

Юрий Николаевич Трубников<sup>1✉</sup>, Александр Артурович Шпедт<sup>2</sup>,  
Юлия Николаевна Соломенникова<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>ФИЦ Красноярского научного центра СО РАН, Красноярск, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

<sup>1,2,3</sup>trubnikov124@yandex.ru

## ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА АЗОТНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Цель исследования – установить степень соответствия показателей *N*-тестера SPAD502 истинному содержанию хлорофилла и азота в растениях сельскохозяйственных культур. Исследование проводилось в 2020–2021 гг. на территории землепользования ОАО птицефабрики «Заря», относящейся к агроэкологической зоне Красноярской лесостепи. Мониторинг растений на содержание хлорофилла осуществлялся в производственных посевах яровой пшеницы Новосибирская 29 и Новосибирская 31, а также в посевах различных сортов рапса, сои, льна масличного и пшеницы на участке ГСУ, расположенных на черноземе выщелоченном с содержанием гумуса 6,8–7,3 %; рН<sub>сол.</sub> – 6,9; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 175 мг/кг; K<sub>2</sub>O – 210 мг/кг (по Чирикову). Полевое определение концентрации хлорофилла проводили с помощью портативного прибора *N*-тестер SPAD-502. Исследовался флаговый лист растений. Все работы проводились в солнечную безветренную погоду при температуре 21–23 °С. Листья, прошедшие тестирование портативным прибором, в дальнейшем анализировались в лаборатории на содержание хлорофилла и валового азота. Содержание хлорофилла определяли спектрофотометрически с помощью прибора Cary 60 UV-Vis Agilent Technologies при длинах волн 470, 649, 665 и 720 нм. Пигменты извлекались из растительной ткани растворителем (96 % этанол). Определение общего азота проводили колориметрически с использованием метода мокрого озоления и реакции образования индофенольной зелени. Установлено, что содержание хлорофилла *a* варьировало в диапазоне 1,22–8,26 мг на 1 г сухой биомассы растения, содержание хлорофилла *b* – в диапазоне 1,19–9,16, содержание общего хлорофилла – в диапазоне 2,68–17,42, содержание валового азота – 0,28–0,31 %. Величина SPAD изменялась в пределах 2,9–44,7 единиц. Выявлена тесная корреляционная связь ( $r = 0,703–0,868$ ) между показаниями прибора и содержанием хлорофилла и азота в растениях. Результаты исследований показывают возможность применения фотометрического метода как инструмента оперативной диагностики азотного питания растений. Использование данного прибора может заменить более трудоемкие и дорогостоящие методы химической диагностики.

**Ключевые слова:** питание растений, сельскохозяйственные культуры, фотометрическая диагностика, *N*-тестер SPAD-502, хлорофилл, азот, корреляция

**Для цитирования:** Трубников Ю.Н., Шпедт А.А., Соломенникова Ю.Н. Фотометрическая экспресс-диагностика азотного питания растений // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 165–172. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-165-172.

Yuri Nikolaevich Trubnikov<sup>1✉</sup>, Alexander Arturovich Shpedt<sup>2</sup>, Yulia Nikolaevna Solomennikova<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Federal Research Center of the Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup>St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

