

АГРОНОМИЯ

4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита
и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

Научная статья
УДК 630.181, 581.2
doi: 10.28983/asj.y2024i4pp34-39

**Оценка спектральных профилей листовой пластинки *Quercus robur* L.
в норме и при заболевании мучнистой росой**

Павел Андреевич Крылов, Данила Алексеевич Титов

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук, г. Волгоград, Россия, e-mail: krylov-p@vfanc.ru

Аннотация. В настоящее время развиваются и создаются технологии комплексной оценки жизненного состояния растений без проведения трудоемких лабораторных исследований. Такой технологией является оценка морфологических, физиологических и биохимических показателей листовой пластинки с помощью спектрорадиометрии. Одним из основных древесных растений, используемых в лесных насаждениях Юга России, является *Quercus robur* L., который восприимчив к фитопатогену *Microsphaera alphitoides* L., вызывающему такое заболевание, как мучнистая роса. В связи с этим целью работы стало проведение оценки спектральных профилей листовой пластинки *Quercus robur* L. в норме и при заболевании мучнистой росой. Получение и оценку спектральных профилей пропускания и поглощения излучения осуществляли с помощью спектрометра SpectraPen SP110 Uvis. В результате исследования установлено, что у особей *Quercus robur* L. с мучнистой росой наблюдаемые коэффициенты пропускания и поглощения излучения отличаются в 1,1–1,4 раза по сравнению со здоровыми растениями. Следует отметить, что у больных растений были зафиксированы высокие значения коэффициента поглощения в диапазоне длин волн от 400 до 520 нм по сравнению со здоровыми особями. Полученные результаты позволяют утверждать, что наличие мучнистой росы на листовой пластинке вызывает изменения ее спектральных показателей, что может быть вызвано повышенной активностью пигментов и выработкой метаболитов фитопатогеном. Оценка спектрограмм пропускания или поглощения может позволить в перспективе оперативно выявлять заражение тем или иным фитопатогеном, который не обладает ярко выраженной окраской на ранней стадии развития, и проводить оценку жизненного состояния растений.

Ключевые слова: спектральный анализ; листовая пластинка; спектрорадиометрия; *Quercus robur* L.; мучнистая роса

Для цитирования: Крылов П. А., Титов Д. А. Оценка спектральных профилей листовой пластинки *Quercus robur* L. в норме и при заболевании мучнистой росой // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 34–39. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp34-39>.

AGRONOMY

Original article

**Assessment of spectral profiles of the leaf *Quercus robur* L.
under normal conditions and with powdery mildew disease**

Pavel A. Krylov, Danila A. Titov

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia, e-mail: krylov-p@vfanc.ru

Abstract. At the present time technologies of comprehensive assessment of the vital state of plants without conducting labor-intensive laboratory researches are being developed and created. Such technology is the assessment of morphological, physiological and biochemical parameters of the leaf using spectroradiometry. One of the main woody plants used in forest plantations in the South of Russia is *Quercus robur* L., which is susceptible to such a phytopathogen *Microsphaera alphitoides* L., which causes such a disease as powdery mildew. In this regard, the purpose of the study was to evaluate the spectral profiles of the leaf of *Quercus robur* L. with normal health conditions and with powdery mildew disease. The spectral profiles of radiation transmission and absorption were obtained and assessed using a SpectraPen SP110 Uvis spectroradiometer. As a result of the study, it was shown that in *Quercus robur* L. individuals with powdery mildew, the observed radiation transmittance and absorption coefficients differ by 1.1–1.4 times compared to healthy plants. It is worth noting that in diseased plants, high absorption coefficients were recorded in the wavelength range from 400 nm to 520 nm compared to healthy *Quercus robur* L. individuals. These results suggest that the presence of powdery mildew on the leaf



causes changes in its spectral parameters, which can be caused by increased activity of pigments and the production of phytopathogenic metabolites. In this regard, the assessment of transmission or absorption spectrograms may in the future make it possible to quickly detect infection with one or another phytopathogen that does not have a noticeable color at an early stage of growth and to assess the vital state of plants.

Keywords: spectral analysis; leaf blade; spectroradiometry; *Quercus robur* L.; powdery mildew

For citation: Krylov P. A., Titov D. A. Assessment of spectral profiles of the leaf *Quercus robur* L. under normal conditions and with powdery mildew disease. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(4):34–39. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp34-39>.

