продуктивности груши при изменении среднеквадратических отклонений продуктивных влагозапасов и температур почвы.

Регулирование влажности почвы искусственным способом подразумевает поддержание оптимальных влагозапасов воды (W_{opt}) в некотором диапазоне увлажнения. При использовании современных систем капельного полива или внутрпочвенного орошения в условиях плодового сада технически достижимо поддерживать влагосодержание почвы в диапазоне легкодоступной влаги, что способствует максимальному развитию культуры при оптимальном тепловом и пищевом режимах почвы. Для чернозема выщелоченного Алтайского

Приобья вариабельность влагозапасов в диапазоне легкодоступной влаги относительно W_{opt} составляет $\pm 20\%$. Уменьшение среднеквадратичного отклонения колебания влажности почвы (δ_w) относительно W_{opt} при регулировании водного режима позволит повысить урожайность культуры, т.к. растение будет подвержено водному стрессу в меньшей мере, чем при значительных величинах δ_w . В предельном слу-

чае при $\delta_w \rightarrow 0$ продуктивность максимальна. Исследуем изменение относительной продуктивности груши в условиях Алтайского Приобья при $\delta_w = \delta_t = \pm 20\%$ от W_{opt} и t_{opt} (рис. 2). Это позволит выработать практические рекомендации регулирования гидротермического режима под плодовыми насаждениями в данной почвенно-климатической зоне.

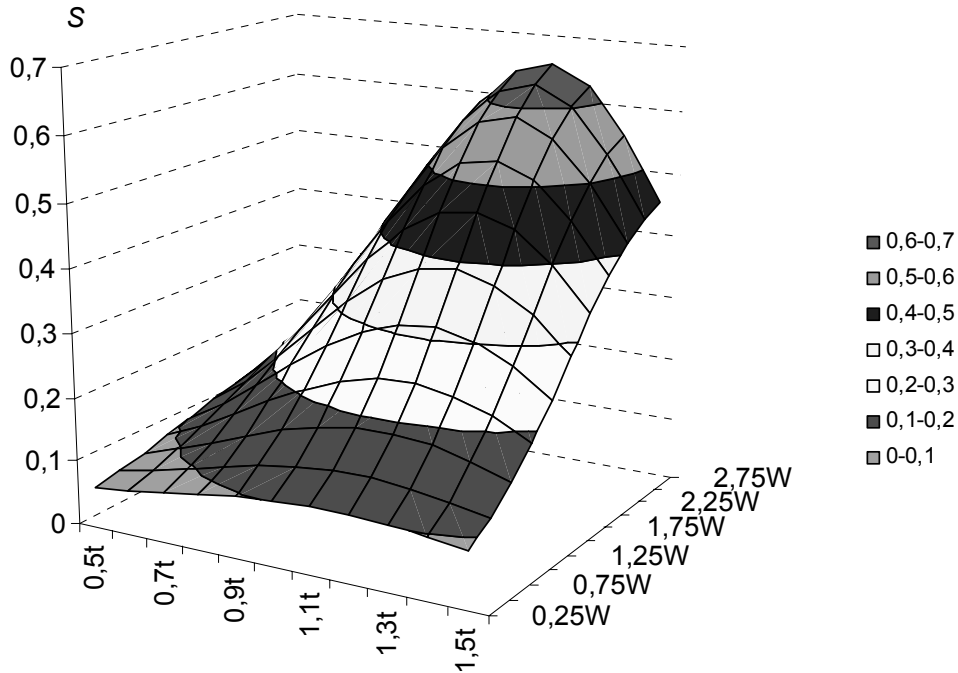


Рис. 1. Зависимость средней продуктивности груши при изменении температуры и влажности почвы