<sup>1,2,3</sup>trubnikov124@yandex.ru

## PHOTOMETRIC EXPRESS DIAGNOSTICS OF NITROGEN NUTRITION OF PLANTS

The purpose of the study is to establish the degree of correspondence of the SPAD502 N-tester indicators to the true content of chlorophyll and nitrogen in crop plants. The study was conducted in 2020–2021 on the land use territory of the Zarya poultry farm OJSC, which belongs to the agro-ecological zone of the Krasnoyarsk forest-steppe. Monitoring plants for chlorophyll content was carried out in industrial crops of spring wheat Novosibirskaya 29 and Novosibirskaya 31, as well as in crops of various varieties of rape-seed, soybeans, oil flax and wheat at the GSU site, located on leached chernozem with a humus content of 6.8–7.3 %; pHsol. – 6.9; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 175 mg/kg; K<sub>2</sub>O – 210 mg/kg (according to Chirikov). Field determination of chlorophyll concentration was carried out using a portable device N-tester SPAD-502. The flag leaf of plants was studied. All work was carried out in sunny, windless weather at a temperature of 21–23 °C. Leaves tested with a portable device were further analyzed in the laboratory for chlorophyll and total nitrogen content. Chlorophyll contents were determined spectrophotometrically using an Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis instrument at wavelengths of 470, 649, 665 and 720 nm. Pigments were extracted from plant tissue using a solvent (96 % ethanol). The determination of total nitrogen was carried out colorimetrically using the wet ashing method and the reaction of indophenol green formation. It was found that the content of chlorophyll a varied in the range of 1.22–8.26 mg per 1 g of dry plant biomass, the content of chlorophyll b – in the range of 1.19–9.16, the content of total chlorophyll – in the range of 2.68–17.42, total nitrogen content – 0.28–0.31 %. The SPAD value varied from 2.9 to 44.7 units. A close correlation was revealed ( $r = 0.703–0.868$ ) between the instrument readings and the content of chlorophyll and nitrogen in plants. The research results show the possibility of using the photometric method as a tool for rapid diagnosis of nitrogen nutrition of plants. The use of this device can replace more labor-intensive and expensive methods of chemical diagnostics.

**Keywords:** plant nutrition, crops, photometric diagnostics, N-tester SPAD-502, chlorophyll, nitrogen, correlation

**For citation:** Trubnikov Yu.N., Shpedt A.A., Solomennikova Yu.N. Photometric express diagnostics of nitrogen nutrition of plants // Bulliten KrasSAU. 2023;(11): 165–172. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-165-172.

**Введение.** Азот является одним из важнейших питательных элементов для растений. Эффективное регулирование азотного питания может оптимизировать урожайность сельскохозяйственных культур, повысить рентабельность и минимизировать потери азота. Однако управление азотом является довольно сложным процессом, что обусловлено, в первую очередь, его высокой вариабельностью и динамичностью в агроценозах [1, 2].

На почвах земледельческой территории Сибири азот находится в первом минимуме, что предопределяет высокую и устойчивую эффективность азотных удобрений под все сельскохозяйственные культуры [3, 4]. Производственная отдача от применения азотных удобрений в виде получения дополнительной продукции во многом зависит от точности и оперативности диагностики азотного питания растений. Вопросы диагностики минерального питания в агрофитоценозах сельскохозяйственных культур были всегда актуальными, поскольку имели не только производственное и агроэкологическое, но и экономическое значение.

В настоящее время наряду с традиционными лабораторными методами диагностики находит применение фотометрический метод экспресс-диагностики азотного питания, в основе которого лежит определение интенсивности флуоресценции хлорофилла в листьях при регистрации и анализе оптических реакций (сигналов-откликов) растений в двух спектральных каналах при облучении их инфракрасными лучами. Основой метода является выявленная зависимость обеспеченности растений азотом от содержания хлорофилла в листьях, его фотоактивности (флуоресценции). Поэтому исходным принципом диагностической фотометрии служит определение в листьях концентрации хлорофилла или интенсивности флуоресценции [5].

Традиционные методы измерения содержания хлорофилла и валового азота, предусматривающие экстракции различными растворителями, являются достаточно точными, однако требуют много времени и затрат. Вместе с тем значительные потери пигментов могут происходить во время экстракции и разбавления, что приводит к высокой вариабельности результатов [6].

Современные методы экспресс-диагностики азотного питания предусматривают применение портативных приборов, показания которых косвенно отражают обеспеченность растений азотом. Работа N-тестера основана на измерении содержания хлорофилла в листе (в инфракрасном диапазоне), что сопряжено с уровнем азотного питания культуры. Для практического применения показателей N-тестера необходимы знания о корреляции между показателями прибора, с одной стороны, содержанием хлорофилла и азота – с другой, определенными стандартными лабораторными методами [7]. Это обстоятельство определяет актуальность проведенной работы. Методы диагностики состояния растений без разрушения их тканей используются в сельском хозяйстве более трех десятилетий. Эти методы, основанные на поглощении или отражении определенных длин волн света неповрежденными листьями, в последнее время заменили традиционные методы мокрой химической экстракции. Тем не менее, методы экстракции все еще необходимы для получения эталонных значений для оценки эффективности оптических методов.

