



## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ МЕТОДАМИ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ

Ф. В. ЕРОШЕНКО, доктор биологических наук, заведующий отделом физиологии растений,  
И. Г. СТОРЧАК, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела физиологии растений,

И. В. ЧЕРНОВА, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории оценки экологического состояния агроценозов,

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

(356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49; тел.: +7 962 454-14-96, +7 918 747-02-56, +7 918 885-79-35;  
e-mail: yer-sniish@mail.ru, sniish.storchak@gmail.com, chernova\_skfu@mail.ru)

**Ключевые слова:** экспресс-диагностика, оптические свойства растений, хлорофилл, содержание азота.

Возможность быстрого принятия решений по использованию технологических приемов при выращивании сельскохозяйственных культур, позволяющих управлять продукционным процессом, диктует необходимость разработки таких способов диагностического состояния растений, которые с высокой степенью оперативности позволили бы давать рекомендации по уходным мероприятиям сельхозтоваропроизводителям. К таким способам относятся методы экспресс-диагностики. Представлен обзор как литературных данных так и результатов собственных многолетних исследований с использованием методов оценки состояния растений, связанных с их оптическими свойствами. Так, метод замедленной флуоресценции можно использовать для характеристики фотосинтетической активности. В исследованиях авторов была установлена высокая корреляционная связь между скоростью тушения замедленной флуоресценции и нитратредуктазной активностью (коэффициент корреляции составил 0,88 и 0,97 у высокорослых и низкорослых сортов озимой пшеницы в период налива зерна соответственно). Исследованиями по установлению закономерностей поглощения азота растениями озимой пшеницы после поздней некорневой подкормки, когда наряду с содержанием азота определяли концентрацию хлорофилла и показания N-tester, было выявлено, что с помощью этого прибора возможно оценить потребность в азотных подкормках озимой пшеницы (коэффициент корреляции между показаниями N-tester и содержанием азота составил 0,77). При изучении связи вегетационного индекса NDVI с условиями азотного питания было показано, что возможно использование данных ДЗЗ для оценки потребности растений в азотном питании (коэффициент корреляции между NDVI и содержанием азота в растениях составил 0,77). В качестве измерителя вегетационного индекса отдельных полей можно использовать ручной сканер GreenSeeker. На основе проведенного анализа авторы делают вывод о том, что показатели, в том числе характеризующие оптические свойства растений, полученные с помощью приборов экспресс-диагностики, должны использоваться только в комплексе с другими характеристиками посевов при оценке их физиологического состояния для разработки рекомендаций по научному обеспечению производства сельскохозяйственных культур.

## ASSESSMENT OF PLANT CONDITION BY EXPRESS-DIAGNOSTIC METHODS

F. V. EROSHENKO, doctor of biological sciences, head of the plant physiology department,

I. G. STORCHAK, candidate of agricultural sciences, senior research fellow, department of plant physiology,

I. V. CHERNOVA, candidate of geography, Senior researcher, laboratory of environmental assessment of agroecosystems,

North-Caucasian Federal Scientific Agrarian Center

(49 Nikonova Str., 356241, Stavropol Territory, Mikhailovsk; phone: +7 962 454-14-96, +7 918 747-02-56, +7 918 885-79-35; e-mail: yer-sniish@mail.ru, sniish.storchak@gmail.com, chernova\_skfu@mail.ru)

**Keywords:** express diagnostics, optical properties of plants, chlorophyll, nitrogen content.

The ability to quickly make decisions on the use of technological methods in growing crops, which allows to control the production process, dictates the need to develop methods of diagnostic state of plants that, with a high degree of efficiency, would allow to give recommendations on the measures taken by agricultural producers. Such methods include methods of rapid diagnosis. A review is presented of both literature data and the results of our own long-term studies using methods for assessing the state of plants related to their optical properties. So the method of delayed fluorescence can be used to characterize photosynthetic activity. In the authors' research, a high correlation was established between the quenching rate of delayed fluorescence and nitrate reductase activity (the correlation coefficient was 0.88 and 0.97 in high and low-growing winter wheat varieties during the grain loading period, respectively). Studies to establish patterns of nitrogen absorption by plants of winter wheat after late non-root dressing, when along with the nitrogen content the chlorophyll concentration and N-tester readings were determined, it was possible to estimate the need for winter wheat nitrogen feeds with this instrument (correlation coefficient between readings T-tester and nitrogen content was 0.77). When studying the relationship of the NDVI vegetation index with the conditions of nitrogen nutrition, it was shown that it is possible to use ERS data to estimate the plant's need for nitrogen nutrition (the correlation coefficient between NDVI and the nitrogen content in plants was 0.77). You can use the GreenSeeker handheld scanner as a vegetation index meter for individual fields. Based on the analysis, the authors conclude that indicators, including those characterizing the optical properties of plants, obtained using express diagnostics devices, should be used only in conjunction with other characteristics of crops when assessing their physiological state to develop recommendations for the scientific support of production crops.

