

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 1 (92). С. 156–168.

Forests of Russia and economy in them. 2025. № 1 (92). P. 156–168.

Научная статья

УДК 620.1.08; 630*847.5

DOI: 10.51318/FRET.2025.92.1.017

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ В ДАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ИК-СПЕКТРА

Василий Николаевич Левинский¹, Виталий Матвеевич Попов²,
Валентина Александровна Афонькина³

¹⁻³ Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

¹ lv_74rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9778-3168>

² ntc-es@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5773-4839>

³ afva1982@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9743-5278>

Аннотация. В статье приведены факты о важности знания спектральных характеристик биотехнологического сырья, так как это позволит высокоэффективно управлять технологическим процессом переработки. Приведено описание инструментария для получения интерферограмм объекта исследования, основным из которых является Фурье-спектрометр инфракрасный ФСМ 2201. На основе подборки лабораторного оборудования разработан алгоритм проведения экспериментов получения спектральных характеристик. Для пород древесины дуба, осины, сосны и березы по предлагаемой методике получены спектральные характеристики в дальней области ИК-спектра, наибольший интерес из которых представляют собой экстремумы в диапазоне от 9400 до 9700 нм, так как поглощение в данном диапазоне – 100 %. Разработанная методика получения спектральных характеристик позволит сформировать справочные данные для основных пород древесины, которые будут оказывать эффективную информационно-методическую поддержку при разработке энергосберегающих режимов обезвоживания, инфракрасной техники для сушки биотехнологического сырья.

Ключевые слова: Фурье-спектрометр, спектральная характеристика, алгоритм, лабораторное оборудование, древесина

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-01090, <https://rscf.ru/project/23-76-01090/>

Для цитирования: Левинский В. Н., Попов В. М., Афонькина В. А. Методика получения спектральных характеристик древесины в дальней области ИК-спектра // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 1 (92). С. 156–168.

Original article

A METHOD FOR OBTAINING SPECTRAL CHARACTERISTICS OF WOOD IN THE FAR INFRARED RANGE OF THE SPECTRUM

Vasily N. Levinsky¹, Vitaly M. Popov², Valentina A. Afonkina³

¹⁻³ South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

¹ lv_74rus@mail.ru , <https://orcid.org/0000-0001-9778-3168>

² ntc-es@mail.ru , <https://orcid.org/0000-0001-5773-4839>

³ afva1982@mail.ru , <https://orcid.org/0000-0001-9743-5278>

Abstract. The article presents facts about the importance of knowing the spectral characteristics of biotechnological raw materials, as this will allow highly efficient management of the technological processing process. The article describes the tools for obtaining interferograms of the object of study. The main instrument is the Fourier spectrometer infrared FSM 2201. An algorithm for conducting experiments to obtain spectral characteristics with selected laboratory equipment has been developed. Spectral characteristics in the far infrared range were obtained for oak, aspen, pine and birch wood species using the proposed method. Extremes in the range from 9400 nm to 9700 nm are of particular interest, since the absorption in this range is 100 %. The developed technique for obtaining spectral characteristics will allow the formation of reference data for the main types of wood, which will provide effective information and methodological support in the development of energy-saving dewatering modes, infrared technology for drying biotechnological raw materials.

Keywords: Fourier spectrometer, spectral characteristic, algorithm, laboratory equipment, wood

Funding: the research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 23-76-01090, <https://rscf.ru/project/23-76-01090/>

For citation: Levinsky V. N., Popov V. M., Afonkina V. A. / A method for obtaining spectral characteristics of wood in the far infrared range of the spectrum // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 1 (92). P. 156–168.

Введение

ИК-спектроскопия на сегодняшний день имеет много вариантов применения во многих отраслях промышленности. Любой материальный объект обладает своим индивидуальным характером инфракрасного спектра, что позволяет использовать его как для количественного анализа, так и для качественного. Зная данные о пиках поглощения или пропускания на разных длинах волн излучения, к примеру сельскохозяйственного или лесного сырья, можно эффективно воздействовать на данные объекты, что приведет к интенсификации процессов сушки или обеззараживания (Афонькина, 2023; Levinsky, 2024).

ИК-спектр получается при непрерывном воздействии на объект исследования энергией инфракрасного потока излучения. С помощью ИК-спек-

трометра происходит разложение светового потока, который проходит через сырье, по длинам волн излучения.

При непрерывном воздействии спектра с определенной интенсивностью становятся ярко выраженными полосы поглощения инфракрасного излучения пробы сырья.

Согласование ИК-генератора со спектральной характеристикой объекта позволит эффективно управлять технологическим процессом, рассматривая электромагнитное поле как информационный поток энергии, который воспринимается биологическим объектом и запускает фазовые приращения внутри его (Афонькина, 2023; Бышов и др., 2019; Ранжирование..., 2021; Счисленко, Бастрон, 2020; Morozov, 2019; Interaction analysis..., 2020).

В данной работе будет представлен подбор инструментов для получения спектральных характеристик и разработан алгоритм действий при их определении, по которому в качестве примера для таких пород, как дуб, осина, сосна, береза, будут получены их спектральные характеристики.

Методика и объекты исследования

Для формирования справочных данных спектральных характеристик в дальней области ИК-спектра для основных пород древесины применялся следующий состав лабораторного оборудования:

- 1) Фурье-спектрометр инфракрасный ФСМ 2201;
- 2) пресс-форма ПФ-13;
- 3) пресс гидравлический ручной ПГР-400;
- 4) анализатор влажности ЭЛВИС-2С.

Лабораторный Фурье-спектрометр предназначен для регистрации и исследования оптических спектров в инфракрасной области, а также для количественного анализа и контроля качества

продукции (Вагин, Хорохорин, 2019; Позднякова, Денисюк, 2016; Руденко, Беляк, 2017). Схема получения спектров показана на рис. 1, принцип ее действия приведен в работах (Позднякова, Денисюк, 2016; Руденко, Беляк, 2017).