Введение. В настоящее время развиваются и создаются технологии комплексной оценки состояния растений в полевых, лабораторных и тепличных условиях без разрушения или повреждения объектов с помощью различных спектрометрических методов, например, высокопроизводительного фенотипирования [5]. Такие технологии позволяют оценивать морфофизиологические и биохимические параметры растений [15, 16, 22]. Кроме того, они применяются для автоматизации поддержания заданных условий [2, 11] и создания современных высокотехнологичных фитотронов [7]. Важным преимуществом спектральных методов анализа является возможность проведения исследований не только в лабораторных, но и в полевых условиях [6, 9, 16].

Одним из основных древесных видов растений, применяемых в агролесомелиорации аридных и субаридных территорий Юга России, является *Quercus robur* L. – дуб черешчатый, обладающий высокой устойчивостью к засухе и засолению почв [10]. Однако данный вид и его генотипы не устойчивы к фитопатогену *Microsphaera alphitoides* L. – возбудителю мучнистой росы у дубов, что приводит к снижению его продуктивности [21]. В Волгоградской области почти все защитные лесополосы, в состав которых входит *Quercus robur* L., заражены мучнистой росой. Это одно из самых распространенных заболеваний древесно-кустарниковых, а также сельскохозяйственных растений [2, 12, 13, 14].

В настоящее время проводятся исследования, направленные на изучение влияния грибковых заболеваний на спектральные показатели растительной ткани сельскохозяйственных растений [1, 4], но в них либо не рассматриваются коэффициенты поглощения и пропускания в видимом спектре излучения, либо не исследуется спектральный профиль листовой пластинки растения в целом. В связи с этим целью работы стало проведение пилотного исследования по оценке спектральных профилей листовой пластинки *Quercus robur* L. в норме и при заболевании мучнистой росой.

Материалы и методы. Для спектральной диагностики было отобрано по 10 образцов листовой пластинки здоровых (рисунок 1, А) и больных (рисунок 1, Б) сеянцев *Quercus robur* L. в возрасте от 5 до 6 месяцев, выращенных в лабораторных условиях. Листовая пластинка здоровых

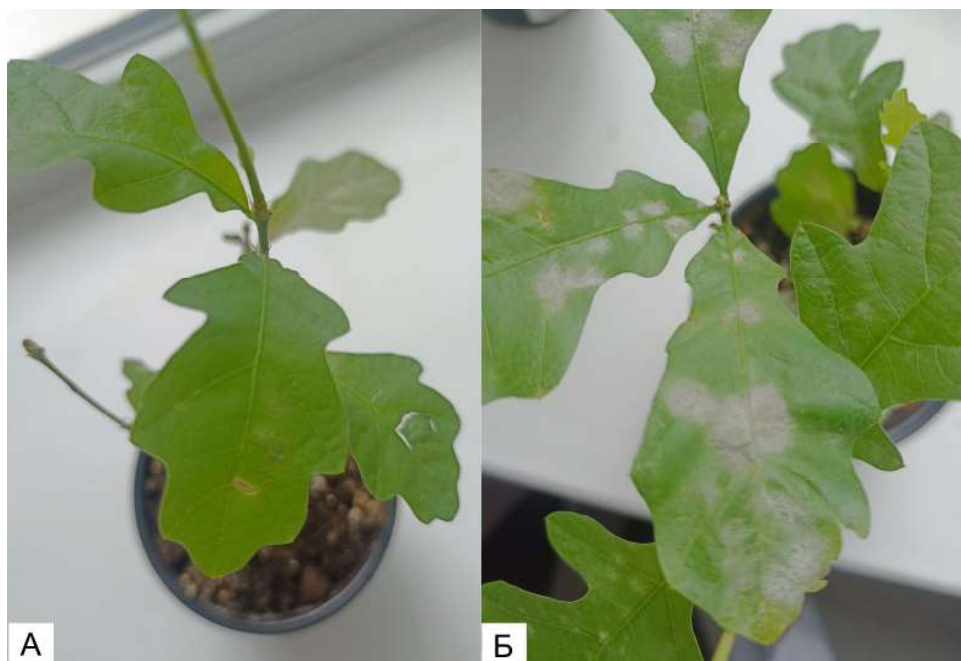


Рисунок 1 – Жизненное состояние сеянцев *Quercus robur* L.:
А – здоровые; Б – зараженные *Microsphaera alphitoides* L.