Исследования, в которых проводились калибровки N-тестера SPAD-502, обычно описываются линейной зависимостью [8, 9], что соответствует пропорциональной зависимости между концентрацией пигмента и поглощением. Однако в ряде других исследований сообщается о криволинейной зависимости между хлорофиллом и значениями SPAD [10, 11]. Некоторые исследования показывают, что математические зависимости между показаниями SPAD-502 и хлорофиллом листьев могут меняться в зависимости от стадии роста растений и условий выращивания [12]. Предлагалось несколько объяснений этой нелинейности, таких как неравномерное распределение хлорофилла и излучения по поверхности листа и дифференциальное рассеяние, отражение фотонов при 650 и 940 нм [11, 13]. Поэтому математический расчет корреляции между значением SPAD и содержанием хлорофилла и азота может быть важным для оптимизации расширенной интерпретации данных, полученных с помощью хлорофиллометра. В целом методология интерпретации данных, получаемых помощью N-тестера SPAD-502, имеет некоторые неопределенности и требует дополнительных исследований.

**Цель исследования** – установить степень соответствия показателей N-тестера SPAD-502

истинному содержанию хлорофилла и азота в растениях сельскохозяйственных культур.

**Объекты и методы.** Исследование проводилось в 2020–2021 гг. на территории землепользования ОАО птицефабрики «Заря», относящейся к агроэкологической зоне Красноярской лесостепи. Мониторинг растений на содержание хлорофилла осуществлялся в посевах яровой пшеницы Новосибирская 29 и Новосибирская 31, расположенных на равнинной, открытой территории. Почва – чернозем выщелоченный с содержанием гумуса 6,8–7,3 %;  $pH_{\text{сол.}}$  – 6,9;  $P_2O_5$  – 175 мг/кг;  $K_2O$  – 210 мг/кг (по Чирикову).

Полевое определение концентрации хлорофилла проводили с помощью портативного прибора N-тестер SPAD-502. Исследовался флаговый лист пшеницы, который отбирался для дальнейшего лабораторного анализа. Полевое определение концентрации хлорофилла с помощью N-тестер SPAD-502 проводили также на территории ГСУ, расположенном на сопредельных полях. Исследованиям подвергались растения рапса, сои, льна масличного, пшеницы. Кроме того, измерения осуществлялись в образцах растений ячменя и овса, отобранные на опытном поле ОПХ «Минино». Все работы проводились в солнечную безветренную погоду при температуре 21–23 °С.

Листья, прошедшие тестирование портативным прибором, в дальнейшем анализировались в лаборатории на содержание хлорофилла и валового азота. Содержания хлорофилла определяли спектрофотометрически с помощью прибора Cary 60 UV-Vis Agilent Technologies при длинах волн 470, 649, 665 и 720 нм. Пигменты извлекались из растительной ткани растворителем (96 % этанол) по общепринятой методике [14]. Аликвота этого экстракта использовалась для определения содержания хлорофиллов *a* и *b*, а результаты выражались в мг хлорофилла/г высушенной ткани. Определение общего количества азота производили колориметрически с использованием метода мокрого озоления и реакции образования индофенольной зелени [15]. Озоление растительного материала проводили смесью концентрированной серной кислоты, содержащей селен, и 30 % раствора перекиси водорода. Повторность эксперимента – трехкратная. Результаты исследования обрабатывали методом корреляционно анализа в программе MS Excel с помощью пакета анализа.