**Цель и методика исследований**

Экспресс-диагностика состояния растительного организма – важная составляющая контроля продукционного процесса посевов сельскохозяйственных культур. Разработка методик и приборов, позволяющих быстро, объективно и без нарушения целостности биологического объекта оценить активность его основных физиологических реакций на протяжении многих десятилетий привлекала внимание исследователей. Такой интерес объясняется тем, что для управления процессами формирования урожая необходимы данные, позволяющие дать рекомендации по срокам, формам и дозам применения как микро- и макроэлементов минерального питания, так и физиологически активных, рост регулирующих веществ и средств защиты растений, что дает возможность с помощью научно обоснованных технологических мероприятий оптимизировать продукционный процесс растений.

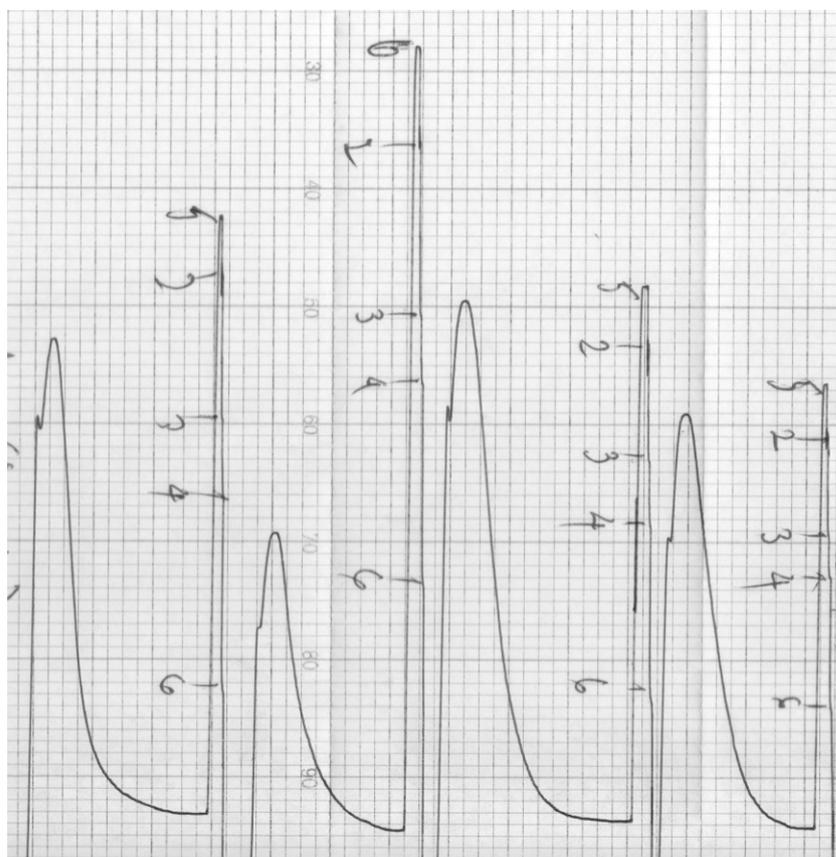
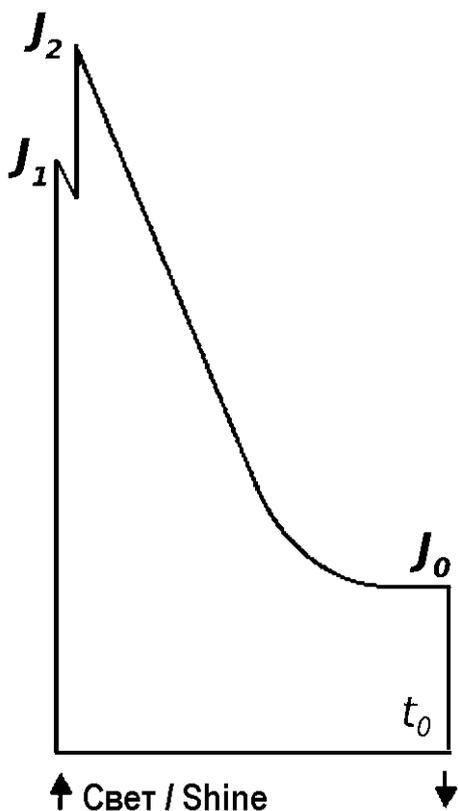
Наиболее доступными характеристиками нативного растения (кроме биометрических) являются его оптические свойства. Поэтому методы быстрой оценки состояния посевов, разрабатываемые исследователями, связаны с фотосинтетической функцией.

В конце прошлого века широкое распространение получили люминесцентные методы, наиболее

информативным из которых был метод замедленной флуоресценции (послесвечение). Этот метод отзывчив на меняющиеся условия окружающей среды, так как скорости первичных процессов фотосинтеза, с которыми непосредственно связана замедленная флуоресценция, зависят от пространственной и структурной организации ассимиляционного аппарата. Поэтому даже незначительные воздействия на пигмент-белковые комплексы отражаются на транспорте электронов – основы световых стадий фотосинтеза. О состоянии и активности первичных процессов фотосинтеза можно судить по характеристикам индукционной кривой замедленной флуоресценции (ЗФ) органов растений (рис. 1).

