

predvaritel'noy podgotovkoy na delitel'nom reshete: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Novosibirsk, 1989. – 18 s.

7. Grain and Seed Cleaning Equipment Market Report 2017. Global Industry Analysis, Trends and Market Overview. BIS Report Consulting.

8. Lekanov, S.V. Tekhnika i tekhnologii dlya posleuborochnoy obrabotki zerna i semyan: rekomendatsii / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov. – Barnaul: Izd-vo Alt. IPK APK, 2019. – 74 s.

9. Lekanov, S.V. Perspektivy posleuborochnoy ochildki zerna i semyan / Lekanov S.V., Strikunov N.I., Cherkashin S.A. // Aktual'nye agrosistemy. – 2019. – No. 1-2. – S. 26-28.

10. Tarasov, B.T. Issledovanie protsessa separatsii zerna po dline vertikal'nymi tsilindricheskimi reshetami pri orientatsii zeren v aktivnom sloe: diss. ... kand. tekhn. nauk. – Barnaul, 1970. – 164 s.



УДК 644.8:658.562.5

Д.М. Счисленко, А.В. Бастрон
D.M. Schislenko, A.V. Bastron

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИК-СУШКИ ПЛОДОВ РЯБИНЫ ЧЕРНОПЛОДНОЙ ПУТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

INCREASING THE EFFECTIVENESS OF INFRARED DRYING OF BLACK CHOKEBERRY FRUITS BY THE STUDY OF THEIR SPECTRAL CHARACTERISTICS

Ключевые слова: ИК-Фурье спектрометр, спектральная чувствительность, интерферограмма, ИК-сушка, пленочный электронагреватель (ПЛЭН), плоды рябины черноплодной, сушилка.

Наиболее эффективный способ переработки плодов рябины черноплодной – сушка. Проведены исследования поглощающей способности плодов рябины черноплодной в инфракрасном (ИК) спектре, которые показали, что оптимальной областью инфракрасного излучения для сушки плодов рябины черноплодной является диапазон длин волн 9,1-9,8 мкм. Подтверждена гипотеза, что в разработанных в Красноярском ГАУ установках для сушки плодов ягодных культур с использованием солнечной энергии, в частности, при сушке плодов рябины черноплодной, целесообразно использование пленочных электронагревателей (ПЛЭН) с температурой нагрева поверхности 35-50°C в сочетании с адсорберами.

Keywords: Fourier-transform spectrometer, spectral sensitivity, interferogram, infrared drying, membranous electric heater, black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) fruits, dryer.

The most effective way to process black chokeberry fruits is their drying. The studies of the absorbing ability of black chokeberry fruits in the infrared spectrum showed that the optimal area of infrared radiation for drying black chokeberry fruits is the wavelength range of 9.1-9.8 μm. The hypothesis is confirmed that in the drying plants developed in the Krasnoyarsk State Agricultural University for drying black chokeberry fruits using solar energy it is advisable to use membranous electric heater with a surface heating temperature of 35-50°C in combination with adsorbers.

Счисленко Дмитрий Михайлович, аспирант, каф. электроснабжения сельского хозяйства, Красноярский государственный аграрный университет. E-mail: abastron@yandex.ru.

Schislenko Dmitriy Mikhaylovich, post-graduate student, Krasnoyarsk State Agricultural University. E-mail: abastron@yandex.ru.

Бастрон Андрей Владимирович, к.т.н., доцент, зав. каф. электроснабжения сельского хозяйства, Красноярский государственный аграрный университет. E-mail: abastron@yandex.ru.

Bastron Andrey Vladimirovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Agricultural Power Supply, Krasnoyarsk State Agricultural University. E-mail: abastron@yandex.ru.

Введение

На территории Российской Федерации, а особенно в Сибири, произрастает огромное количество дикорастущих и культурных плодово-ягодных культур, обладающих высоко-содержащимися витаминно-минеральными комплексами, в том числе рябина черноплодная (*Aroniamelanocarpa*): дикорастущая и садовая [1].

В настоящее время используются различные способы переработки и хранения плодов ягодных культур, в том числе и плодов черноплодной рябины: хранение в плодохранилищах, заморозка, консервирование, сушка и т.д.