**Результаты и их обсуждение.** Известно, что зеленые листья представляют собой интегральные органы информации о минеральном

питании растений, в т. ч. и об азотном [16]. Концентрация хлорофилла напрямую зависит от обеспеченности растений азотным питанием. Характерной особенностью химического состава хлорофиллов *a* и *b* служит наличие в их молекулах ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$  и  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$  соответственно) четырех атомов азота, что и предопределяет зависимость концентрации хлорофилла в листьях (основных фотосинтезирующих органах) от обеспеченности растений азотным питанием [17].

На рисунке 1 представлена зависимость содержания общего хлорофилла от показателей содержания валового азота в растениях пшеницы мягкой яровой. Данная зависимость имела линейный характер с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,4321$ .

На рисунке 2 представлены графические данные зависимости показателей N-тестера от показателей содержания валового азота, полученного лабораторным методом в листьях пшеницы.

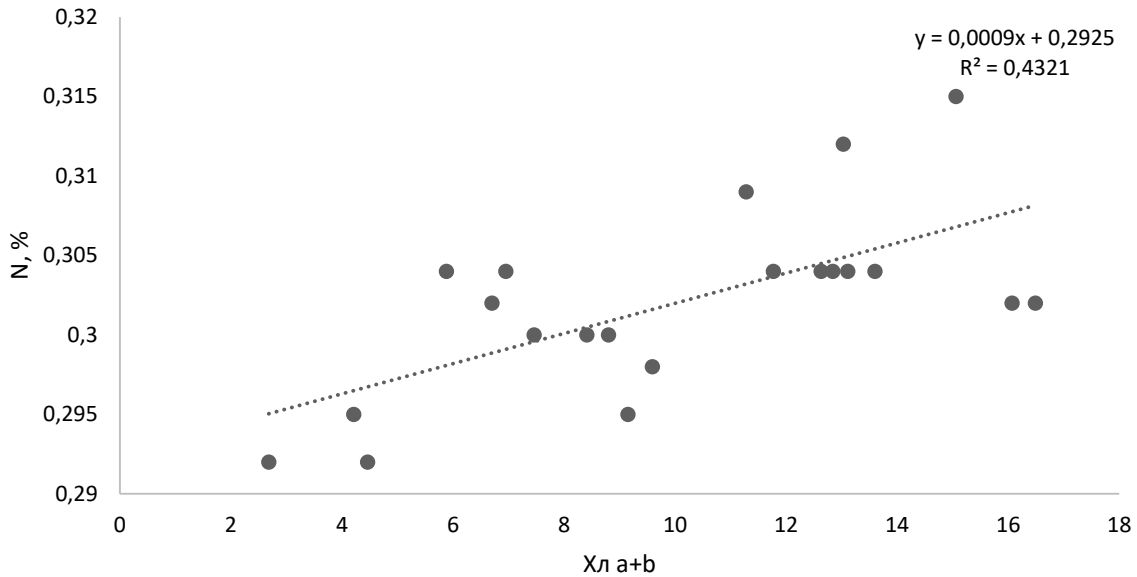


Рис. 1. Сопряженная зависимость содержания хлорофилла *a+b* с содержанием валового азота в листьях пшеницы