**Результаты исследований**

Перед проведением анализа исследуемый образец выдерживают в темноте (темновая адаптация). При включении света наблюдается резкое увеличение свечения ( $J_1$ ), после незначительного спада оно возрастает вновь до максимального значения ( $J_2$ ). Далее наступает медленная фаза тушения до стационарного уровня ( $J_0$ ). Считается, что  $J_1$  и  $J_2$  связаны с величиной протонного и электрохимического потенциала на тилакоидной мембране, а  $J_0$  – с той частью поглощенной светособирающим комплексом солнечной энергией, которая не участвует в процессах фотосинтеза.



Лента самописца / Recorder tape  
 Рис. 1. Кинетическая кривая замедленной флуоресценции  
 Fig. 1. Kinetic curve of slow fluorescence

Скорость тушения замедленной флуоресценции (СТЗФ) – скорость, с которой интенсивность свечения снижается от максимального значения до стационарного уровня. Она характеризует активность использования темновыми реакциями продуктов первичных процессов фотосинтеза. СТЗФ рассчитывается как  $(J_2 - J_0)/t_0$ , где  $t_0$  – время, за которое свечение выходит на стационарный уровень.

Еще одна характеристика кинетики замедленной флуоресценции – это коэффициент энергетической эффективности фотосинтеза ( $K_{эф}$ ), который рассчитывается как отношение индукционного максимума к стационарному уровню.  $K_{эф}$  отражает соотношение между световой энергией, попавшей в первичные реакции фотосинтеза и энергией, эффективно использованной.

Скорость тушения замедленной флуоресценции и коэффициент энергетической эффективности фотосинтеза коррелируют с интенсивностью фотосинтеза, со скоростью синтеза АТФ, а также с другими восстановительными реакциями. Так, нами была установлена тесная взаимосвязь скорости тушения замедленной флуоресценции с активностью ключевого фермента метаболизма азота – нитратредуктазы. В период налива зерна коэффициент корреляции между скоростью тушения ЗФ и нитратредуктазной активностью у высокорослых сортов озимой пшеницы составляет 0,88, а у низкорослых – 0,97 (рис. 2).

С начала 2000-х годов в производстве широко стал внедряться прибор N-тестер [1–3]. С помощью экспресс-измерений (полевые условия, нативные растения) и с использованием различных шкал производится перевод показаний прибора в дозы удобре-

ний на предполагаемую урожайность. Его принцип действия основан на том, что динамика содержания хлорофилла в онтогенезе параллельна динамике концентрации азота. Хлорофилл имеет максимум поглощения в синей и красной областях спектра видимой части электромагнитных волн [4, 5]. Обычно для измерительных целей используется красная область – 680 нм. Коэффициент отражения (поглощения) листа растений в этой части спектра прибора N-тестер пропорционален количеству хлорофилла, а следовательно, концентрации азота. То есть оптическая характеристика растений дает возможность судить об их обеспеченности азотным питанием.

Мы изучали процесс усвоения азота растениями при применении поздних некорневых азотных подкормок на посевах озимой пшеницы. Одновременно с проведением химических анализов по определению хлорофилла (по Милаевой и Примака) и азота (по Куркаеву) мы анализировали показания прибора N-тестер.

Поздние некорневые азотные подкормки являются важным технологическим приемом при возделывании озимой пшеницы. Они позволяют улучшить азотное питание растений в генеративный период и способствуют повышению не только урожая зерна, но и улучшению его качества.

Необходимость изучения динамики усвоения азота при внекорневых подкормках продиктована как теоретической, так и практической значимостью этого процесса. Знание количества и периода усвоения азота позволяет, во-первых, более эффективно планировать уходные мероприятия за посевами, а во-вторых, использовать полученные результаты