Система обработки данных основана на обработке их в Фурье-спектрометре с применением программного обеспечения FSрес, которая обеспечивает:

- получение интерферограмм;
- преобразование интерферограмм в спектр с использованием фазовой коррекции методом Мерца или Нортон-Бир;
- организацию спектральной базы данных на внешних носителях информации и работу с ней;
- первичную обработку и преобразование спектров;
- представление данных в графическом виде на экране монитора или на принтере;
- тестирование и настройку Фурье-спектрометра.

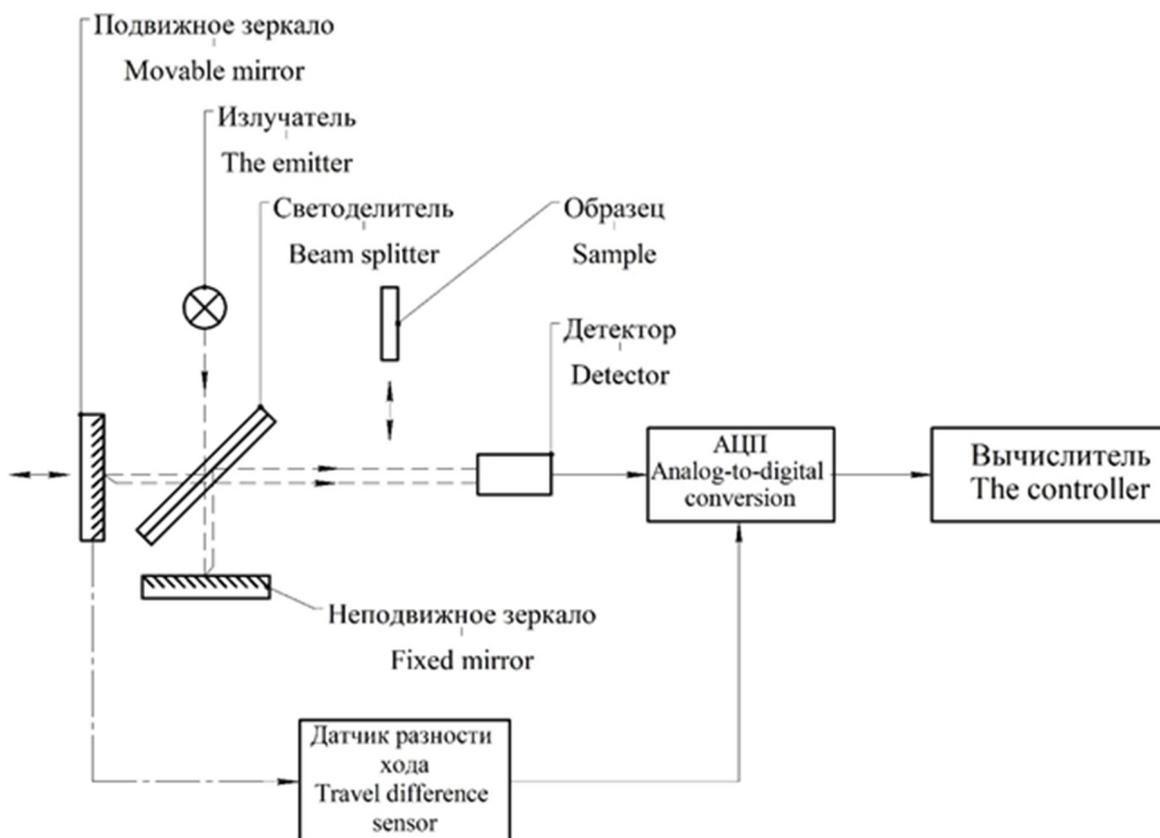


Рис. 1. Структурная схема Фурье-спектрометра
Fig. 1. Block diagram of the Fourier spectrometer

Технические характеристики Фурье-спектрометра инфракрасного ФСМ 2201 представлены ниже.

Рабочая область спектра, см ⁻¹	370–7800
Working range of the spectrum, cm ⁻¹	
Спектральное разрешение, см ⁻¹	1,0
Spectral resolution, cm ⁻¹	
Абсолютная погрешность градуировки шкалы волновых чисел, не более	±0,05
The absolute error of the calibration of the wave number scale, no more than, cm ⁻¹	
Отклонение линии 100 % пропускания от номинального значения (от 2100 до 2200 см ⁻¹ , разрешение 4 см ⁻¹ , 20 сканов), не более, %	±0,5
Deviation of the 100 % transmission line from the nominal value (from 2100 to 2200 cm ⁻¹ , resolution 4 cm ⁻¹ , 20 scans), no more, %	
Среднее квадратичное отклонение линии 100 % пропускания от номинального значения (от 2100 до 2200 см ⁻¹ , разрешение 4 см ⁻¹ , 20 сканов), не более, %	±0,01
The average square deviation of the 100 % transmission line from the nominal value (from 2100 to 2200 cm ⁻¹ , resolution 4 cm ⁻¹ , 20 scans), no more, %	
Уровень положительного и отрицательного псевдорассеянного света, не более, %	±0,2
The level of positive and negative pseudo-scattered light, no more, %	
Габаритные размеры, мм	520×370×250
Overall dimensions, mm	
Размеры кюветного отделения, мм	200×190×170
Dimensions of the cuvette compartment, mm	
Масса, кг	28
Weight, kg	
Потребляемая мощность, ВА	60
Power consumption, VA	
Параметры питающей сети, В, Гц	220 (-33/+22),
Power supply network parameters, V, Hz	50±1

Образец (или таблетка) на рис. 2 должен отвечать определенным требованиям (форма, масса, размер). Для изготовления образца применяется пресс-форма для изготовления таблеток ПФ13. Ее технические характеристики следующие.

