



DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu.11.2018.2.1>

UDC 631.84; 631:454

LBC 40.40

## REMOTE DIAGNOSTICS EFFICIENCY IN CASE OF PLANTS NITROGEN NUTRITION

**Rafail A. Afanas'ev**

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

**Irina N. Voronchihina**

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

**Vladimir A. Litvinskiy**

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The article summarizes foreign and own research on the development of photometric methods for the diagnosis of nitrogen nutrition of plants. Previous own research has shown that ground and aerospace surveys can be successfully used to diagnose nitrogen nutrition of plants. However, despite significant advantages over traditional chemical diagnostics, both terrestrial and space indications of the availability of agricultural crops with nitrogen have certain limitations: terrestrial - by the scale of coverage, aerospace - by time parameters. At the same time, it was shown that the use of low-flying aircraft, in particular helicopters, is most suitable for photometric inspection of crops, although its application has a significant limitation - at the cost of diagnostic work. In this regard, the most promising for the rapid diagnosis of nitrogen nutrition of plants is the use of unmanned aerial vehicles - UAV, equipped with appropriate photometric equipment. Testing the effectiveness of remote, using unmanned aerial vehicles, diagnosis of nitrogen nutrition test culture - winter wheat in the field experiment with increasing doses of nitrogen fertilizers showed a close dependence of the UAV instrument readings, namely the vegetative index (NDVI), with the supply of plants with nitrogen. Efficiency and technological simplicity, as well as the economic component of the use of unmanned aerial vehicles for monitoring crops of crops, essentially open a new page in solving the problem of nitrogen nutrient nutrition in plants.

**Key words:** remote diagnostics, photometers, UAV, nitrogen, fertilizers, crops, yield.

УДК 631.84; 631:454

ББК 40.40

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

**Рафаил Александрович Афанасьев**

ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, г. Москва, Российская Федерация

**Ирина Николаевна Ворончихина**

ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, г. Москва, Российская Федерация

**Владимир Анатольевич Литвинский**

ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье обобщены зарубежные и собственные исследования по разработке фотометрических методов диагностики азотного питания растений. Прежние собственные исследования показали, что наземная и авиакосмическая съемки могут с успехом применяться для диагностики азотного питания растений. Однако, несмотря на значительные преимущества по сравнению с традиционной химической диагностикой, и наземная, и космическая индикация обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом имеют определенные ограничения: наземная – по масштабности охвата, авиакосмическая – по временным параметрам. В то же время было показано, что для фотометрического обследования посевов более всего подходит использование низколетящей авиации, в частности вертолетов, хотя и ее применение имеет существенное ограничение – по стоимости диагностических работ. В данном отношении наиболее перспективным представляется использование для оперативной диагностики азотного питания растений беспилотных летательных аппаратов – БПЛА, снабженных соответствующей фотометрической аппаратурой. Проверка эффективности дистанционной, с использованием беспилотных летательных аппаратов, диагностики азотного питания тестовой культуры – озимой пшеницы в полевом опыте с возрастающими дозами азотных удобрений показала тесную зависимость показаний аппаратуры БПЛА, а именно вегетационного индекса (NDVI), от обеспеченности растений азотом. Оперативность и технологическая простота, а также экономическая составляющая использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур по существу открывают новую страницу в решении проблемы диагностики азотного питания растений.

**Ключевые слова:** диагностика, фотометры, БПЛА, азот, удобрения, сельскохозяйственные культуры, урожайность.

**Введение.** Диагностика минерального, прежде всего азотного, питания растений издавна, еще со времен Ю. Либиха и Ж.Б. Буссенго, относилась к приоритетным направлениям агрохимической науки и земледельческой практики [14; 23]. Для определения потребности сельскохозяйственных культур в таких основных элементах питания, как фосфор и калий, широко применялась почвенная диагностика, то есть определение в почвах подвижных форм этих элементов, на основании которой рассчитывались дозы соответствующих видов и форм удобрений [2; 4; 10; 19; 21, 24]. Почвенная диагностика применялась также и для выявления нуждаемости растений в азотных удобрениях, главным образом в допосевной период или в начале активной вегетации культур. Но в отличие от содержания подвижных форм фосфора и калия, характеризующегося относительной стабильностью даже в течение нескольких лет, содержание доступных для питания растений соединения азота в почвах требует постоянного контроля в течение каждого вегетационного периода из-за неустойчивости во времени, динамичности данного показателя, с одной стороны, и особой требовательности растений к азоту практически в течение всей их