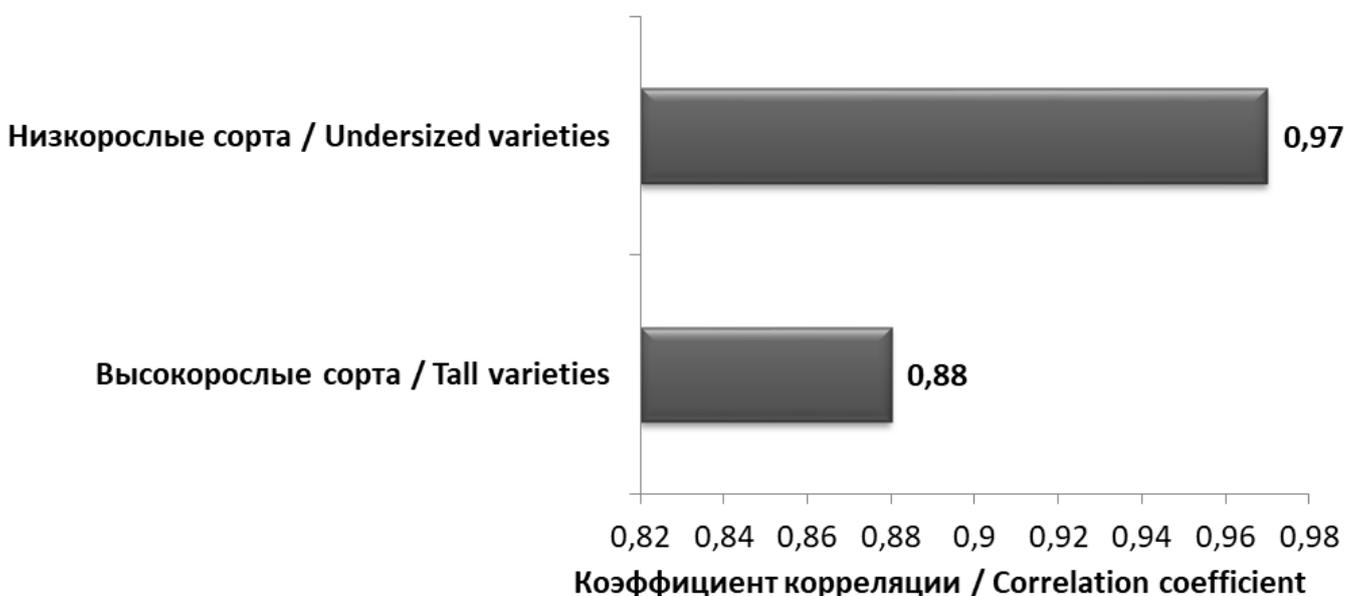


Рис. 2. Коэффициент корреляции между скоростью тушения замедленной флуоресценции и нитратредуктазной активностью в период налива зерна озимой пшеницы  
 Fig. 2. Correlation coefficient between the quenching rate of delayed fluorescence and nitrate reductase activity during the loading period of winter wheat grain

Полученные данные свидетельствуют о том, что уже через 2 часа после обработки практически половина азота поглощается растением озимой пшеницы (рис. 3 и 4). Всего в наших опытах листьями усваивалось до 85 % примененного азота, что происходило через 32 часа после обработки. Следует отметить,

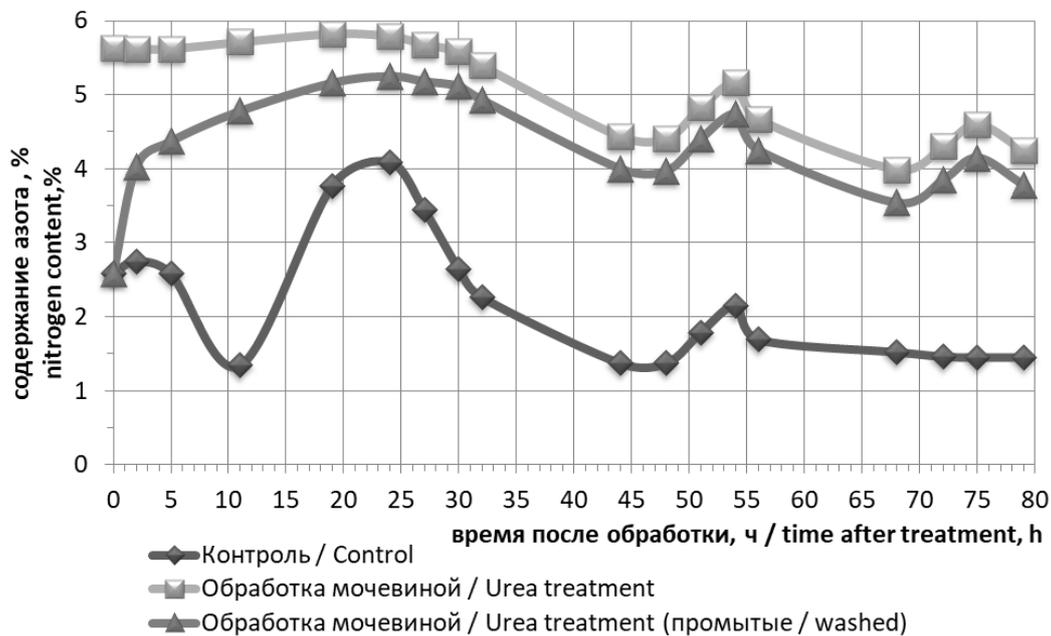


Рис. 3. Динамика содержания азота во флаг-листе озимой пшеницы после внекорневой подкормки мочевиной (X этап органогенеза)

Fig. 3. Dynamics of nitrogen content in the flag-sheet of winter wheat after foliar feeding with urea (stage X of organogenesis)