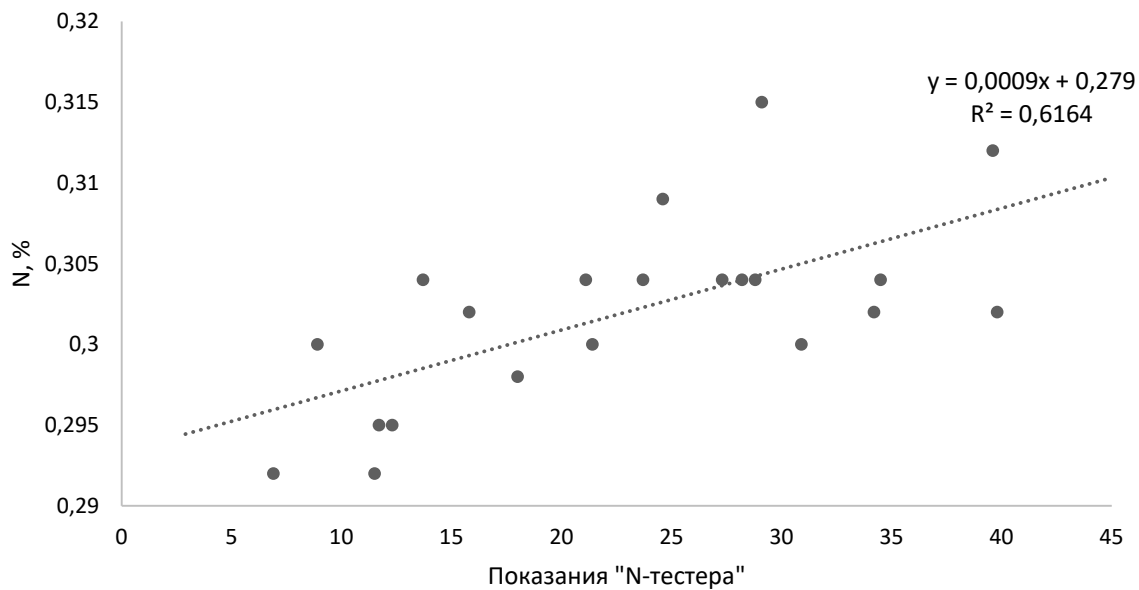


Рис. 2. Корреляционная зависимость показателей N-тестера от содержания азота в листьях пшеницы

Графическое отображение указывает, что связь показаний N-тестера и валового содержания азота имела линейный характер с высоким коэффициентом детерминации ( $R^2 = 0,6164$ ). Функциональная зависимость данных двух показателей имела вид  $y = 0,0009x + 0,279$ .

Наши исследования были посвящены поиску связи показателей N-тестера с показателями концентрации хлорофилла, установленными стандартными лабораторными методами. Результаты сравнительного анализа полученных данных показывают, что коэффициенты корреляции между значением N-тестера и тремя параметрами хлорофилла были существенными (рис. 3). Значение парной корреляции между содержанием общего хлорофилла и показателями N-тестера SPAD-502 для всех исследуе-

мых растений  $r = 0,703$  с зависимостью вида  $y = 5,1554e^{0,0245x}$ . Для хлорофилла *a* уравнение имело вид  $y = 0,1218x + 1,8285$  с коэффициентом корреляции  $r = 0,616$ . Для хлорофилла *b*  $y = 0,1088x + 2,3405$  с корреляцией  $r = 0,675$ . На графике видно, что коэффициент корреляции между значением N-тестера и тремя параметрами хлорофилла были значительными. С увеличением значения N-тестера содержание хлорофилла имело тенденцию к синхронному увеличению. Можно наблюдать, что тангенс угла наклона линии регрессии между общим содержанием хлорофилла и значением SPAD составляет 5,15, что свидетельствует о высокой скорости изменения данных вдоль линии регрессии и значительной их связанности.