Figure 1 – The vital state of *Quercus robur* L. seedlings:
A – healthy, B – infected with *Microsphaera alphitoides* L.





сеянцев *Quercus robur* L. имела зеленую и гладкую поверхность с незначительными механическими повреждениями. Признаки мучнистой росы на верхней и нижней поверхности листа, а также на стебле отсутствовали. Степень поражения верхней поверхности листовой пластинки при заражении *Microspora albitoides* L. составляла от 30 до 50 %.

Для получения спектрального профиля листовой пластинки исследуемых деревьев использовали портативный спектрометр SpectraPen SP110 Uvis (Photon Systems Instruments, Чехия), регистрирующий излучение в диапазоне длин волн от 325 до 790 нм. Регистрацию оптического излучения проводили перпендикулярно листовой пластинке в ее центральной точке, где не наблюдалось видимых повреждений растительной ткани. Эталонным излучением выступал солнечный свет, оптический путь которого пролегал через место регистрации излучения на листовой пластинке. Для построения спектрограмм пропускания и поглощения излучения (диаграмм коэффициента пропускания и оптической плотности) были использованы формулы (1) и (2) соответственно:

$$T = \frac{I}{I_0}, \quad (1)$$

где T – коэффициент пропускания; I_0 – эталонная интенсивность излучения; I – измеренная интенсивность излучения;

$$A = \log \frac{I_0}{I}, \quad (2)$$

где A – коэффициент оптической плотности; I_0 – эталонная интенсивность излучения; I – измеренная интенсивность излучения.

Количественные данные обрабатывали с помощью программы Statistica 12.0 (StatSoftInc., США) с расчетом показателей, принятых для характеристики непараметрических выборок: медиана, 1-й квартиль, 3-й квартиль ($Me [Q_1 \div Q_3]$). Для доказательства достоверности различий был применен критерий Манна – Уитни для двух независимых выборок ($p < 0,05$).

Результаты исследований. В ходе исследований были получены спектральные профили пропускания и поглощения излучения листовыми пластинками здоровых и больных особей *Quercus robur* L. (рисунок 2). На спектрограмме пропускания излучения были выявлены различия в интенсивности пиков в диапазоне длин волн от 400 до 520 нм между здоровыми и больными особями *Quercus robur* L. Значение коэффициента пропускания у здоровых растений было больше в 1,2 раза по сравнению с больными ($p < 0,05$).

В области диапазона длин волн от 520 до 715 нм статистически значимых различий между значениями коэффициентов пропускания излучения обнаружено не было ($p > 0,05$). Коэффициент пропускания у здоровых и больных особей *Quercus robur* L. в диапазонах до 340 нм, а также от 720 до 790 нм имел значение близкое к единице. Это свидетельствует о том, что излучение практически не поглощается растительной тканью листовой пластинки (см. рисунок 2, А). На спектрограмме поглощения излучения листовой пластинкой здоровых и больных особей *Quercus robur* L. были аналогичные различия в интенсивности пиков в диапазоне длин волн от 400 до 520 нм.

Максимальное значение оптической плотности для здоровых растений составило 0,4014 при длине волны 480,1 нм, а для больных растений 0,4745 при длине волны 478,2 нм. Также были обнаружены незначительные пики поглощения при длинах волн от 590 до 680 нм с колебанием значений оптической плотности в диапазоне 0,1602–0,1961 для здоровых и 0,1989–0,2189 для больных растений соответственно.

Оценка интенсивности поглощения излучения показала различия между здоровыми и больными растениями. Это хорошо видно на спектрограмме, где на положительном пике в диапазоне длин волн 430–500 нм медианные значения оптической плотности здоровых растений ниже, чем у больных, в 1,1–1,4 раза, а в диапазоне 590–680 нм – в 1,1–1,3 раза ($p < 0,05$).

Следует отметить, что у больных растений спектрограмма поглощения излучения характеризуется большим разбросом значений спектральных показателей. Среднее отношение показателя стандартного отклонения оптической плотности больных растений к здоровым равнялось 1,4. Существенный разброс спектральных показателей больных растений в сравнении со здоровыми наблюдался в диапазоне длин волн 344,6–406,8 нм, где отношение показателей стандартного отклонения оптической плотности больных растений к здоровым составило 1,9599406,8–6,0849374,8 нм.