вегетации, с другой [15; 17; 25; 28]. И если достаточной обеспеченности растений фосфором и калием можно достичь заблаговременным применением удобрений, то с азотом дело обстоит несколько иначе. Как правило, азотные удобрения вносят в почву ранней весной непосредственно перед посевом яровых культур или поверхностно в начале вегетации озимых зерновых, ориентируясь на данные агрохимического обследования почв, включая оперативную диагностику. В критические периоды вегетации (кущение-ветвление, трубкование – стебление, колошение-цветение, формирование семян, других репродуктивных органов) для оптимизации азотного питания зерновых и других сельскохозяйственных культур проводятся вегетационные подкормки азотными удобрениями по данным химических методов растительной диагностики – стеблевой и листовой [1; 6; 7; 8; 12; 13; 29]. В последние десятилетия все большее значение, особенно за рубежом, наряду с химическими, приобретают физические, а именно фотометрические, методы диагностики азотного питания посевов, основанные на связи интенсивности зеленой окраски растений с обеспеченностью их азотом. Фотоприемниками диагностических приборов фиксируется или концен-

трация хлорофилла в индикаторных органах растений, или интенсивность его флуоресценции. В результате тематической обработки данных контактного или дистанционного определения этих показателей рассчитывается потребность определенных сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях в тот или иной период их вегетации [9; 10; 11; 16; 18; 20; 22; 26; 30]. При этом наибольшее распространение получил расчет так называемого вегетационного индекса (NDVI), представляющего отношение разности между величинами инфракрасного и красного спектров электромагнитного отражения солнечного или искусственного света от растений к их сумме. Детекторами электромагнитного излучения биомассой растений служат фотометрические устройства различной конструкции, используемые в качестве портативных (ручных) приборов (европейские «YARA», «Stop Circle», американские CCM-200, CCM-1000, «Green Seecer», отечественные модели – однолучевой и двухлучевой «Спектролюкс»), а также в виде мобильных N-сенсоров, устанавливаемых на агрегатах по внесению удобрений («YARA», «ALS»), и многозональные фотометры, устанавливаемые на авиационных или космических платформах. Из видов космической съемки выделяются фотографирование и ТВ-съемка с длиной фиксируемых волн – 0,3–1,1 мкм, спектрометрическая индикация – 0,3–3,0 мкм, инфракрасная индикация – 3–300 мкм, микроволновая индикация – 0,3–10 см, радарная индикация – 10–70 см. [5; 27] Например, российский спутник «Ресурс-02Д» оснащен многозональным сканирующим устройством «АДАПТОН» со спектральным диапазоном от 0,5 до 2,4 мкм с разрешением на местности 30 м, видеоспектрометрической аппаратурой «ВС» со спектральным диапазоном от 0,4 до 1,0 мкм и разрешением 30 м, сканирующим устройством сверхвысокого разрешения «ВЗОР» со спектральным диапазоном 0,5–0,9 мкм и разрешением 2 м в панхроме и 4 м – в спектре с общим количеством спектральных каналов 266. Спектрометрическая или радарная информация, получаемая тем или иным способом, используется разными отраслями народного хозяйства. Наши прежние исследования показали, что результаты наземной и авиакосмической съемки могут с успехом