Максимальное рабочее усилие, Тс	10
Maximum working force, Tc	
Диаметр таблетки, мм	13
Tablet diameter, mm	
Давление в вакуумной системе, не более, мм рт. ст.	20
Pressure in the vacuum system, not more than, mm Hg.	
Габаритный размеры, мм	77×52×71
Overall dimensions, mm	
Масса, кг	0,67
Weight, kg	

При формировании таблетки с параметрами для загрузки в кювет Фурье-спектрометра необходимо обеспечить рабочее усилие 10 Тс, что регламентировано техническими характеристиками ПФ13. Данное условие возможно реализовать с применением пресса гидравлического ручного ПГР-400, технические характеристики которого приведены ниже.

Максимальное рабочее усилие, Тс	10
Maximum working force, Tc	
Максимальное рабочее давление, бар	270
Maximum operating pressure, bar	
Максимальный подъем штока, мм	25
Maximum rod lift, mm	
Габаритный размеры, мм	400×200×250
Overall dimensions, mm	
Масса, кг	20
Weight, kg	

Анализатор влажности Элвис-2С предназначен для измерения влажности твердых монолитных, сыпучих, пастообразных, волокнистых, жидкостных и других материалов. Его технические характеристики приведены ниже.

Диапазон измерения массовой доли влаги, %	до 100
The range of measurement of the mass fraction of moisture, %	
Предел допускаемого значения абсолютной инструментальной погрешности анализатора при массе измеряемой пробы 2 г, %	±0,1
The limit of the permissible value of the absolute instrumental error of the analyzer at the mass of the measured sample is 2 grams, %	
Диапазон взвешивания, г	от 0,001 до 50
Weighing range, g	
Значение абсолютной погрешности взвешивающего устройства, г	±0,005
The value of the absolute error of the weighing device, g	
Масса измеряемой пробы, г	от 2 до 30
The mass of the measured sample, g	
Время установленного рабочего режима, мин	не более 30
Time of the set operating mode, min	
Время непрерывной работы, ч	не менее 16
Continuous operation time, h	
Потребляемая мощность, ВА	400
Power consumption, VA	
Параметры питающей сети, В, Гц	220 (±22), 50
Power supply network parameters, V, Hz	
Средняя наработка на отказ, ч	2000
Average time to failure, h	
Средний срок службы, лет	10
Average service life, years	
Габаритный размеры, мм	205x310x190
Overall dimensions, mm	
Масса, кг	8
Weight, kg	

В анализаторе влажности «Элвис-2С» работа с образцом заключается в первоначальном взвешивании и во взвешивании его после высушивания. В этой связи в устройстве анализатора предусмотрены высокоточные весы, что позволяет, помимо прямого назначения, использовать данное устройство для изготовления таблеток.

Результаты и их обсуждение

Для получения интерферограмм исследуемого материала с применением приведенного выше подбора лабораторных инструментов формируется определенный алгоритм действий. Воспроизведение алгоритма по этапам может быть последовательным в том случае, если это выполняет один лаборант, и может быть параллельным, если один лаборант выполняет операции «подготовка смеси», «изготовление таблеток», а второй лаборант работает непосредственно со спектрометром, выполняя операции «получение спектральных характеристик». На рис. 2 приведен разработанный алгоритм проведения экспериментов получения спектральных характеристик.

В рамках экспедиции по сбору образцов пород древесины для эксперимента были отобраны пробы таких пород, как дуб, осина, сосна, береза. Согласно методике в пятикратной повторности получены интерферограммы (спектральные характеристики) для выбранных пород древесины. Все образцы были высушены до влажности 8–10 %, эксперименты произведены после выдержки их всех непосредственно в помещении, где производились операции по получению спектральной характеристики, с целью обеспечения равных температурно-влажностных условий содержания всех проб (+22 °С, 49 %) и для исключения искажения полученных результатов.

Спектральная характеристика исследуемых образцов в диапазоне длин волн от 5000 до 11000 нм, полученная на Фурье-спектрометре ФСМ 2201, приведена на рис. 3–6, в табл. 1–4 показаны значения пиков поглощения (Levinsky, 2024).

Анализируя спектральные характеристики разных пород древесины (см. рис. 3–6), выявили, что они имеют различия в интерферограммах, однако характер их схож между собой и спектры подчинены одному характерному диапазону с варьированием процента поглощения и пропускания излучения (рис. 7).

Наибольший интерес представляют собой экстремумы в диапазоне от 9400 до 9700 нм, так как поглощение в данном диапазоне 100 %. Следовательно, рабочие режимы генератора излучения следует выбирать с рабочим диапазоном в данной области.