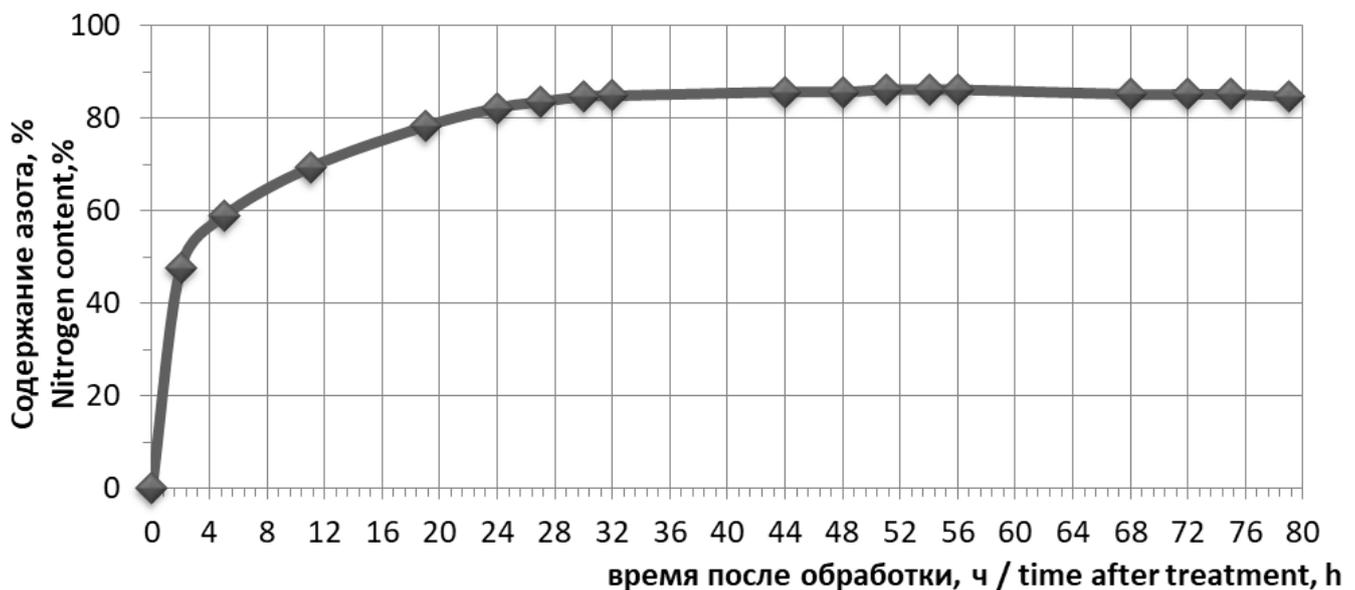


Рис. 4. Усвоение азота флаг-листом при внекорневой подкормке озимой пшеницы мочевиной (X этап органогенеза)

Fig. 4. The uptake of nitrogen by the flag-sheet when foliar feeding winter wheat with urea (stage X of organogenesis)

при совершенствовании технологий возделывания озимой пшеницы.

После опрыскивания посевов раствором карбамида (30 кг/га по д. в. из расчета 200 литров раствора на гектар) мы отбирали образцы (флаг-лист) у следующих вариантов:

- контроль, необработанные раствором мочевины, промытые дистиллированной водой;

- обработанные раствором мочевины вместе с неусвоенной частью в виде солевого налета на листовых пластинках;

- обработанные раствором мочевины и промытые дистиллированной водой (без неусвоенной части, которая находилась на листовых пластинках как солевой налет).