Наиболее эффективный способ переработки плодов черноплодной рябины – сушка, после использования которого высушенные плоды не теряют длительное время витамины и другие полезные вещества.

Более 70% плодов рябины черноплодной используют в качестве фармацевтического сырья для приготовления различных лекарств, для этого ее в основном высушивают. Огромные потери готовой продукции, которая не была вовремя высушена, или высушена не должным образом, приносят большой экономический ущерб для производителей указанной продукции.

Известные установки [2-5] имеют температуру ИК-излучателей от 30° до 300°С и даже выше.

В Красноярском ГАУ разработаны и изготовлены оригинальные конструкции установок [6-11], для которых необходимо обосновать рациональные режимы работы.

Приоритетной **целью** работы является исследование спектрального анализа пропускающей и поглощающей способности

ИК-излучений плодов черноплодной рябины. Результаты исследований необходимо учесть при разработке новых энергоэффективных конструкций сушилок.

Экспериментальными исследованиями, проведенными д.т.н. В.М. Поповым, к.т.н. В.А. Афонькиной (ЮУрГАУ, г. Челябинск) [4, 13, 14] и другими учеными [15], было доказано, что при применении ИК-излучения для сушки термолабильного сырья на поверхности достигается равномерное распределение теплового потока от источника тепловой энергии. Для пищевых продуктов глубина проникновения инфракрасных лучей составляет 6-12 мм, и процесс испарения в этом случае может успешно осуществляться при температурах в диапазоне 30-60°С [4, 13, 14].

Главной задачей проектирования новых конструкций сушильных установок является определение взаимности характеристик пары «источник излучения – сырье». Важно принимать во внимание не только технические характеристики источников излучения, но также спектральную чувствительность сырья, это позволит эффективно управлять процессом ИК-сушки. Это позволит регулировать процесс сушки на каждом этапе, а также поможет эффективно подобрать тип излучателя, сокращая долю отразившихся и прошедших сквозь сырье лучей инфракрасного излучения, позволяя сократить время сушки, снизить затраты, повысить КПД установки и уменьшить сроки окупаемости [12, 13].

В связи с этим перед нами встала **научная задача** – провести исследование по спектральному поглощению ИК-излучения плодов рябины черноплодной.

Материалы и методы исследований

Продукты растительного происхождения обладают четко выраженной селективностью к поглощению ИК-излучения в различных областях спектра [8]. Для измерения под микроскопом спектров пропускания и поглощения ИК-излучений можно использовать жидкие суспензии, твёрдые вещества, а также порошки и пленки. Для определения спектрального анализа образцов минимальный их диаметр может колебаться от 30 до 20 мкм.

Для проведения спектрального анализа были взяты образцы высушенной рябины черноплодной, из которых для проведения эксперимента получили экстракт и отсняли спектр инфракрасного поглощения в приборе Vertex – 70.

Результаты исследований

С помощью исследовательского ИК-Фурье спектрометра Vertex 70 были получены данные по поглотительной и отражательной способности в области спектра ИК-излучения для плодов рябины черноплодной с начальной влажностью 74%. Однако для определения длины волны излучения данные графики не очень удобны, по-

этому, используя формулу соотношения длины волны с волновым числом, интерферограммы были преобразованы в зависимость коэффициента пропускания от длины волны (рис. 1) [15]:

$$\nu = \frac{10^4}{\lambda}, \quad (1)$$

где ν – волновое число (см^{-1});

λ – длина волны (мкм).

Из рисунка 1 следует, что при длине волн в диапазоне от 9,1 до 9,8 мкм достигается минимальный коэффициент пропускания, т.е. энергия ИК-излучения максимально расходуется в первую очередь на нагрев воды, содержащейся в плодах рябины черноплодной, что не противоречит спектральной характеристике воды, представленной в [14].

По закону прямого смещения Вина, для известного диапазона длин волн, можно рассчитать соответствующий диапазон температур поверхности излучателя [14]:

$$\lambda_{\max} = \frac{2896}{T}, \quad (2)$$

где λ_{\max} – длина волны, мкм;

T – температура на поверхности источника излучения, К.