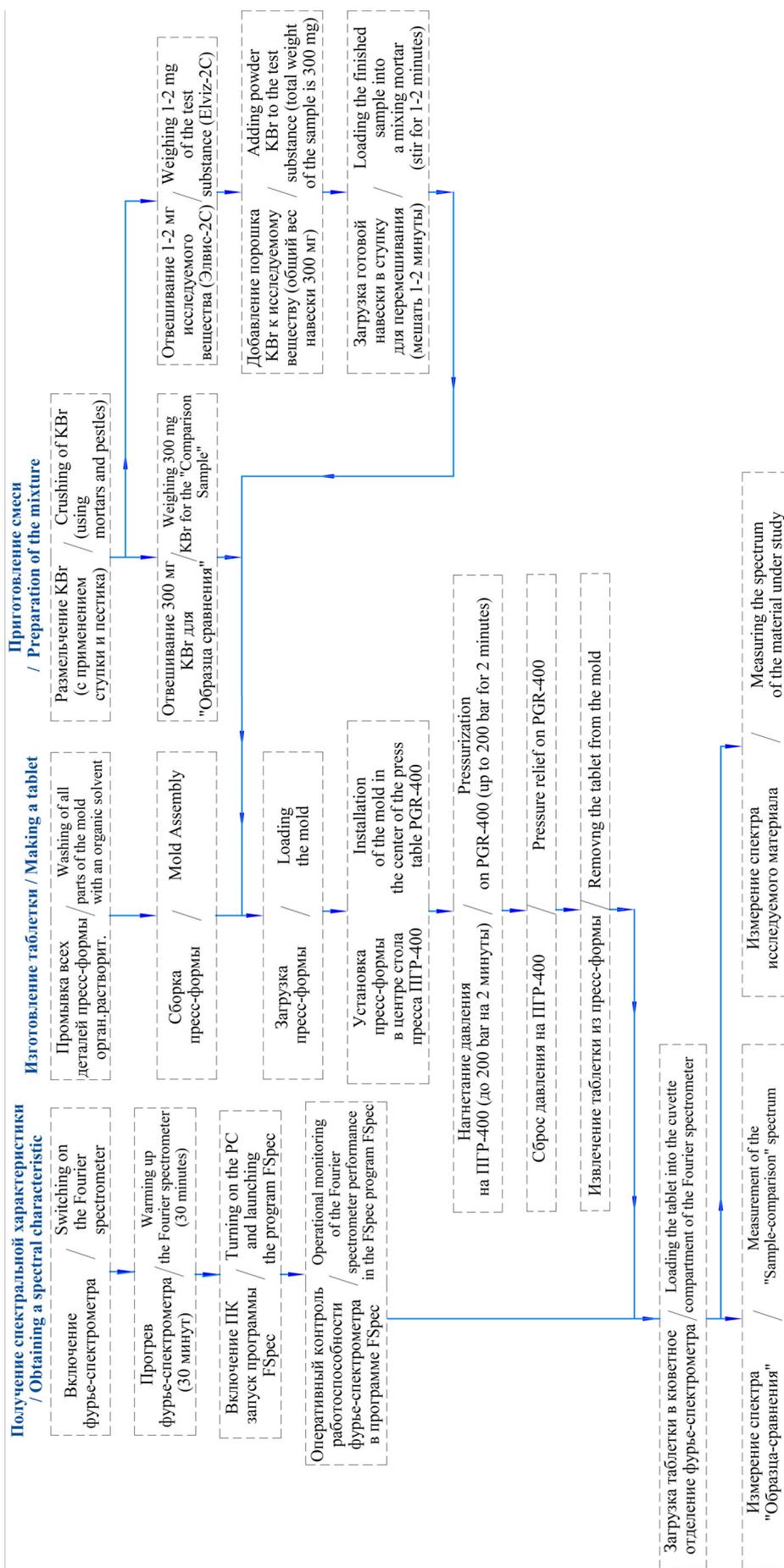


Рис. 2. Алгоритм проведения экспериментов получения спектральных характеристик
 Fig. 2. Algorithm for conducting experiments to obtain spectral characteristics

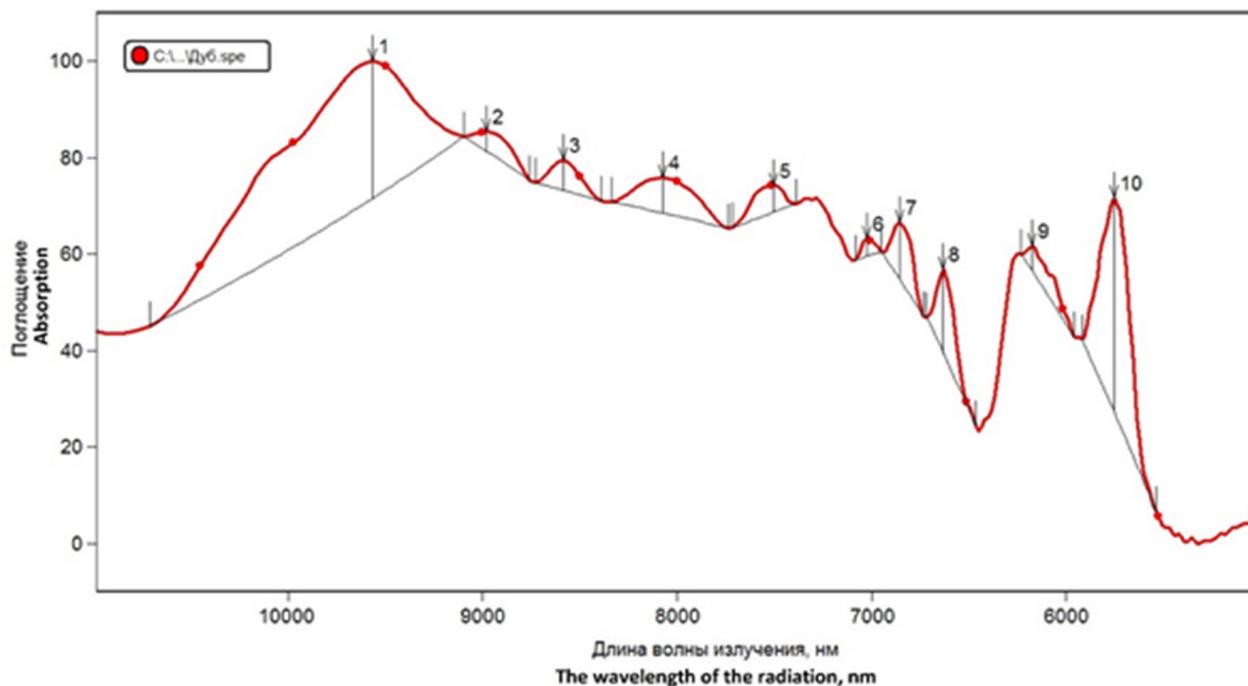


Рис. 3. Обобщенная спектральная характеристика проб дуба
 Fig. 3. Generalized spectral characteristics of oak samples

Таблица 1
 Table 1

Основные характеристики пиков поглощения для проб дуба
 Main characteristics of absorption peaks for oak samples