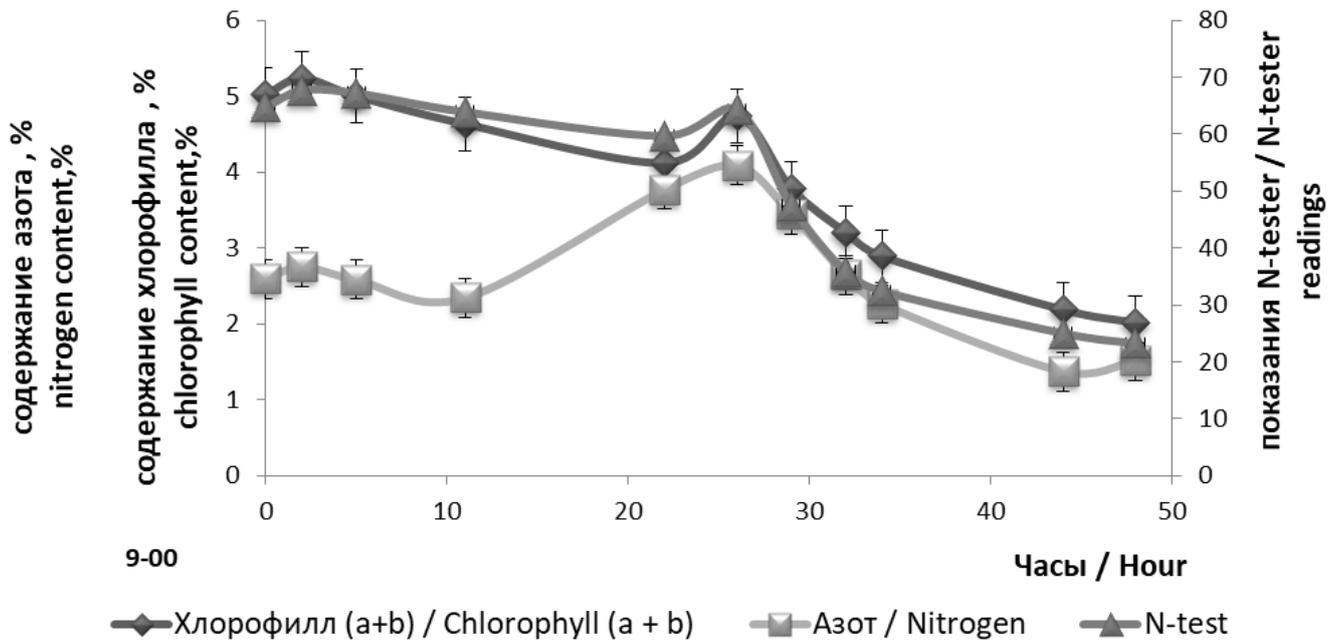


Рис. 5. Динамика хлорофилла (a + b), азота и показаний прибора N-тестер флаг-листа озимой пшеницы (X этап органогенеза)  
 Fig. 5. Dynamics of chlorophyll (a + b), nitrogen and instrument readings N-tester of the flag-list of winter wheat (stage X of organogenesis)

что практически весь азот, который может усвоиться растением (80 % от примененного) поглощается листовыми пластинами уже через 22 часа.

Как уже отмечалось, параллельно с определением содержания азота и хлорофилла мы фиксировали показания N-тестера. На рисунке 5 представлен график динамики этих 3-х величин у контрольных образцов (у остальных образцов характер изменений соотношения изученных показателей аналогичен контрольному).

С помощью несложных вычислений мы определили динамику усвоения азота растениями в процентах (рис. 4).

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что между полученными показателями существует тесная взаимосвязь. Так, коэффициент корреляции между содержанием хлорофилла и азота составляет 0,76, между показаниями N-тестера и азота – 0,77. Следует отметить, что взаимосвязь между содержанием зеленых пигментов в листе и показаниями N-тестера оцениваются величиной коэффициента корреляции, равной 0,97 (рис. 5). Это объясняется тем, что, как уже отмечалось, принцип работы данного прибора основан на определении поглонительной способности растений в спектральной области, соответствующей максимуму поглощения хлорофилла.

Обращает на себя внимание то, что изученные показатели характеризуются изменениями своих значений в течение суток. Полученная закономерность объясняется тем, что содержание хлорофилла и азота в растениях отражает их физиологическое состояние, которое зависит от фотосинтетической,

метаболической, транспирационной и т. д. активности, зависящих от освещенности, температуры, влажности, скорости ветра и пр., изменяющихся в течение суток.

Тот факт, что оптические свойства растений отражают содержание в них азота, находит применение и в предлагаемых в последнее время приборах по измерению так называемых вегетационных индексов, в частности NDVI. NDVI – Normalized Difference Vegetation Index – представляет собой отношение разности интенсивности поглощения в ближней инфракрасной и красной областях спектра к их сумме. С начала 1980-х годов NDVI стал активно использоваться для мониторинга сельскохозяйственных культур и прогнозирования урожайности. Этот показатель в основном рассчитывают по данным дистанционного зондирования Земли из космоса (спутниковые снимки красного и инфракрасного каналов).

Так как в формуле расчета NDVI присутствует коэффициент поглощения в красной области, то, несомненно, должна существовать взаимосвязь между этим показателем и содержанием хлорофилла, и, как следствие, с концентрацией азота в растениях. В наших исследованиях она прослеживается, причем явно выраженная (рис. 6). Исследования проводили на производственных посевах Северо-Кавказского ФНАЦ. Значения NDVI получены с использованием данных сервиса VEGA Института космических исследований РАН (<http://pro-vega.ru>).