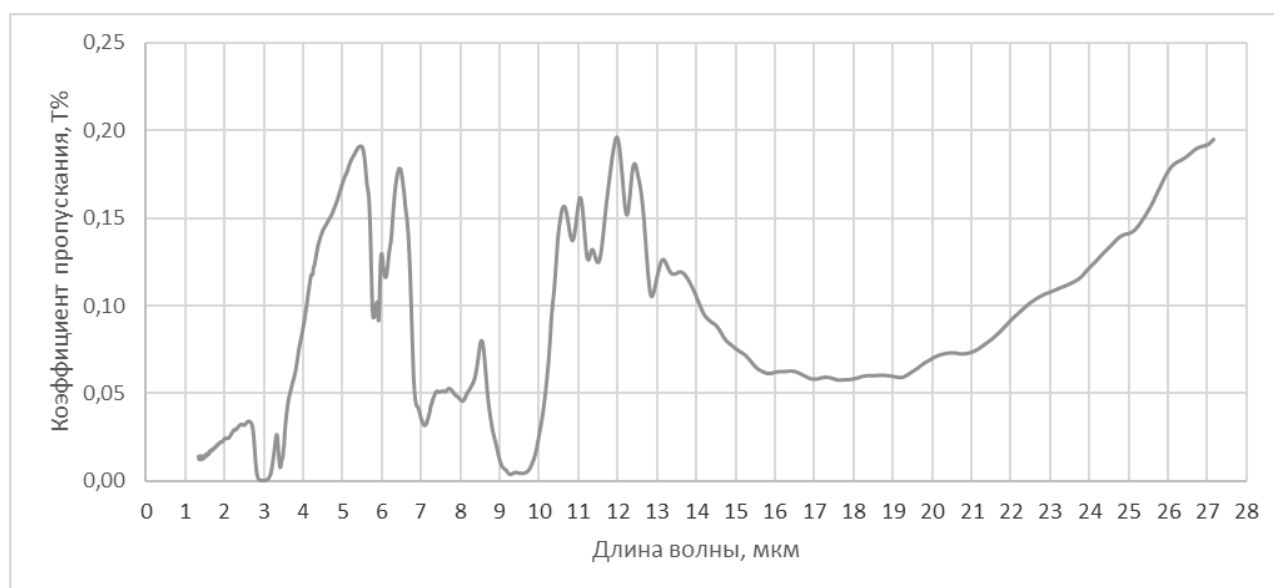


Рис. 1. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны

Диапазон температур поверхности излучателя, с точки зрения энергоэффективных режимов ИК-сушки плодов рябины черноплодной, составит от 22,5 до 45,2°C. Однако интенсивность ИК-сушки будет выше при температурах, близких к 45°C, при этом качество высушиваемых плодов рябины черноплодной не пострадает.

Следовательно, как было установлено исследованиями, проведенными нами ранее [9, 10], в качестве нагревательных элементов в указанных установках целесообразно использование пленочных электронагревателей конструкции ЮУрГАУ (г. Челябинск) [13, 14], а также выпускаемых другими производителями России, Кореи, Китая и других стран [16] с температурой 35-50°C. Из приведенных на рисунке 2 зависимостей спектральной плотности потока излучения от длины волны при различной температуре излучающей поверхности [16] следует, что в

указанном выше диапазоне температур излучающей поверхности как раз и достигается максимальная плотность потока ИК-излучения, которая необходима для эффективной сушки плодов рябины черноплодной.

Сравнительная характеристика материалов, применяемых при конструировании мобильных гелиосушительных установок для сушки плодов ягодных культур [8], и проведенные эксперименты по сушке плодов черноплодной рябины [9, 10] показали, что интенсивность солнечной радиации в период созревания плодов черноплодной рябины [12] при применении селективных материалов, используемых при изготовлении плоских солнечных коллекторов в сочетании в технологией их нанесения на соответствующую подложку, обеспечивает требуемый температурный диапазон ИК-нагревателя с температурой поверхности 35-50°C.