№	Начало Beginning	Максимум Maximum	Конец The end	Ордината Ordinate	Высота Height	Ширина Width	Площадь Square	Отн. площадь Relative Area
1	10712,56	9566,42	9096,28	1,659531	0,292992	96,055542	27,349379	38,29848
2	9096,28	8979,69	8758,24	1,509728	0,04243839	28,321045	1,2881949	1,8039132
3	8728,75	8584,96	8389,77	1,448044	0,06420755	23,403564	1,5130972	2,1188533
4	8335,82	8073,55	7738,63	1,411476	0,07636440	55,544189	4,0948064	5,7341286
5	7715,59	7504,91	7385,87	1,393676	0,05738795	34,040894	2,0094645	2,8139373
6	7083,17	7022,64	6950,24	1,280903	0,03828538	15,952393	0,5862664	0,8209733
7	6950,24	6857,66	6733,61	1,316281	0,12206316	26,415405	3,2563833	4,5600498
8	6716,16	6632,47	6464,94	1,215739	0,17879713	24,526489	4,4384416	6,2153354
9	6231,83	6174,68	5959,63	1,264514	0,05279005	47,281372	2,6411658	3,6985349
10	5918,81	5752,99	5539,40	1,366733	0,45679194	52,286987	24,233936	33,935794

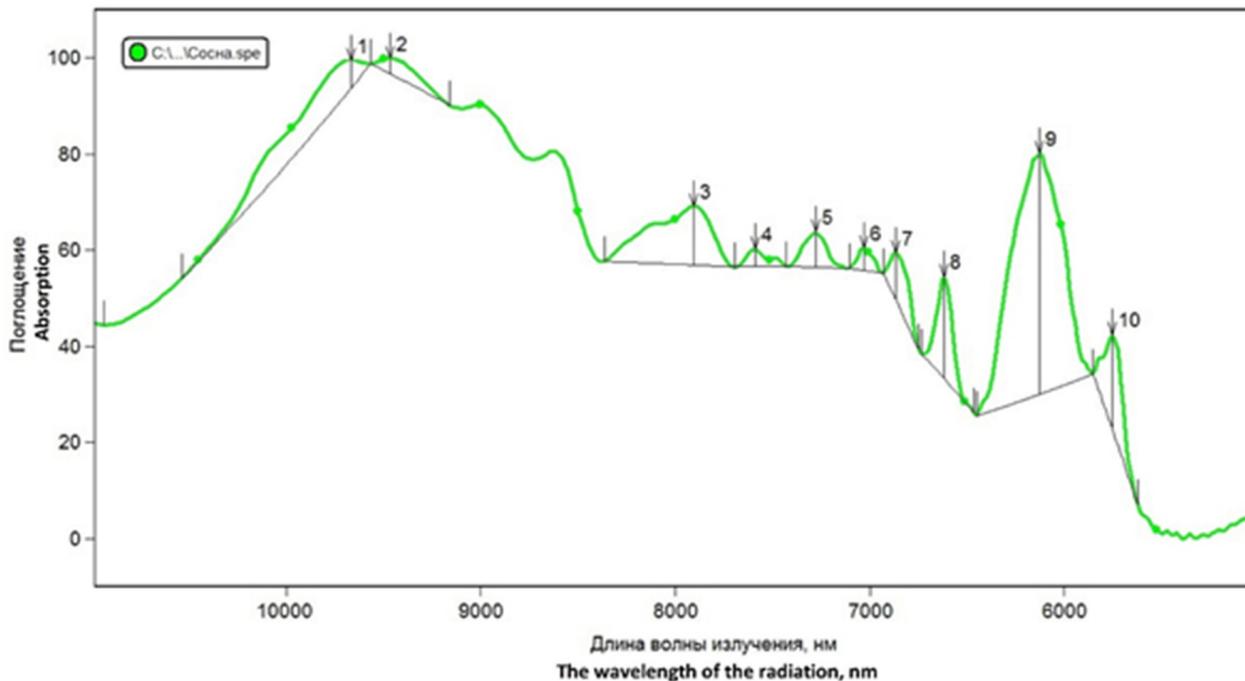


Рис. 4. Обобщенная спектральная характеристика проб сосны
 Fig. 4. Generalized spectral characteristics of pine samples

Таблица 2
 Table 2

Основные характеристики пиков поглощения для проб сосны
 Main characteristics of absorption peaks for pine samples

№	Начало Beginning	Максимум Maximum	Конец The end	Ордината Ordinate	Высота Height	Ширина Width	Площадь Square	Отн. площадь Relative Area
1	10538,37	9668,44	9566,20	0,72222501	0,02922964	61,00055	2,0687295	3,2036356
2	9566,20	9563,83	9160,56	0,7228545	0,01566184	28,53162	0,4598822	0,7121739
3	8362,71	7903,84	7692,70	0,5781551	0,05852628	60,50806	3,2619264	5,051421
4	7692,70	7590,82	7428,19	0,53487277	0,01688033	29,52661	0,3860770	0,597879
5	7428,19	7279,03	7108,57	0,55182207	0,03446561	25,43408	0,8724096	1,3510139
6	7102,57	7031,62	6931,66	0,53652602	0,0221048	18,84680	0,3995002	0,6186663
7	6931,66	6868,07	6751,14	0,53177744	0,04576737	25,50598	1,2003092	1,8587995
8	6733,61	6620,14	6464,94	0,50740689	0,09884217	21,16419	2,2021176	3,4102004
9	6448,85	6126,74	5852,01	0,62927401	0,23656428	84,05322	18,952051	29,349256
10	5852,01	5754,92	5623,51	0,45019296	0,09086432	31,78784	3,1401163	4,8627858