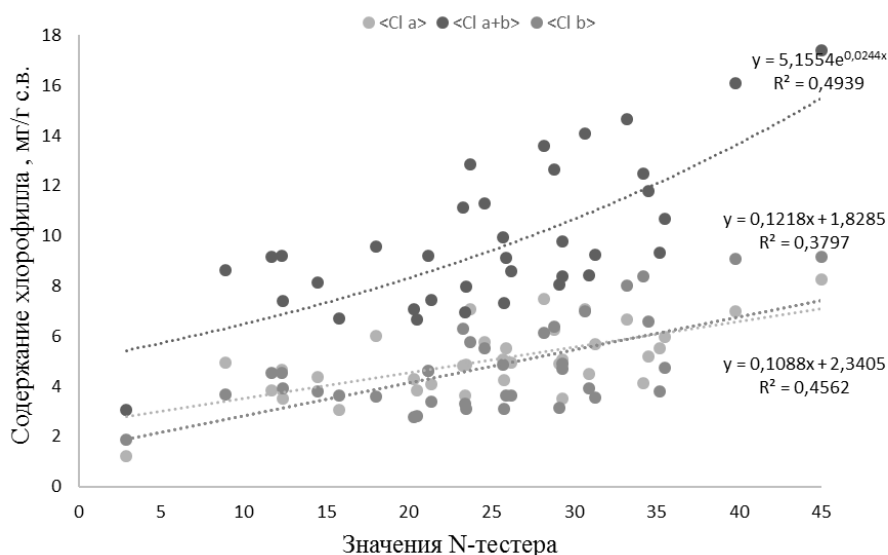


Рис. 3. Зависимость показателей N-тестера SPAD502 и содержания хлорофилла во всех исследуемых образцах

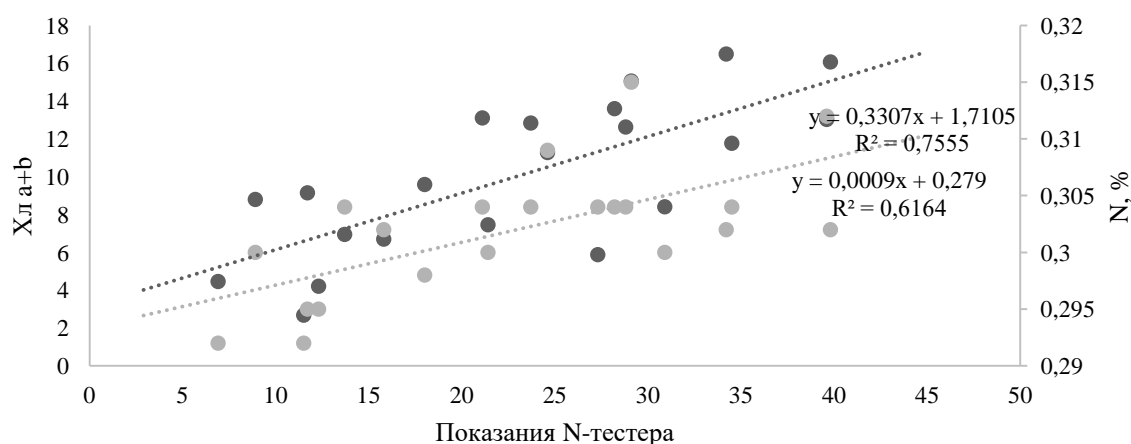


Рис. 4. Зависимость показателей содержания хлорофилла *a + b*, валового азота и показателей N-тестера в образцах пшеницы

Практическое значение показателей N-тестера заключается в их использовании в технологиях внекорневой подкормки растений в течение вегетационного периода. На рисунке 4 представлены графические данные зависимости показателей N-тестера от содержания хлорофилла и валового

азота, полученным лабораторным методом в листьях пшеницы. Установлено, что эта связь в обоих случаях положительна и линейна. Коэффициенты корреляции между значением N-тестера и тремя параметрами хлорофилла, а также валового азота были существенны (табл.).

### Зависимость показателей N-тестера SPAD502 от содержания хлорофилла и азота в листьях пшеницы

Форма хлорофилла, валовый азот	Коэффициент корреляции и коэффициент детерминации	Уравнение регрессии
Хл $a+b$	$R^2 = 0,755$ $r = 0,868$	$y = 0,3307x + 1,7105$
Хл $a$	$R^2 = 0,719$ $r = 0,848$	$y = 0,171x + 0,7114$
Хл $b$	$R^2 = 0,703$ $r = 0,838$	$y = 0,1625x + 0,9006$
N, %	$R^2 = 0,61$ $r = 0,785$	$y = 0,0009x + 0,279$

В данном случае зависимости показателей имели вид линейной функции.

Коэффициенты корреляции были существенными, что позволяет сопоставлять показатели прибора N-тестера SPAD502 с содержанием общего хлорофилла и валового азота в растениях пшеницы. В период максимального потребления элементов питания сельскохозяйственных культур N-тестер SPAD502 дает возможность получить данные как о состоянии растения, так и выявить неоднородность по полю, что позволяет с большой вероятностью диагностировать уровень азотного питания с помощью портативного прибора, не прибегая к химическим методам.