применяться для диагностики азотного питания растений [3]. Однако, несмотря на значительные преимущества по сравнению с традиционной химической диагностикой, и наземная, и космическая индикация обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом имеют определенные ограничения: наземная – по масштабности охвата, авиакосмическая – по временным параметрам. В то же время было показано, что для фотометрического обследования посевов более всего подходит использование низколетящей авиации, в частности вертолетов, хотя и ее применение имеет существенное ограничение – по стоимости диагностических работ. В данном отношении наиболее перспективным представляется использование для оперативной диагностики азотного питания растений беспилотных летательных аппаратов – БПЛА, снабженных соответствующей фотометрической аппаратурой. О реальной возможности использования БПЛА для агродиагностики посевов сельскохозяйственных культур свидетельствуют результаты состоявшаяся в экспериментальном обосновании фотометрической диагностики азотного питания сельскохозяйственных культур и разработке методики использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в роботизированных технологиях применения удобрений. При этом ставилась задача выявить связь диагностических показателей, таких как NDVI, полученных с применением беспилотного летательного аппарата «АгроДронГрупп», с уровнем обеспеченности озимой пшеницы азотным питанием, то есть дозами применяемых в опыте азотных удобрений; показаниями портативного фотометра «Яра»; нитратными индексами (баллами) стеблевой диагностики, определяемыми по концентрации выжатого из зеленых стеблей озимой пшеницы нитратов с использованием раствора дифениламина в крепкой серной кислоте; с эмиссией углекислого газа из почвы, наконец, с урожайностью озимой пшеницы возделываемой в полевом опыте.

**Объект и методика проведения исследований.** Исследования проводились на базе Центральной полевой опытной станции ФГБНУ ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (Московская область) путем постановки полевого опыта с возрастающими дозами азотных удобрений, внесенных весной 2017 г. под озимую пше-

ницу сорта Московская 39 (рис. 1). Повторность опыта – 3-кратная, размер делянок –  $4 \times 15$  м. Схема опыта включает 5 вариантов: 1) Контроль – N0, 2) N30, 3) N60, 4) N90, 5) N120. В опыте применялась традиционная агротехника возделывания озимой пшеницы, состоящая в борьбе с вредными организмами путем применения химических средств защиты растений.

В течение вегетационного периода проводились наблюдения за ростом и развитием растений, по вариантам полевого опыта определялась обеспеченность растений азотным питанием химическим методом (стеблевая диагностика) и двумя физическими методами с использованием портативного фотомет-

ра «Яра» и мультиспектральной аппаратуры беспилотного летательного аппарата (БПЛА) фирмы ООО «АгроДронГрупп».

Поскольку основная задача исследований заключалась в изучении возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативной диагностики азотного питания сельскохозяйственных культур, применялся периодический облет опытного посева озимой пшеницы как тестовой культуры беспилотным летательным аппаратом, фиксирующим отражение от посева в зеленой (550 нм), красной (660 нм), ближней (735 нм) и дальней инфракрасной (790 нм) областях электромагнитного спектра (рис. 2).

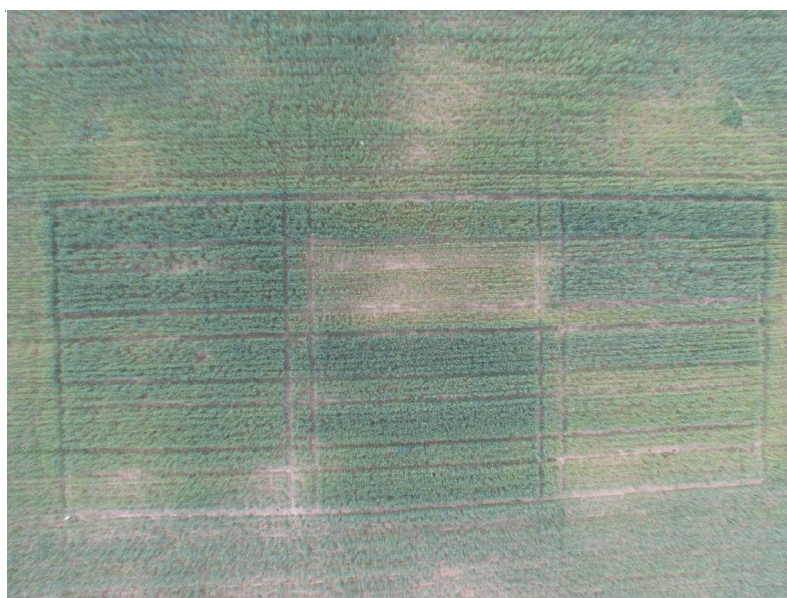


Рис. 1. Ортофотоплан полевого опыта на ЦОС ВНИИА по диагностике азотного питания озимой пшеницы с использованием БПЛА ООО «АгроДронГрупп» (2017 г.)