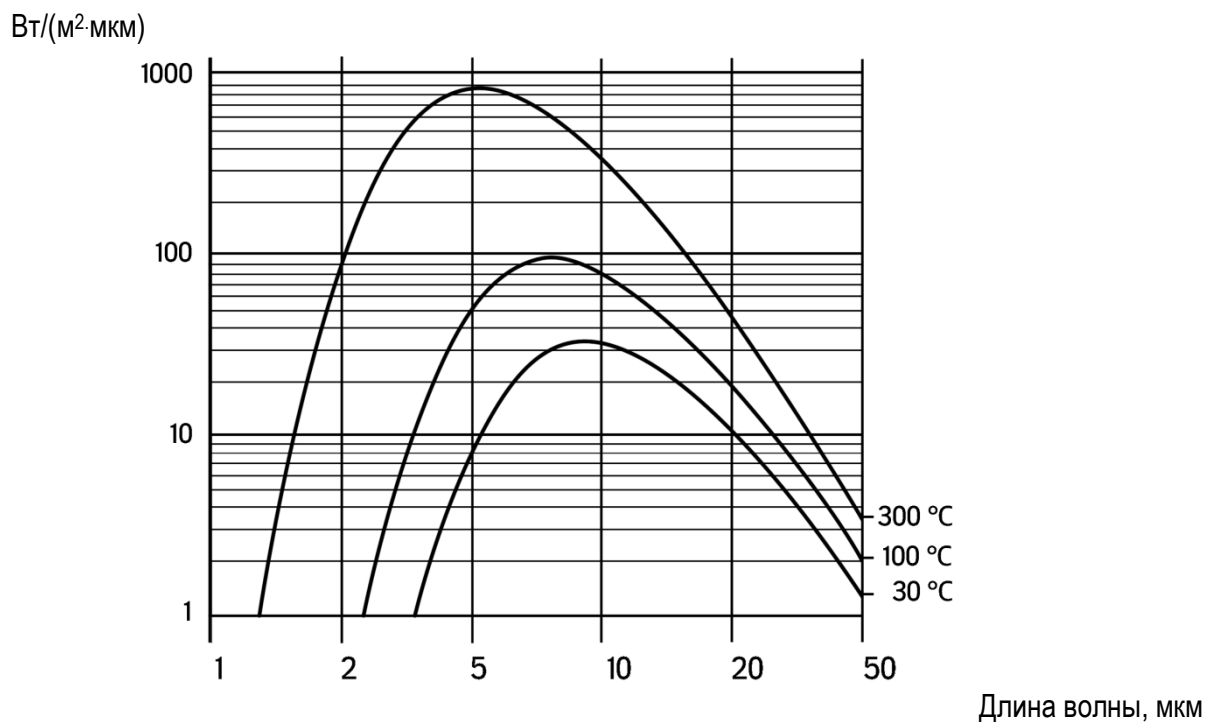


Рис. 2. Зависимости спектральной плотности потока излучения от длины волны при различной температуре излучающей поверхности [16]

Выводы

1. Оптимальной областью инфракрасного излучения для плодов черноплодной рябины является диапазон длин волн 9,1-9,8 мкм, при этом температура в данном диапазоне ИК-излучения изменяется от 22,5 до 45,2°C.

2. Подтверждена гипотеза, что в разработанных нами установках целесообразно использование пленочных электронагревателей нагревателей с температурой нагрева поверхности 35-50°C в сочетании с адсорберами, преобразующими солнечную радиацию в ИК-излучение того же температурного диапазона.

Библиографический список

1. Рябина обыкновенная / ЗЕЛЕНАЯ РОССИЯ. – URL: http://www.greenrussia.ru/sedob_rastenia.php?url=riabina (дата обращения: 19.01.2020 г.). – Текст: электронный.

2. Алтухов, И. В. Экспериментальная ИК-установка для сушки плодов и овощей / И. В. Алтухов, В. Д. Очиров, В. А. Федотов. – Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 81-2. – С. 90-96.

3. Очиров, В. Д. Обоснование режимов ИК-энергоподвода в технологии сушки корнеплодов моркови импульсными керамическими преобразователями излучения: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Очиров В. Д.. – Красноярск, 2011. – 189 с. – Текст: непосредственный.

4. Афонькина, В. А. Инфракрасная сушка термолабильного сырья на примере зеленых культур: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Афонькина, В. А. – Челябинск, 2014. – 158 с.