**Заключение.** Результаты исследования показывают возможность применения фотометрического метода как инструмента оперативной диагностики азотного питания растений. Экспериментально установленная сопряженность показателей портативного прибора с лабораторными показателями содержания хлорофилла и азота в растениях может быть использована при корректировке и интерпретации данных N-тестера SPAD-502 при мониторинге состояния посевов, оценке его качественных и количественных показателей, а также для принятия решений о необходимости внекорневых подкормок и расчета доз азотных удобрений. Использование данного прибора может заменить более трудоемкие и дорогостоящие методы химической диагностики.

### Список источников

1. Ренев Е.П., Еремин Д.И. Внутрипольная и временная вариабельность нитратного азота на полях Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12. С. 116–124.
2. Власенко О.А. Режим питания растений в агрочерноземах в зависимости от приемов основной обработки // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6. С. 11–19.
3. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд-ние, 2013. 790 с.
4. Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Оценка производительной способности и изменение свойств черноземов Красноярского края // Агрохимия. 2020. № 10. С. 9–14.
5. Сравнение показаний прибора, измеряющего хлорофилл, и содержания хлорофилла в листьях *Amaranthus vlitus*: корреляция с физиологическими процессами / Г. Канотис [и др.] // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 3. С. 442–444.
6. К вопросу разработки неинвазивных методов диагностики минерального питания яблони с использованием способа спектрометрии отраженного света / А.И. Кузин [и др.] // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 53. С. 157–162.
7. Использование прибора N-тестер «Яра» для диагностики азотного питания озимой пше-

- ницы / Ю.Ф. Осипов [и др.] // Плодородие 2011. № 11. С. 26–29.
8. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings / J. Uddling [et al.] // Photosynthesis research. 2007. Vol. 91, № 1. P. 37–46.
  9. Xu W., Rosenow D.T., Nguyen H.T. Stay green trait in grain sorghum: relationship between visual rating and leaf chlorophyll concentration // Plant Breeding. 2000. Vol. 119, № 4. P. 365–367.
  10. Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana / S. Coste [et al.] // Annals of Forest Science. 2010. Vol. 67, № 6. P. 607–607.
  11. Marengo R.A., Antezana-Vera S.A., Nascimento H.C.S. Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species // Photosynthetica. 2009. Vol. 47, № 2. P. 184–190.
  12. SPAD chlorophyll meter reading can be pronouncedly affected by chloroplast movement / J. Nauš [et al.] // Photosynthesis Research. 2010. Vol. 105, № 3. P. 265–271.
  13. Monje O. A., Bugbee B. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: a comparison of two types of meters // HortScience. 1992. Vol. 27, № 1. P. 69–71.
  14. Пат. RU 2244916. Способ определения хлорофилла в растениях гречихи / Лобков В.Т., Наполова Г.В.; патентообладатель Орловский гос. аграр. ун-т. № 2003120313/04; заявл. 02.07.2003; опублик. 20.01.2005, Бюл. № 2.
  15. Методики агрохимических исследований почв и растений: учебно-практическое пособие / В.Н. Дышко [и др.]. Смоленск: Смоленская ГСХА, 2014. 197 с.
  16. Ермохин Ю.И. Основы прикладной агрохимии: учеб. пособие. Омск: Вариант-Сибирь, 2004. 117 с.
  17. Веретенников А.В. Физиология растений: учебник. М.: Академический Проект, 2006. 480 с.
  2. Vlasenko O.A. Rezhim pitaniya rastenij v agrochernozemah v zavisimosti ot priemov osnovnoj obrabotki // Vestnik KrasGAU. 2020. № 6. S. 11–19.
  3. Gamzikov G.P. Agrohimiya azota v agrocenozah. Novosibirsk: RASHN, Sib. otd-nie, 2013. 790 s.
  4. Shpedt A.A., Trubnikov Yu.N. Ocenka proizvoditel'noj sposobnosti i izmenenie svojstv chernozemov Krasnoyarskogo kraja // Agrohimiya. 2020. № 10. S. 9–14.
  5. Sravnenie pokazanij pribora, izmeryayuschego hlorofill, i sodержaniya hlorofilla v list'yah *Amaranthus vlitus*: korrelyaciya s fiziologicheskimi processami / G. Kapotis [i dr.] // Fiziologiya rastenij. 2003. T. 50, № 3. S. 442–444.
  6. K voprosu razrabotki nedestruktivnyh metodov diagnostiki mineral'nogo pitaniya yabloni s ispol'zovaniem sposoba spektrometrii otrazhennogo sveta / A.I. Kuzin [i dr.] // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2018. T. 53. S. 157–162.
  7. Ispol'zovanie pribora N-tester «Yara» dlya diagnostiki azotnogo pitaniya ozimoy pshenicy / Yu.F. Osipov [i dr.] // Plodorodie 2011. № 11. S. 26–29.
  8. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings / J. Uddling [et al.] // Photosynthesis research. 2007. Vol. 91, № 1. P. 37–46.
  9. Xu W., Rosenow D.T., Nguyen H.T. Stay green trait in grain sorghum: relationship between visual rating and leaf chlorophyll concentration // Plant Breeding. 2000. Vol. 119, № 4. P. 365–367.
  10. Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana / S. Coste [et al.] // Annals of Forest Science. 2010. Vol. 67, № 6. P. 607–607.
  11. Marengo R.A., Antezana-Vera S.A., Nascimento H.C.S. Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species // Photosynthetica. 2009. Vol. 47, № 2. P. 184–190.
  12. SPAD chlorophyll meter reading can be pronouncedly affected by chloroplast movement / J. Nauš [et al.] // Photosynthesis Research. 2010. Vol. 105, № 3. P. 265–271.
  13. Monje O. A., Bugbee B. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: a comparison of two types of meters // HortScience. 1992. Vol. 27, № 1. P. 69–71.