Обратный характер полученной зависимости обусловлен тем, что при расчете NDVI используются коэффициенты отражения. Поэтому чем больше

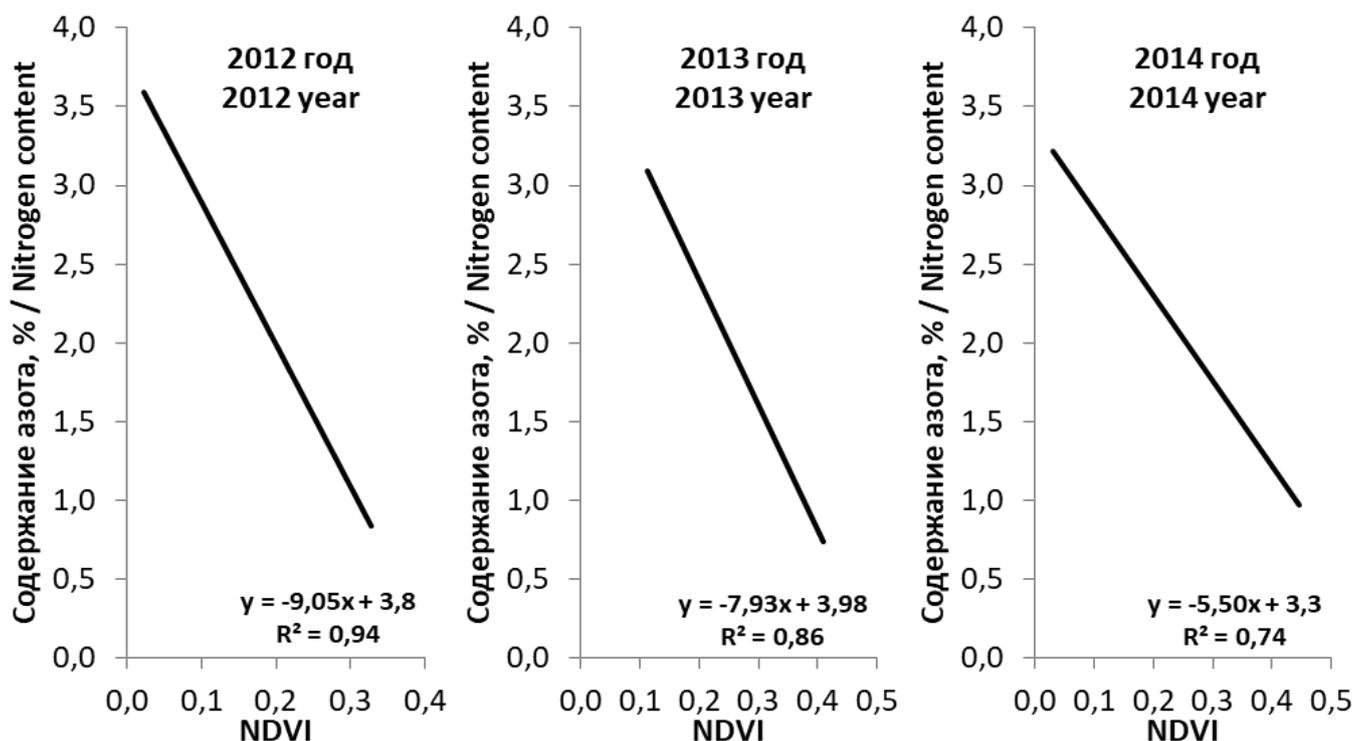


Рис. 6. Зависимость между содержанием азота в растениях и NDVI посевов озимой пшеницы (в среднем за 2012–2014 годы исследований коэффициент корреляции 0,85)  
 Fig. 6. The relationship between the nitrogen content in plants and NDVI crops of winter wheat (the average for the 2012–2014 research period, the correlation coefficient of 0.85)

хлорофилла в растениях, равно как и азота, тем больше поглотительная способность посева в красной области спектра, при этом коэффициент отражения меньше, что наблюдается в полученной зависимости.

NDVI отдельных посевов и даже небольших делянок опытов можно измерить прибором Greensseeker [6–8]. Он же предлагается и как определитель потребности растений в азотных подкормках:

- <http://egps.ru/product/greenseeker-158/>;
- <http://mahachkala.stavtrack.ru/oborudovanie/system-greenseeker.html>;
- <http://www.bukker-kk.ru/katalog/ssh/111-greenseeker>
- и так далее.

Если N-тестер использовался только как прибор, позволяющий определить потребность растений в азотном питании, то Greensseeker предлагают еще и для контроля физиологического состояния, накопления биомассы, оценки продуктивности и для многого другого. К сожалению, главной мотивацией продавцов таких приборов с их рекламами не является научное обеспечение сельскохозяйственного производства. И N-тестер, и Greensseeker – замечательный инструментальный, позволяющий оценить

оптические свойства растений. В то же время методология интерпретации получаемых с их помощью данных пока еще слабо разработана. С другой стороны, один-единственный показатель, каким бы он ни был важным для растений, не может в достаточной степени охарактеризовать состояние посева, его потребности, а главное – необходимости применения тех или иных технологических мероприятий. Например, для разработки рекомендаций по срокам, формам и дозам применения азотных подкормок наряду со знанием содержания этого элемента минерального питания в растениях необходимо учитывать сортовые и технологические особенности, запасы азота в почве, ее влагообеспеченность и многие другие факторы [9].