5. Патент 2435119 Российская Федерация, МПК F26B9/06, F26B3/28. Дефлектор-

ная сушилка на солнечных батареях / Тышкевич Е. В.; заявитель и патентообладатель ГНУ Костромской научно-исследовательский институт сельского хозяйства РАСХН. – № 2009124014/06, заявл. 23.06.2009.; опубл. 27.11.2011, Бюл. № 33. – 7 с. – Текст: непосредственный.

6. Патент 2615616 Российская Федерация, МПК F26B3/28. Установка для сушки плодов ягодных культур с использованием солнечной энергии / Бастрон А. В., Счисленко Д. М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – № 2016112823; заявл. 04.04.2016.; опубл. 05.04.2017, Бюл. № 10. – 10 с. – Текст: непосредственный.

7. Патент 2615617 Российская Федерация, МПК F26B3/28. Установка для сушки плодов ягодных культур с использованием солнечной энергии / Бастрон А. В., Счисленко Д. М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – № 2016112823; заявл. 04.04.2016.; опубл. 05.04.2017, Бюл. № 10. – 10 с. – Текст: непосредственный.

8. Счисленко, Д. М. Сравнительная характеристика материалов, применяемых при конструировании мобильных гелиосушительных установок для сушки плодов ягодных культур / Д. М. Счисленко, А. В. Бастрон. – Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. – 2016. – № 75. – С. 138-149.

9. Счисленко, Д. М. Сушилки для плодов рябины, с применением солнечной энергии / Д. М. Счисленко, А. В. Бастрон. – Текст: непосредственный // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы VII Международной научно-практи-

ческой конференции молодых ученых. – 2015. – С. 165-167.

10. Счисленко, Д. М. Изменение влажности плодов ягодных культур при сушке в мобильной гелиосушильной установке / Д. М. Счисленко. – Текст: непосредственный // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы X Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ. – Красноярск: Красноярский ГАУ, 2017. – С. 134-136.

11. Счисленко, Д. М. Исследование интенсивности солнечной радиации для эффективного использования солнечной энергии в мобильных гелиосушильных установках плодов ягодных культур / Д. М. Счисленко, А. В. Бастрон. – Текст: непосредственный // Сельский механизатор. – 2017. – № 4. – С. 10-11.

12. Алтухов, И. В. Оптические свойства сельскохозяйственных продуктов растительного и животного происхождения / И. В. Алтухов, В. Д. Очиров. – Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 37. – С. 43-49.

13. Попов, В. М. Использование пленочных электронагревателей (ПЛЭН) в технологическом процессе сушки растительного и дикорастущего сырья / В. М. Попов, В. А. Афонькина. – Текст: непосредственный // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 12 (63). – С. 217-219.

14. Попов, В. М. Исследование и согласование оптических свойств ИК-излучателей и спектральных характеристик яичного сырья / В. М. Попов, В. А. Афонькина, В. Н. Левинский. – Текст: непосредственный // АПК России. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 558-562.

15. Авраменко, В. Н. Инфракрасные спектры пищевых продуктов: справочное пособие / В. Н. Авраменко, М. П. Есельсон, А. А. Заика; под общей редакцией профессора, доктора технических наук В. Д. Попова. – Москва: Пищ. пром-сть, 1974. – 175 с. – Текст: непосредственный.

16. Бастрон, А. В. Энергоэффективные системы инфракрасного электрообогрева сельских жилых домов и общественных зданий / А. В. Бастрон, Т. Н. Бастрон. – Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. – 2016. – № 72. – С. 117-126.

References

1. Ryabina obyknovennaya / Zelenaya Rossiya. – URL: http://www.greenrussia.ru/sedob_rastenia.php?url=riabina (data obrashcheniya: 19.01.2020 g.).

2. Altukhov I.V. Eksperimentalnaya IK-ustanovka dlya sushki plodov i ovoshchey / I.V. Altukhov, V.D. Ochirov, V.A. Fedotov // Vestnik IrGSKhA. – 2017. – No. 81-2. – S. 90-96.

3. Ochirov V.D. Obosnovanie rezhimov IK-energopodvoda v tekhnologii sushki korneplodov morkovi impulsnymi keramicheskimi preobrazovatelayami izlucheniya: dissertatsiya ... kand. tekhn. nauk. – Krasnoyarsk, 2011. – 189 s.