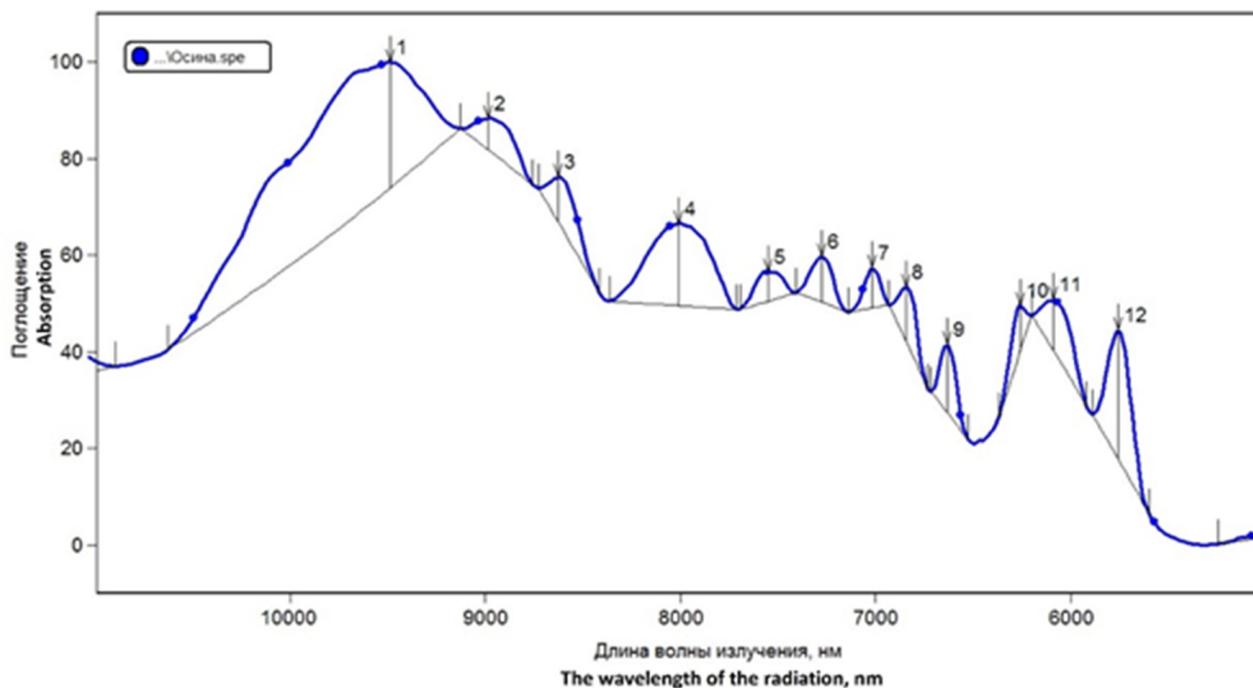


Рис. 5. Обобщенная спектральная характеристика проб осины
Fig. 5. Generalized spectral characteristic of aspen samples

Таблица 3
Table 3

Основные характеристики пиков поглощения для проб осины
Main characteristics of absorption peaks for aspen samples

№	Начало Beginning	Максимум Maximum	Конец The end	Ордината Ordinate	Высота Height	Ширина Width	Площадь Square	Отн. площадь Relative Area
1	10624,75	9488,76	9128,31	1,2012354	0,30252206	99,267395	30,624275	26,926817
2	9138,31	8983,98	8758,24	1,0663681	0,076122284	30,013672	2,4137858	2,1216617
3	8708,75	8624,23	8417,01	0,92582715	0,10966361	23,168579	2,6879078	2,3626086
4	8362,71	8007,78	7715,59	0,81427515	0,19776964	57,989014	11,274347	9,9098895
5	7692,70	7550,33	7406,97	0,69864291	0,071729243	29,32373	2,0578201	1,8087761
6	7406,97	7276,08	7141,71	0,73508364	0,11011577	24,537842	2,714134	2,3856608
7	7141,71	7016,94	6931,66	0,70770818	0,096074045	19,035034	1,8535573	1,6292339
8	6931,66	6844,00	6733,61	0,66177243	0,13028115	22,221313	2,9849636	2,6237137
9	6716,16	6635,35	6530,07	0,52246547	0,1608654	22,133545	3,5666826	3,1350312
10	6369,63	6259,98	6202,01	0,61750931	0,10962242	23,184692	2,6666404	2,3439151
11	6202,01	6091,44	5918,81	0,62950552	0,11853892	48,176636	6,0005788	5,2743695
12	5891,91	5757,13	5599,22	0,55856913	0,30975331	41,986084	13,089655	11,505503