### References

1. Renev E.P., Eremin D.I. Vnutripol'naya i vremennaya variabel'nost' nitratnogo azota na polyah Zapadnoj Sibiri // Vestnik KrasGAU. 2021. № 12. S. 116–124.

14. Pat. RU 2244916. Sposob opredeleniya hlorofilla v rasteniyah grechihi / *Lobkov V.T., Napolova G.V.*; patentoobladatel' Orlovskij gos. agrar. un-t. № 2003120313/04; zayavl. 02.07.2003; opubl. 20.01.2005, Byul. № 2.
16. Metodiki agrohimicheskikh issledovanij pochv i rastenij: uchebno-prakticheskoe posobie / *V.N. Dyshko* [i dr.]. Smolensk: Smolenskaya GSHA, 2014. 197 s.
17. *Ermohin Yu.I.* Osnovy prikladnoj agrohimii: ucheb. posobie. Omsk: Variant-Sibir', 2004. 117 s.
18. *Veretennikov A.V.* Fiziologiya rastenij: ucheb-nik. M.: Akademicheskij Proekt, 2006. 480 s.

Статья принята к публикации 26.09.2023 / The article accepted for publication 26.09.2023.

Информация об авторах:

**Юрий Николаевич Трубников**<sup>1</sup>, главный научный сотрудник лаборатории космических систем и технологий, доктор сельскохозяйственных наук

**Александр Артурович Шпедт**<sup>2</sup>, директор, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН

**Юлия Николаевна Соломенникова**<sup>3</sup>, магистр

Information about the authors:

**Yuri Nikolaevich Trubnikov**<sup>1</sup>, Chief Researcher, Laboratory of Space Systems and Technologies, Doctor of Agricultural Sciences

**Alexander Arturovich Shpedt**<sup>2</sup>, Director, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

**Yulia Nikolaevna Solomennikova**<sup>3</sup>, Master