Рис. 2. Съемка полевого опыта БПЛА производства ООО «АгроДронГрупп» (2017 г.)

Наряду с дистанционной диагностикой для проверки ее адекватности наземным методам и в целях калибровки аппаратуры БПЛА параллельно проводилась фотометрическая диагностика с использованием N-тестера «Яра», а также стеблевая диагностика с применением дифениламина [3]. Кроме того изучалась связь фотометрических показателей с биологической активностью почвы путем количественного измерения интенсивности эмиссии углекислого газа в зависимости от уровня применения азотных удобрений под озимую пшеницу.

**Результаты.** Как показали исследования, внесение азотных удобрений под озимую пшеницу в возрастающих дозах – от нуля до 120 кг действующего вещества, то есть азота (N), привело к соответствующему повышению концентрации нитратов в соке стеблей растений – нитратных индек-

сов (рис. 3), и активности хлорофилла, определяемой в баллах по показаниям фотометра «Яра» (рис. 4). Из рисунка 3 видно, что при полуколичественной оценке содержания нитратов в соке, выжатом из отрезков стеблей озимой пшеницы в фазе выхода растений в трубку, в контрольном варианте нитраты практически отсутствовали, тогда как возрастающие дозы азотных удобрений от 30 до 120 кг/га действующего вещества, вызвали в соке почти пропорциональное повышение концентрации нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>). Нитратные индексы, определяемые по шкале диагностического прибора, возросли от нуля до 2,7 единицы, что указывает на высокую обеспеченность посева азотным питанием и отсутствие или незначительную (не более 20 кг/га азота удобрения) потребность в вегетационной подкормке.

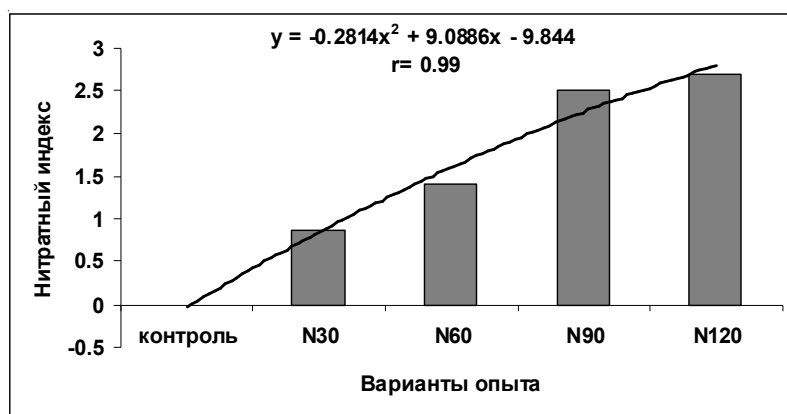


Рис. 3. Зависимость величины нитратных индексов от доз азотных удобрений, внесенных под озимую пшеницу

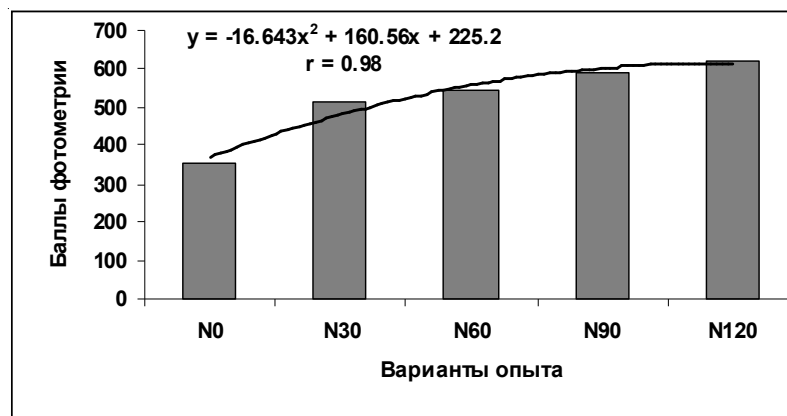


Рис. 4. Зависимость показаний фотометра «Яра» (баллов) от доз азотных удобрений, внесенных под озимую пшеницу