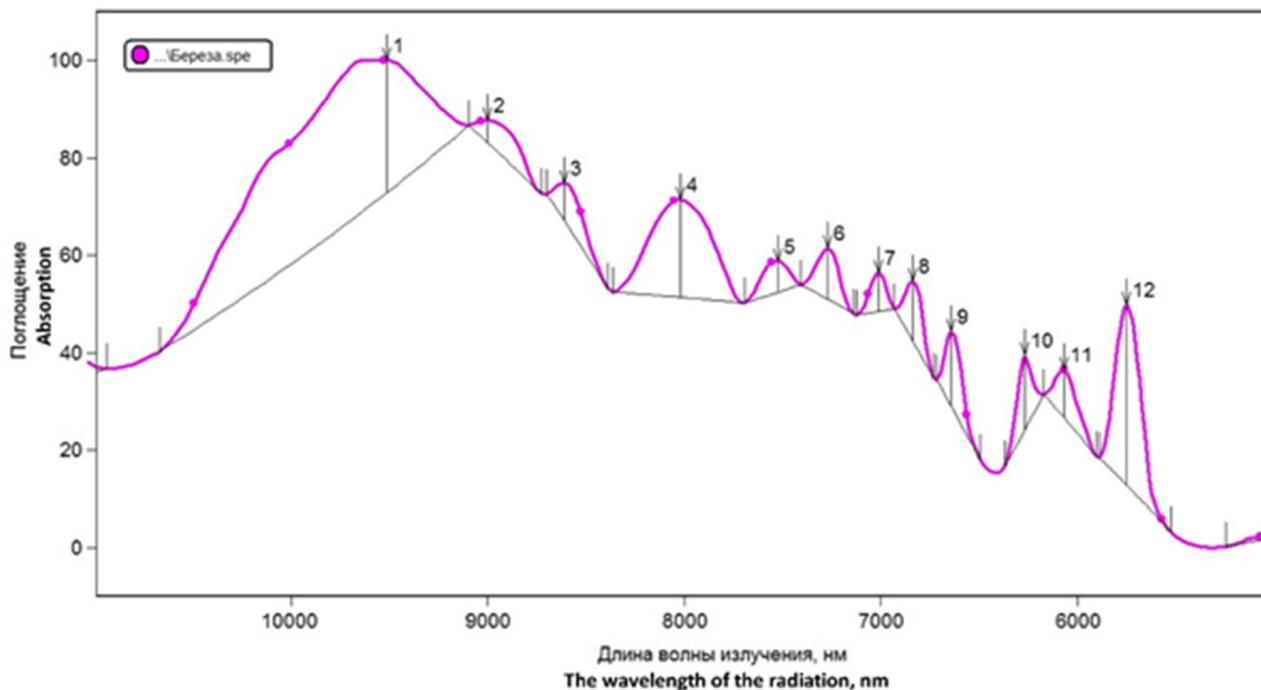


Рис. 6. Обобщенная спектральная характеристика проб березы
 Fig. 6. Generalized spectral characteristics of birch samples

Таблица 4
 Table 4

Основные характеристики пиков поглощения для проб березы
 Main characteristics of absorption peaks for birch samples

№	Начало Beginning	Максимум Maximum	Конец The end	Ордината Ordinate	Высота Height	Ширина Width	Площадь Square	Отн. площадь Relative Area
1	10668,48	9512,24	9096,28	2,4332156	0,52457464	108,17352	57,835897	20,221202
2	9096,28	9002,79	8728,75	2,1954463	0,087044954	32,194824	3,3626178	1,1756742
3	8699,46	8612,41	8389,77	1,9470506	0,14713907	23,102417	3,5991272	1,2583652
4	8362,71	8021,49	7692,70	1,8809291	0,38831758	56,635132	21,655603	7,5714625
5	7692,70	7524,58	7406,97	1,6373341	0,12533629	28,594727	3,5601599	1,244741
6	7406,97	7271,53	7141,71	1,6878431	0,20267987	24,273315	4,9987532	1,7477173
7	7122,09	7014,53	6931,66	1,5917454	0,15499413	19,156738	2,980935	1,0422262
8	6931,66	6837,90	6733,61	1,5581731	0,23868537	21,664673	5,2769475	1,8449826
9	6716,16	6642,61	6497,34	1,356593	0,29549873	22,937134	6,8648893	2,4001757
10	6369,63	6269,75	6172,48	1,2636619	0,29796642	21,641357	6,8179237	2,3837551
11	6172,48	6071,58	5905,33	1,2041874	0,1869266	35,179443	6,8992886	2,4122027
12	5891,91	5750,47	5527,59	1,4644945	0,71718651	44,858765	32,65066	11,415671

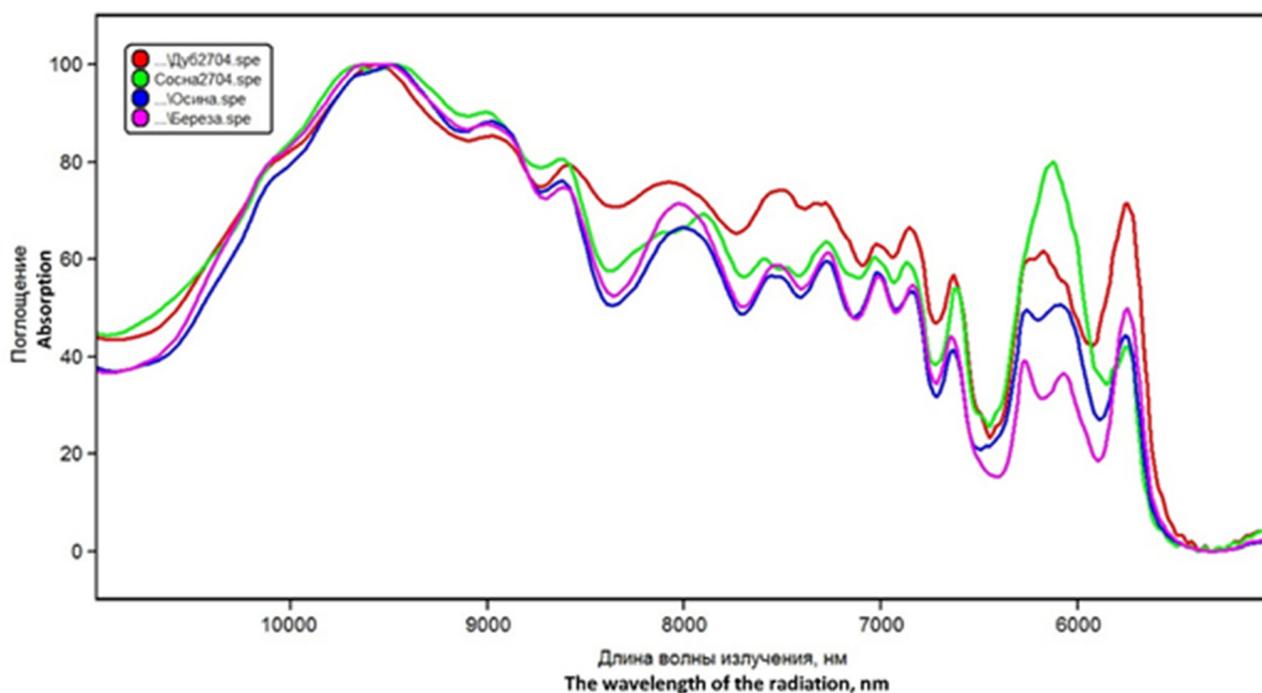


Рис. 7. Генерализованная спектральная характеристика исследуемых образцов пород древесины
 Fig. 7. Generalized spectral characteristics of the studied samples of wood species