#### Выводы. Рекомендации

Таким образом, с нашей точки зрения, показатели, в том числе характеризующие оптические свойства растений, полученные с помощью приборов экспресс-диагностики, должны использоваться только в комплексе с другими характеристиками посевов при оценке их физиологического состояния для разработки рекомендаций по научному обеспечению производства сельскохозяйственных культур.

#### Литература

1. Заболотских В. В., Журик С. А. Применение N-тестера Yara как инструмента оперативной диагностики азотного питания яровых зерновых культур // Наука и мир. 2017. Т. 1. № 6 (46). С. 56–61.
2. Белоусова К. В., Афанасьев Р. А., Березовский Е. В. Фотометрическая экспресс-диагностика азотного питания растений // Агротехнологии. 2015. № 7. С. 78–84.

3. Афанасьев Р. А. Инновационные методы экспресс-диагностики азотного питания растений // Перспективы использования новых форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: материалы докладов участников VIII конференции «Анапа-2014». 2014. С. 10–13.
4. Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г. NDVI и оптико-биологические свойства посевов озимой пшеницы [Электронный ресурс] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: XII Всероссийская открытая конференция. 2014.
5. Тугуз Р. К., Панеш А. Х. Оценка урожайности озимой пшеницы с помощью сервисов геоинформационных систем // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири Монография. В 5 томах. 2018. С. 448–453.
6. Жигунова С. Н., Михайленко О. И., Христуло О. И., Бикташев Т. У., Федоров Н. И. Особенности сезонной динамики вегетационного индекса NDVI растительности городских газонов, оцениваемого с использованием ручного оптического датчика GreenSeeker // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. 2017. № 3-1. С. 72–76.
7. Железова С. В. Применение оптических датчиков для оценки состояния посевов озимой пшеницы // Агрофизика. 2018. № 3. С. 42–47.
8. Подушин Ю. В., Федулов Ю. П., Макаренко А. А. Применение вегетационного индекса NDVI для оценки влияния агротехнических факторов на рост растений // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2016 г. 2017. С. 243–244.
9. Кулинцев В. В., Годунова Е. И., Нешин И. В., Дуденко Н. В., Ерошенко Ф. В., Орехова А. Н., Ерошенко А. А., Черкашин В. Н., Черкашин Г. В., Мрыхина А. Н., Шаповалова Н. Н., Хрипунов А. И. Рекомендации по научно обоснованному уходу за посевами озимой пшеницы для повышения урожайности зерна и его качества. – Ставрополь : АГРУС, 2014. – 32 с.

#### References

1. Zabolotskikh V. V., Zhurik S. A. Application of N-tester Yara as a tool for rapid diagnosis of nitrogen nutrition of spring crops // Science and World. 2017. Vol. 1. No. 6 (46). Pp. 56–61.
2. Belousova K. V., Afanasiev R. A., Berezovsky E. V. Photometric express-diagnostics of nitrogen nutrition of plants // Agrochemistry. 2015. No. 7. Pp. 78–84.
3. Afanasiev R. A. Innovative methods of express-diagnostics of nitrogen nutrition of plants the prospects for the use of new forms of fertilizers, means of protection and regulators of growth of plants in agricultural technologies of agricultural crops: materials of reports of participants of the VIII conference “Anapa-2014”. 2014. Pp. 10–13.
4. Eroshenko F. V., Storchak I. G., NDVI and optical and biological properties of winter wheat crops [Electronic resource] // Modern problems of remote sensing of the Earth from space: XII All-Russian open conference. 2014.
5. Tuguz R. K., Panesh A. H. Estimation of winter wheat yield with the help of geographic information systems services // New methods and results of landscape studies in Europe, Central Asia and Siberia Monograph. In 5 volumes. 2018. Pp. 448–453.
6. Zhigunov S. N., Mikhailenko O. I., Hristodulo O. I., Biktashev T. U., Fedorov N. I. peculiarities of seasonal dynamics of NDVI index of the vegetation of urban lawns, as measured using a hand-held GreenSeeker optical sensor // Proceedings of the Ufa Scientific Center of Russian Academy of Sciences. 2017. No. 3-1. Pp. 72–76.
7. Zhelezova S. V. Application of optical sensors to assess the state of winter wheat crops // Agrophysics. 2018. No. 3. Pp. 42–47.
8. Podushin Yu. V., Fedulov Yu. P., Makarenko A. A. Application of vegetation index NDVI to assess the impact of agrotechnical factors on plant growth // Scientific support of agroindustrial complex: collection of articles on the materials of the 72nd scientific-practical conference of teachers on the results of science and research work in 2016. 2017. Pp. 243–244.
9. Kulintsev V. V., Godunov, E. I., Nesin I. V., Gudenko N. V., Eroshenko, F. V., Orekhov A. N., Eroshenko A. A., Cherkashin, V. N., Cherkashin G. V., Malykhina A. N., Shapovalova N. N., Khripunov A. I. Recommendations for evidence-based care of crops of winter wheat to improve grain yield and quality. – Stavropol : AGRUS, 2014. – 32 p.