Из рисунка 4 также следует, что активность хлорофилла, определенная в тот же срок, что и нитратный индекс, была тесно связана с возрастающей обеспеченностью растений озимой пшеницы азотным питанием. По результатам диагностики азотного питания озимой пшеницы, проведенной в прежние годы, установлено, что показания фотометра «Яра» от 300 до 400 баллов характеризуют низкую обеспеченность растений азотным питанием, от 400 до 500 – среднюю, от 500 до 600 – повышенную, более 600 баллов – высокую [3]. В контрольном варианте обсуждаемого опыта по показаниям фотометра «Яра» отмечалась низкая обеспеченность озимой пшеницы азотом, не превышающая 360 баллов, при внесении от 30 до 90 кг/га азота обеспеченность растений азотом возрастала от средней до повышенной, а в варианте N120 – до высокой.

Иначе говоря, данные фотометрической диагностики, полученные в описываемом по-

левом опыте, фактически полностью подтверждают ранее установленную закономерность связи показаний фотометра «Яра» с обеспеченностью озимой пшеницы азотным питанием. При этом на причинно-следственную связь изучаемых показателей с дозами внесенных азотных удобрений указывает высокий коэффициент парной линейной корреляции, составивший для фотометрии 0,93, а для нитратных индексов – 0,98. Отсюда можно сделать вывод, что показания фотометра и результаты стеблевой диагностики могут служить экспериментальной основой для оценки показаний аппаратуры БПЛА.

Крупномасштабная съемка посева озимой пшеницы в полевом опыте беспилотным летательным аппаратом выявила довольно тесную связь величины вегетационного индекса (NDVI), рассчитанного по результатам съемки с БПЛА, с индексами стеблевой диагностики (рис. 5) и баллами фотометрии (рис. 6).

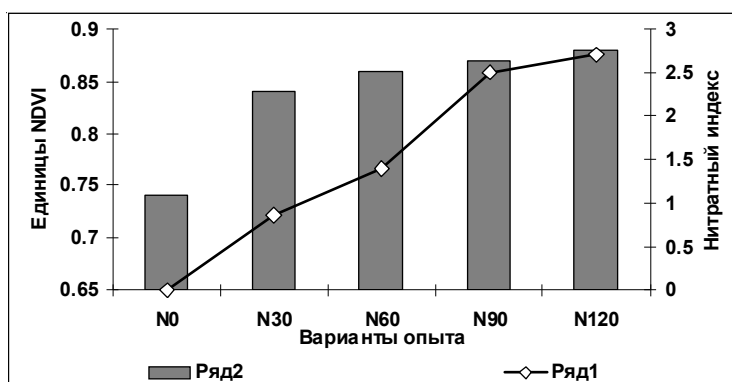


Рис. 5. Зависимость величины вегетационного индекса (NDVI), полученного с помощью БПЛА, от обеспеченности растений азотным питанием, определенной по нитратному индексу:

ряд 1 – нитратные индексы, ряд 2 – единицы NDVI

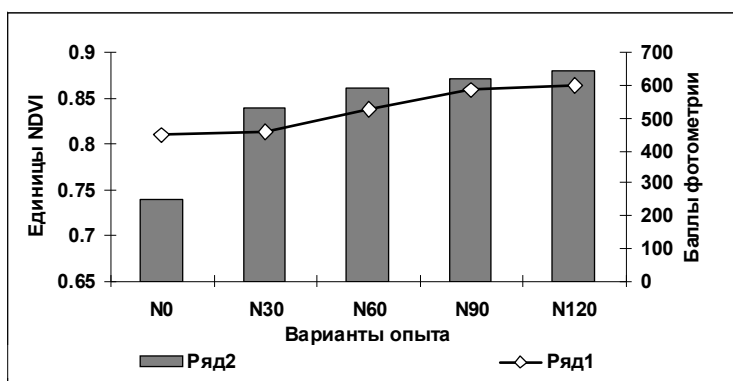


Рис. 6. Взаимосвязь показателей вегетационного индекса (NDVI), полученного с помощью БПЛА, и баллов фотометрии N-тестера «Яра»:

ряд 1 – баллы фотометрии, ряд 2 – единицы NDVI

Коэффициенты парной линейной корреляции между величинами вегетационного и нитратного индексов составляли  $r = 0,86$ , между вегетационным индексом и баллами фотометрии –  $r = 0,98$ , между вегетационным индексом и дозами азота –  $r = 0,78$ . Все эти показатели однозначно указывают на эффективность дистанционной диагностики азотного состояния посевов зерновых культур с использованием БПЛА, оснащенных соответствующей фотометрической аппаратурой. Показательно, что рассчитанный по результатам дистанционной съемки вегетационный индекс был связан даже с биологической активностью почвы, определенной по эмиссии из почвы углекислого газа (рис. 7) при коэффициенте парной линейной корреляции  $r = 0,74$ . Эта связь обусловлена тем, что азотные удобрения, внесенные в почву, усиливали процессы минерализации органического вещества, состоящего, как известно, более чем на половину из углерода,

который при окислении и превращался в углекислый газ.

Полностью корреляционные связи величины вегетационного индекса (NDVI), рассчитанного по результатам съемки с БПЛА, с урожайностью озимой пшеницы и рядом диагностических показателей представлены в таблице. Эти показатели однозначно указывают на эффективность дистанционной диагностики азотного состояния посевов зерновых культур с использованием БПЛА, оснащенных соответствующей фотометрической аппаратурой. Рассчитанный по результатам дистанционной съемки с БПЛА вегетационный индекс (NDVI) был связан даже с биологической активностью почвы, определенной по эмиссии из почвы углекислого газа при коэффициенте парной линейной корреляции ( $r = 0,73$ ). Эта связь обусловлена тем, что азотные удобрения, внесенные в почву, усиливали процессы минерализации почвенного

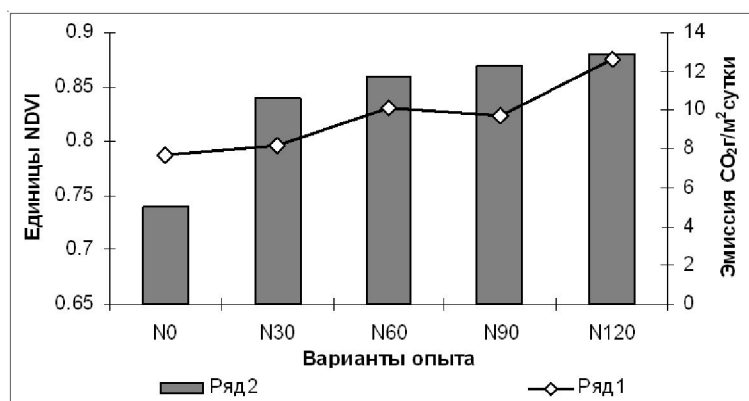


Рис. 7. Зависимость величины вегетационного индекса (NDVI), полученного с помощью БПЛА, от биологической активности почвы, диагностируемой по интенсивности эмиссии углекислого газа: ряд 1 – эмиссия CO<sub>2</sub>, ряд 2 – единицы NDVI

**Связь показателей диагностики азотного питания озимой пшеницы, выполненные с использованием БПЛА, с урожайностью озимой пшеницы и другими показателями обеспеченности посева азотом в фазу трубкования (2017 г.)**

Показания NDVI, полученные с БПЛА, баллы	Дозы азота в опыте, (N) кг/га	Показания фотометра «Яра», баллы	Данные стеблевой диагностики, индексы	Эмиссия CO <sub>2</sub> , г/м <sup>2</sup> сутки	Урожайность озимой пшеницы, т/га
<b>0,65</b>	0	356	0	7,7	2,83
<b>0,81</b>	30	511	0,87	8,2	4,41
<b>0,84</b>	60	541	1,4	10,1	4,99
<b>0,85</b>	90	580	2,5	9,7	5,0
<b>0,86</b>	120	620	2,7	12,3	5,1
Коэфф. корреляции (r)	<b>0,84</b>	<b>0,97</b>	<b>0,86</b>	<b>0,73</b>	<b>0,99</b>