Положительные пики поглощения на спектрограммах могут быть обоснованы действием хлоропластов, а именно поглощением фотосинтезирующими пигментами излучения определенной

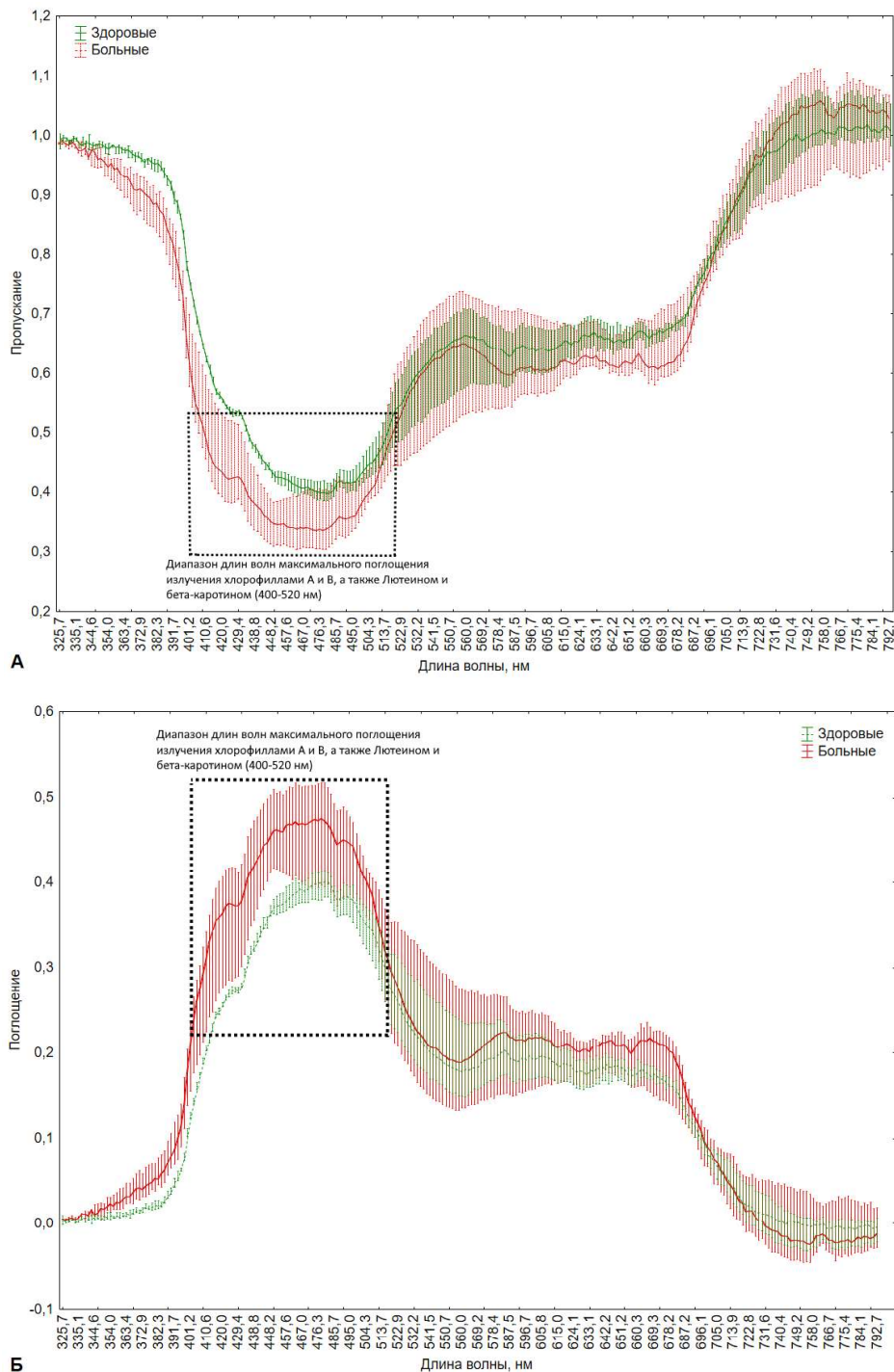


Рисунок 2 – Спектрограммы: А – пропускания, Б – поглощения излучения листовыми пластинками здоровых и больных особей *Quercus robur L.*
Figure 2 – Spectrograms: A – transmittance, B – absorption of radiation by leaf blades of healthy and diseased individuals of *Quercus robur L.*