Выводы

Разработанная методика получения спектральных характеристик позволит сформировать справочные данные для основных пород древесины, необходимые для оказания эффективной информационно-методической поддержки при разработке энергосберегающих режимов обезвоживания,

инфракрасной техники для сушки строительных сооружений из дерева и др. Предлагаемая методика является универсальной и распространяется для применения в других сферах науки и производства, где знания пиков поглощения или пропускания в определенном диапазоне длин волн излучения имеют ключевое значение.

Список источников

- Афонькина В. А. Оптические свойства сельскохозяйственного сырья как основа технологии сушки // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 194. С. 12–19.
- Бышов Д. Н., Каширин Д. Е., Морозов С. С. Экспериментальное исследование оптических характеристик перговых сотов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 3 (43). С. 75–79.
- Вагин В. А., Хорохорин А. И. Система регистрации интерферограмм в двухзондовом (двухканальном) фурье-спектрометре // Физические основы приборостроения. 2019. Т. 8, № 4(34). С. 11–15. DOI: 10.25210/jfor-1904-011015
- Позднякова С. А., Денисюк И. Ю. Теория и техника современного физического эксперимента : учеб.-метод. пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 75 с.
- Ранжирование целевых компонентов сельскохозяйственного сырья с целью разработки алгоритмов управления температурными режимами их обработки / В. М. Попов, В. А. Афонькина, В. Н. Левинский, Е. И. Кривошеева // Вестник НГИЭИ. 2021. № 5 (120). С. 31–41.

- Руденко М. Б., Беляк А. Л.* Исследование гипсосодержащих строительных материалов с различной степенью термического поражения методом ИК-спектроскопии при производстве судебной пожарно-технической экспертизы : учеб.-метод. пособие. Иркутск : Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2017. 32 с.
- Счисленко Д. М., Бастрон А. В.* Повышение эффективности ИК-сушки плодов рябины черноплодной путем исследования их спектральных характеристик // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 5 (187). С. 159–165.
- Interaction analysis of the electrotechnological system «emitter-material» in the process of heating and drying of food plant raw materials / *V. D. Ochirov, I. V. Altukhov, S. M. Bykova, M. A. Blokhnin* // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference : AGRITECH-III-2020 : Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. URL: <https://iopscience.iop.org/> (accessed 10.09.2024).
- Levinsky V. N.* Spectral analysis of various types of wood as the basis of low-temperature drying technology in vacuum conditions // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference «Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023» (MSNBAS2023). Les Ulis, 2024. P. 05026.
- Morozov S. S.* The research of optical characteristics of the honeycombs // Journal of Agriculture and Environment. 2019. № 1 (9). P. 10. DOI: 10.23649/jae.2019.1.9.10

References

- Afonkina V. A.* Optical properties of agricultural raw materials as the basis of drying technology // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2023. № 194. P. 12–19. (In Russ.)
- Byshov D. N., Kashirin D. E., Morozov S. S.* An experimental study of the optical characteristics of pearl honeycombs // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. № 3 (43). P. 75–79. (In Russ.)
- Interaction analysis of the electrotechnological system «emitter-material» in the process of heating and drying of food plant raw materials / *V. D. Ochirov, I. V. Altukhov, S. M. Bykova, M. A. Blokhnin* // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference : AGRITECH-III-2020 : Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. URL: <https://iopscience.iop.org/> (accessed 10.09.2024).
- Levinsky V. N.* Spectral analysis of various types of wood as the basis of low-temperature drying technology in vacuum conditions // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference «Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023» (MSNBAS2023). Les Ulis, 2024. P. 05026.
- Morozov S. S.* The research of optical characteristics of the honeycombs // Journal of Agriculture and Environment. 2019. № 1 (9). P. 10. DOI: 10.23649/jae.2019.1.9.10
- Ranking of target components of agricultural raw materials in order to develop algorithms for controlling the temperature conditions of their processing / *V. M. Popov, V. A. Afonkina, V. N. Levinsky, E. I. Krivosheeva* // Bulletin of the NGIEI. 2021. № 5 (120). P. 31–41. (In Russ.)
- Pozdnyakova S. A., Denisyuk I. Y.* Theory and technique of modern physical experiment : Educational and methodical manual. St. Petersburg : ITMO University, 2016. 75 p.
- Rudenko M. B., Belyak A. L.* Investigation of gypsum-containing building materials with varying degrees of thermal damage by IR spectroscopy in the production of forensic fire and technical expertise : An educational

and methodical manual. Irkutsk : East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 2017. 32 p.

Schislenko D. M., Bastron A.V. Improving the efficiency of IR drying of mountain ash fruits by studying their spectral characteristics // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2020. № 5 (187). P. 159–165. (In Russ.)

Vagin V. A., Khorokhorin A. And the interferogram registration system in a two-probe (two-channel) Fourier spectrometer // Physical fundamentals of instrumentation. 2019. Vol. 8, № 4 (34). P. 11–15. DOI: 10.25210/jfop-1904-011015 (In Russ.)

Информация об авторах

В. Н. Левинский – кандидат технических наук;

В. М. Попов – доктор технических наук, профессор;

В. А. Афонькина – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

V. N. Levinsky – Candidate of Technical Sciences;

V. M. Popov – Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. A. Afonkina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 16.09.2024; принята к публикации 15.10.2024.

The article was submitted 16.09.2024; accepted for publication 15.10.2024.