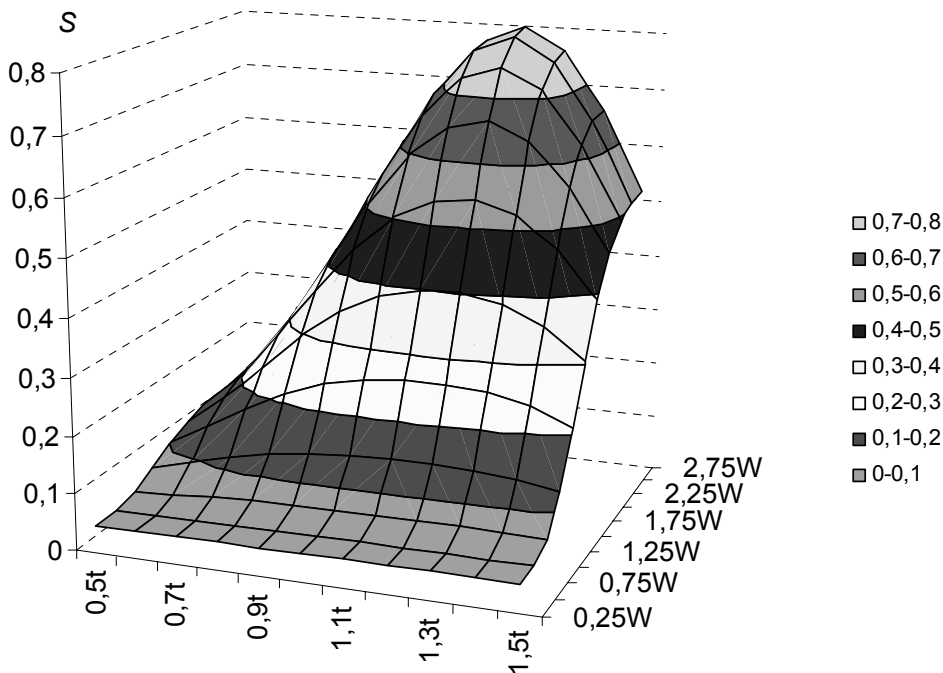


Рис. 2. Зависимость средней продуктивности груши при изменении температуры и влажности почвы, $\delta_w = 0,2W_{opt}$, $\delta_t = 0,2t_{opt}$

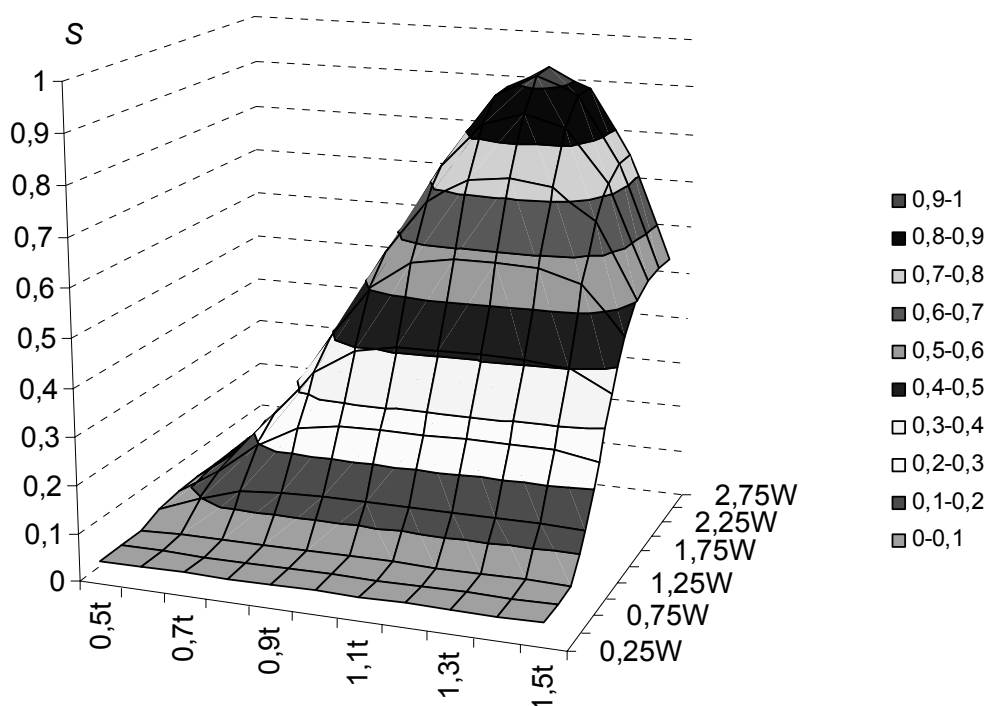


Рис. 3. Зависимость средней продуктивности груши при изменении температуры и влажности почвы, $\delta_W = 0,1W_{opt}$, $\delta_t = 0,1t_{opt}$

Анализируя рисунок 2, можно сделать вывод, что при уменьшении δ_W и δ_t от величин, полученных для естественных условий до значений $\delta_W = 0,2W_{opt}$, $\delta_t = 0,2t_{opt}$ при условии применения средних факторов среды (почвы), найденных выше ($2,75 \cdot W_{opt}$, $1,2 \cdot t_{opt}$), средняя продуктивность плодовых насаждений увеличивается до 80% от максимально возможной урожайности. При этом для данного варианта гидротермического режима чувствительность продуктивности культуры к изменению продуктивных влагозапасов и температур почвы уменьшилась в области низких значений продуктивности. Для достижения максимальной продуктивности среднеквадратическое отклонение от средних значений изучаемых факторов было уменьшено до 10%. Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