длины волны. Пик 430–500 нм на спектрограмме оптической плотности может быть обусловлен поглощением излучения хлорофиллом-А, хлорофиллом-Б, лютеином и β -каротином. В пиках 590–680 нм излучение поглощается преимущественно хлорофиллом-А и хлорофиллом-Б [17, 20]. Из-за использования неконтролируемого источника излучения полученные спектрограммы могут отличаться от эталонных спектрограмм соответствующих пигментов, полученных в иных условиях. В соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера полученные спектрограммы оптической плотности являются суммой поглощения излучения не только пигментами, но и иными метаболитами и химическими веществами, входящими в состав листовой пластинки, а также результатом рассеяния солнечного излучения растительной тканью листовой пластинки.

Повышенные значения оптической плотности листовых пластинок больных растений по сравнению со здоровыми могут зависеть от ряда причин. Во-первых, повышенная оптическая плотность может





быть вызвана выработкой метаболитов, поглощающих длины волн видимого спектра излучения, которая стала реакцией растения на проникновение грибка-паразита [19]. Во-вторых, микроповреждения растительной ткани могут способствовать повышению активности хлоропластов для восстановления поврежденных участков листовой пластинки и борьбы с грибковым заболеванием [19]. Это, в свою очередь, может вызывать повышение оптической плотности на характеристических для пигментов длинах волн излучения. В-третьих, мицелий и метаболиты грибка-паразита в составе листовой пластинки поглощают часть излучения, что вызывает повышение оптической плотности [8, 18].

В дальнейшем использование анализа спектрограмм может позволить выявлять заражение фитопатогенами и определять жизненное состояние различных видов древесно-кустарниковых растений.

Заключение. На основе данных, полученных с помощью портативного спектрорадиометра, были зафиксированы различия между спектрограммами и спектральными показателями здоровых и больных особей *Quercus robur* L., зараженных *Microsphaera alphitoides* L. Различия в коэффициентах пропускания и поглощения излучения наглядно демонстрируют изменение протекания биохимических и физиологических процессов в листовой пластинке в ответ на заражение мучнистой росой.

В связи с этим оценка спектрограмм пропускания или поглощения может позволить в перспективе оперативно выявлять заражение тем или иным фитопатогеном, который не обладает ярко выраженной окраской на ранней стадии.

Исследования проведены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FNFE-2022-0022 «Поиск и управление паттернами экспрессии генов лесных и культурных растений, отвечающих за адаптацию к неблагоприятным факторам внешней среды и продуктивность».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние фитопатогенов на содержание пластидных пигментов и интенсивность процессов перекисного окисления липидов в листьях древесных растений / С. Ю. Огородникова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 84–92.
2. Гвоздева М. С., Волкова Г. В. Влияние различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней // Юг России: экология, развитие. 2023. №18(2). С. 140–151.
3. Диагностика на фабриках растений: обзор неинвазивных методов мониторинга состояния растений для закрытых регулируемых агроэкосистем / Д. А. Бурьнин [и др.] // Агроинженерия. 2022. № 24(6) С. 70–75.
4. Колесников Л. Е., Сурин В. Г., Колесникова Ю. Р. Определение устойчивости яровой мягкой пшеницы к возбудителю мучнистой росы спектрометрическим методом // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 38. С. 33–39.
5. Методы высокопроизводительного фенотипирования растений для массовых селекционно-генетических экспериментов / Д. А. Афонников [и др.] // Генетика. 2016. № 52(7). С. 788–803.
6. Методика наземного спектрометрирования растений Арктики для дешифрования космических снимков / М. В. Зимин [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2014. № 4. С. 34–41.
7. О влиянии различных источников света на фотосинтетические параметры продукционного процесса у *Cucumis sativus* L. (гибрид Тристан F1) в условиях аэропонного фитотрона / Л. Ю. Мартиросян [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2021. № 56(5) С. 934–947.
8. Пулко Т. А., Насонова Н. В., Лыньков Л. М. Спектрально-поляризационные характеристики материалов, содержащих мицелии плесневых грибов рода *Penicillium* // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2010. № 6(52). С. 90–95.
9. Сироткин В. В., Васюков С. В., Усманов Б. М. Изучение почвенных параметров на основе полевых спектрометрических данных // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2020. № 30(1). С. 71–82.
10. Соломенцева А. С. Состояние древесных растений на объектах защитного лесоразведения и озеленения Калачевского района Волгоградской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022. № 5. С. 58–72.
11. Фартуков В. А., Земляникова М. В. Спектрометрический контроль качества машинного полива // Природообустройство. 2018. № 3. С. 115–118.
12. Ханаева Д. К., Саакян М. Т. Болезни огурца и меры борьбы с ними // Агрофорум. 2023. № 3. С. 67–68.
13. Холмурадов Э., Каримов А., Хайдаралиев Ш. Противодействие с распространением мучнистой росы в арбузах и дынях // Общество и инновации. 2021. № 2(5). С. 27–32.
14. Юхачева Е. Я., Акуленко Е. Г., Каньшина М. В. Селекционная оценка гибридных семей смородины чёрной на устойчивость к мучнистой росе, антракнозу и почковому клещу // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2021. № 8(1–2). С. 77–80.
15. A spectrophotometric method for plant pigments determination and herbs classification / G. Dudek, A. Strzelewicz, M. Krasowska, A. Rybak, R. Turczyn // Chemical Papers. 2014. No. 68(5). P. 579–583.
16. Bagheri N., Mohamadi-Monavar H. Early detection of fire blight disease of pome fruit trees using visible-NIR spectrometry and dimensionality reduction methods // Journal of Agricultural Machinery. 2020. No. 10(1) P. 37–48.