4. Afonkina V.A. Infrakrasnaya sushka termolabilnogo syrya na primere zelenykh kultur: dissertatsiya ... kand. tekhn. nauk. – Chelyabinsk, 2014. – 158 s.

5. Patent 2435119 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F26V9/06, F26V3/28. Deflektornaya sushilka na solnechnykh batareyakh / E.V. Tyshkevich; zayavitel i patentoobladatel GNU Kostromskoy nauchno-issledovatel'skiy institut selskogo khozyaystva RASKhN. –

No. 2009124014/06, заявл. 23.06.2009.;
opubl. 27.11.2011, Byul. No. 33. – 7 s.

6. Patent 2615616 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F26V3/28. Ustanovka dlya sushki plodov yagodnykh kultur s ispolzovaniem solnechnoy energii / A.V. Bastron, D.M. Schislenko; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – No. 2016112823; заявл. 04.04.2016.; opubl. 05.04.2017, Byul. No. 10. – 10 s.

7. Patent 2615617 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F26V3/28. Ustanovka dlya sushki plodov yagodnykh kultur s ispolzovaniem solnechnoy energii / A.V. Bastron, D.M. Schislenko; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – No. 2016112823; заявл. 04.04.2016.; opubl. 05.04.2017, Byul. No. 10. – 10 s.

8. Schislenko D.M. Sravnitel'naya kharakteristika materialov, primenyaemykh pri konstruirovanii mobilnykh geliosushilnykh ustanovok dlya sushki plodov yagodnykh kultur / D.M. Schislenko, A.V. Bastron // Vestnik IrGSKhA. – 2016. – No. 75. – S. 138-149.

9. Schislenko D.M. Sushilki dlya plodov ryabiny, s primeneniem solnechnoy energii / D.M. Schislenko, A.V. Bastron // Innovatsionnye tendentsii razvitiya rossiyskoy nauki Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. – 2015. – S. 165-167.

10. Schislenko D.M. Izmenenie vlazhnosti plodov yagodnykh kultur pri sushke v mobil'noy geliosushilnoy ustanovke / D.M. Schislenko // Innovatsionnye tendentsii razvitiya rossiyskoy nauki: mat-ly Kh Mezhdunarodnoy nauch.-

prakt. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy Godu ekologii i 65-letiyu Krasnoyarskogo GAU. – Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy GAU, 2017. – S. 134-136.

11. Schislenko D.M. Issledovanie intensivnosti solnechnoy radiatsii dlya effektivnogo ispolzovaniya solnechnoy energii v mobilnykh geliosushilnykh ustanovkakh plodov yagodnykh kultur / D.M. Schislenko, A.V. Bastron // Selskiy mekhanizator. – 2017. – No. 4. – S. 10-11.

12. Altukhov I.V. Opticheskie svoystva selskokhozyaystvennykh produktov rastitelnogo i zhivotnogo proiskhozhdeniya / I.V. Altukhov, V.D. Ochirov // Vestnik IrGSKhA. – 2009. – No. 37. – S. 43-49.

13. Popov V.M. Ispolzovanie plenochnykh elektronagrevateley (PLEN) v tekhnologicheskom protsesse sushki rastitelnogo i dikorastushchego syrya / V.M. Popov, V.A. Afonkina // Vestnik KrasGAU. – 2011. – No. 12 (63). – S. 217-219.

14. Popov V.M. Issledovanie i soglasovanie opticheskikh svoystv IK-izluchateley i spektralnykh kharakteristik yaichnogo syrya / V.M. Popov, V.A. Afonkina, V.N. Levinskiy // APK Rossii. – 2019. – T. 26. No. 4. – S. 558-562.

15. Avramenko V.N. Infrakrasnye spektry pishchevykh produktov [Spravochnoe posobie] / V.N. Avramenko, M.P. Eselson, A.A. Zaika; pod obshch. red. prof., d-ra tekhn. nauk V.D. Popova. – Moskva: Pishch. prom-st, 1974. – 175 s.

16. Bastron A.V. Energoeffektivnye sistemy infrakrasnogo elektroobogreva selskikh zhilykh domov i obshchestvennykh zdaniy / A.V. Bastron, T.N. Bastron // Vestnik IrGSKhA. – 2016. – No. 72. – S. 117-126.