При уменьшении δ_W и δ_t до значений $\delta_W = 0,1W_{opt}$, $\delta_t = 0,1t_{opt}$ при условии применения средних факторов среды (почвы), найденных выше ($2,75 \cdot W_{opt}$, $1,2 \cdot t_{opt}$), средняя продуктивность груши может достигать 90% от максимально возможной урожайности, что можно считать приемлемым при регулируемом практически реализуемом отклонении гидротермического режима от оптимальных факторов среды. Также можно отметить, что дальнейшее уменьшение

δ привело к еще большему уменьшению чувствительности продуктивности культур к изменению продуктивных влагозапасов и температур почвы в области низких значений продуктивности, что связано с увеличением крутизны «купола продуктивности».

Выводы

В условиях Алтайского Приобья груша наиболее чувствительна к недостатку влаги, где средняя продуктивность составляет 30% от максимально возможной. При увеличении продуктивных запасов в почве в 2,8 раза и температуры почвы в 1,2 раза продуктивность груши увеличится до 65% от максимальной. Для получения максимально возможной продуктивности необходимо кроме увеличения изучаемых факторов уменьшить среднеквадратические отклонения от их средних значений до 10%.

Библиографический список

1. Витковский В.Л. Плодовые растения мира. – СПб.: Лань, 2003. – 592 с.
2. Можар Н.В., Заремук Р.Ш. Оценка адаптивности перспективных сортов груши в условиях Краснодарского края // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 9. – С. 59-61.
3. Болотов А.Г. Измерение температуры почвы с помощью технологии 1-Wire // Вестник Алтайского государственного аг-

рарного университета. – Барнаул, 2012. – № 11. – С. 29-30.

4. Макарычев С.В., Беховых Ю.В., Болотов А.Г. Система термостатирования для исследования теплофизических свойств почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6. – С. 23-27.

5. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

6. Шейн Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении: учебник. – М.: Изд-во ИП Маракушев А.Б., 2016. – 377 с.

7. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций. – М.: Гидрометеоздат, 1973. – 128 с.

8. Макарычев С.В., Гейке И.В., Шишкин А.В. Теплофизическое состояние черноземов плодовых садов Алтайского Приобья. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 192 с.

9. Болотов А.Г., Дубский С.Н., Шаталов Александр Н., Шаталов Алексей Н., Бутырин И.Н., Кузнецов Е.Н., Гончаров И.А., Гончаров Н.А. Моделирование основной гидрофизической характеристики черноземов Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 31-35.

10. Макарычев С.В. Особенности теплофизического состояния пахотных выщелоченных черноземов Приобья // Почвоведение. – 2007. – № 8. – С. 949-953.

References

1. Vitkovskiy V.L. Plodovye rasteniya mira. – SPb.: Lan, 2003. – 592 s.

2. Mozhar N.V., Zaremuk R.Sh. Otsenka adaptivnosti perspektivnykh sortov grushi v

usloviyakh Krasnodarskogo kraya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2016. – № 9. – С. 59-61.

3. Bolotov A.G. Izmerenie temperatury pochvy s pomoshchyu tekhnologii 1-Wire // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – № 11. – С. 29-30.

4. Makarychev S.V., Bekhovykh Yu.V., Bolotov A.G. Sistema termostatirovaniya dlya issledovaniya teplofizicheskikh svoystv pochv // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 6. – С. 23-27.

5. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. – М.: Agropromizdat, 1986. – 416 с.

6. Shein E.V., Ryzhova I.M. Matematicheskoe modelirovanie v pochvovedenii: uchebnyk. – М.: Izd-vo IP Marakushev A.B., 2016. – 377 с.

7. Shabanov V.V. Bioklimaticheskoe obosnovanie melioratsiy. – М.: Gidrometeoizdat, 1973. – 128 с.

8. Makarychev S.V., Gefke I.V., Shishkin A.V. Teplofizicheskoe sostoyanie chernozemov plodovykh sadov Altayskogo Priobya. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2008. – 192 с.

9. Bolotov A.G., Dubskiy S.N., Shatalov Aleksandr N., Shatalov Aleksey N., Butyrin I.N., Kuznetsov E.N., Goncharov I.A., Goncharov N.A. Modelirovanie osnovnoy gidrofizicheskoy kharakteristiki chernozemov Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 2. – С. 31-35.

10. Makarychev S.V. Osobennosti teplofizicheskogo sostoyaniya pakhotnykh vyshchelochennykh chernozemov Priobya // Pochvovedenie. – 2007. – № 8. – С. 949-953.