17. Croce R., Cinque G., Holzwarth A. R. The Soret absorption properties of carotenoids and chlorophylls in antenna complexes of higher plants // *Photosynthesis Research*. 2000. No. 64. P. 221–231.
18. Differentiation and identification of filamentous fungi by high-throughput FTIR spectroscopic analysis of mycelia / A. Lecellier, J. Mounier, V. Gaydou, L. Castrec, G. Barbier, W. Ablain, M. Manfait, D. Toubas, G. D. Sockalingum // *International Journal of Food Microbiology*. 2014. No. 168–169. P. 32–41.
19. Integrated transcriptome and metabolome analysis reveals that flavonoids function in wheat resistance to powdery mildew / W. Xu, X. Xu, R. Han, X. Wang, K. Wang, G. Qi, P. Ma, T. Komatsuda, C. Liu // *Frontiers in Plant Science*. 2023. No. 14. P. 1–12.
20. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UVVIS Spectroscopy // *Current protocols in food analytical chemistry*. 2001. No. 1(1). P. F4.3.1–F4.3.8.
21. Powdery mildew decreases the radial growth of oak trees with cumulative and delayed effects over year / D. Bert, J. B. Lasnier, X. Capdevielle, A. Dugravot, M. L. Desprez-Loustau // *PLoS ONE*. 2016. No. 11(5). P. 1–19.
22. Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents / N. Sumanta, C. I. Haque, J. Nishika, R. Suprakash // *Research Journal of Chemical Sciences*. 2014. No. 4(9). P. 63–69.

REFERENCES

1. Influence of phytopathogens on the content of plastid pigments and the intensity of lipid peroxidation processes in the leaves of woody plants / S. Yu. Ogorodnikova, S. V. Pestov, V. V. Zinoviev, A. P. Sofronov. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022;2:84–92. (In Russ.).
2. Gvozdeva M. S., Volkova G. V. The influence of various methods protection of the winter wheat variety Svarog against the development of fungal diseases. *South of Russia: Ecology, Development*. 2023;18(2):140–151. (In Russ.).
3. Screening in plant factories: a review of non-invasive plant monitoring techniques for closed regulated agroecosystems / D. A. Burynin, A. A. Smirnov, Yu. A. Proshkin, S. A. Kachan, A. P. Dolgalev. *Agricultural engineering*. 2022;24(6):70–75. (In Russ.).
4. Kolesnikov L. E., Surin V. G., Kolesnikova Y. R. Determination of the resistance of spring soft wheat to the causative agent of powdery mildew by the spectrometric method. *Magazine "Izvestia"*. 2015;38:33–39. (In Russ.).
5. Methods of high-throughput plant phenotyping for large-scale breeding and genetic experiments / D. A. Afonnikov, M. A. Genaev, A. V. Doroshkov, E. G. Komyshev, T. A. Pshenichnikova. *Genetika*. 2016;52(7):788–803. (In Russ.).
6. Ground spectrometry of arctic plants for the interpretation of space imagery / M.V. Zimin, O.V. Tutubalina, E.I. Golubeva, G.U. Rees. *Lomonosov geography journal*. 2014;4:34–41. (In Russ.).
7. The influence of different light sources on photosynthetic performance and productivity of Cucumis Sativus L. hybrid tristan fl in aeroponic phytotron facilities / L. Yu. Martirosyan, A. A. Kosobryukhov, V. V. Martirosyan, Yu. Ts. Martirosyan. *Agricultural Biology*. 2021;56(5):934–947. (In Russ.).
8. Pulko T. A., Nasonova N. V., Lynkov L. M. Spectral-polarization characteristics of materials containing mycelium of Penicillium molds. *Doklady BGUIR*. 2010;6(52):90–95.
9. Sirotkin V. V., Vasyukov S. V., Usmanov B. M. Study of soil parameters based on field spectrometric data. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2020;30(1):71–82. (In Russ.).
10. Solomentseva A. S. The condition of woody plants at the sites of protective afforestation and landscaping of the Kalachevsky district, Volgograd region. *Russian Forestry Journal*. 2022;5:58–72.
11. Fartukov V. A., Zemlyannikova M. V. Spectrometric control of machine irrigation quality. *Prirodoobustrojstvo*. 2018;3:115–118. (In Russ.).
12. Khanaeva D. K., Sahakyan M. T. Cucumber diseases and measures to combat them. *Agroforum*. 2023;3:67–68. (In Russ.).
13. Kholmuradov E., Karimo A., Khaidaraliev S. Counteracting the spread of powdery mildew in watermelons and melons. *Society and Innovations*. 2021;2(5):27–32.
14. Yukhacheva E. Ya., Akulenko E. G., Kanshina M. V. Breeding evaluation of black currants hybrids for resistance to the powdery mildew, anthracnose and currant bud mite. *Selection and Variety Breeding of Garden Crops*. 2021;8(1-2):77–80. (In Russ.).
15. A spectrophotometric method for plant pigments determination and herbs classification / G. Dudek, A. Strzelewicz, M. Krasowska, A. Rybak, R. Turczyn. *Chemical Papers*. 201;68(5):579–583.
16. Bagheri N., Mohamadi-Monavar H. Early detection of fire blight disease of pome fruit trees using visible-NIR spectrometry and dimensionality reduction methods. *Journal of Agricultural Machinery*. 2020;10(1):37–48.
17. Croce R., Cinque G., Holzwarth A. R. The Soret absorption properties of carotenoids and chlorophylls in antenna complexes of higher plants. *Photosynthesis Research*. 2000;64:221–231.
18. Differentiation and identification of filamentous fungi by high-throughput FTIR spectroscopic analysis of mycelia / A. Lecellier, J. Mounier, V. Gaydou, L. Castrec, G. Barbier, W. Ablain, M. Manfait, D. Toubas, G. D. Sockalingum. *International Journal of Food Microbiology*. 2014;168-169:32–41.
19. Integrated transcriptome and metabolome analysis reveals that flavonoids function in wheat resistance to powdery mildew / W. Xu, X. Xu, R. Han, X. Wang, K. Wang, G. Qi, P. Ma, T. Komatsuda, C. Liu. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1–12.
20. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001;1(1):F4.3.1–F4.3.8.
21. Powdery mildew decreases the radial growth of oak trees with cumulative and delayed effects over years / D. Bert, J. B. Lasnier, X. Capdevielle, A. Dugravot, M. L. Desprez-Loustau. *PLoS ONE*. 2016;11(5):1–19.
22. Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents / N. Sumanta, C. I. Haque, J. Nishika, R. Suprakash. *Research Journal of Chemical Sciences*. 2014;4(9):63–69.

*Статья поступила в редакцию 17.09.2023; одобрена после рецензирования 24.10.2023; принята к публикации 31.10.2023.
The article was submitted 17.09.2023; approved after reviewing 24.10.2023; accepted for publication 31.10.2023.*