органического вещества, состоящего, как известно, более чем на половину из углерода, который при биологическом окислении и превращался в углекислый газ. Характерно, что с урожайностью озимой пшеницы коэффициент парной линейной корреляции NDVI достиг максимальной величины  $r = 0,99$ , или 99 % урожайностью озимой пшеницы

**Заключение.** Проверка эффективности дистанционной диагностики азотного питания тестовой культуры – озимой пшеницы в полевом опыте с возрастающими дозами азотных удобрений показала тесную зависимость показаний аппаратуры БПЛА, а именно вегетационного индекса (NDVI), от обеспеченности растений азотом. Оперативность и технологическая простота, а также экономическая составляющая использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур по существу открывают новую страницу в решении проблемы диагностики азотного питания растений. Известно, что прежние методы наземного, да и космического мониторинга посевов не вполне удовлетворяли потребность земледелия в оперативной диагностике состояния посевов, что сдерживало принятие адекватных технологических решений, в частности о проведении азотных подкормок в период вегетации растений. По некоторым оценкам, в обозримом будущем до 75 % выпускаемых в мире беспилотных летательных аппаратов будет использоваться в интересах сельского хозяйства. Наши исследования показали, что этот прогноз имеет под собой вполне реальную научную основу. При этом наряду с оперативной диагностикой минерального питания и фитосанитарного состояния посевов, беспилотные летательные аппараты будут использоваться и для внесения различных агрохимических и биологических средств – от удобрений и пестицидов до биостимуляторов. В этом будет заключаться экономическая и экологическая эффективность БПЛА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ растений как метод диагностики их питания и эффективности макро- и микроудобрений : материалы науч.-метод. совещ. – Тбилиси, 1976. – 278 с.
2. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв. – М. : Изд-во МГУ, 1961. – 491 с.
3. Афанасьев, Р. А. Агрохимическое обеспечение точного земледелия / Р. А. Афанасьев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 3. – С. 46–53.
4. Афендулов, К. П. Удобрения под планируемый урожай / К. П. Афендулов, А. И. Лантухова. – М. : Колос, 1973. – 240 с.
5. Виноградов, Б.В. Космические методы земледелия / Б. В. Виноградов, К. Я. Кондратьев. – Ленинград : Гидрометеоролог. изд-во, 1971. – 190 с.
6. Державин, Л. М. Методология Комплексного применения удобрений и пестицидов в интенсивном земледелии / Л. М. Державин, Р. А. Афанасьев, Г. Е. Мерзлая. – М. : ВНИИА, 2016. – 344 с.
7. Журбицкий, З. И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений / З. И. Журбицкий. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 294 с.
8. Жученко, А. А. Адаптивное растениеводство (Эколого-генетические основы) / А. А. Жученко. – Кишинев : Штиинца, 1992. – 432 с.
9. Завалин, А. А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней / А. А. Завалин, О. А. Соколов. – М. : ВНИИА, 2016. – 591 с.
10. Иванова, А. Л. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / А. Л. Иванова, Л. М. Державина. – М. : Тип.Россельхозакад., 2008. – 392 с.
11. Использование прибора «N-тестер «Яра» для диагностики азотного питания озимой пшеницы / Ю. Ф. Осипов [и др.] // Плодородие. – 2011. – № 1. – С. 29.
12. Кидин, В. В. Основы питания растений и применения удобрений / В. В. Кидин. – Ч. I. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. – 415 с.
13. Крищенко, В. П. Ближняя инфракрасная спектроскопия / В. П. Крищенко. – М. : КРОН-ПРЕСС, 1997. – 638 с.
14. Крупенников, И. А. История почвоведения / И. А. Крупенников – М. : Наука, 1981. – 327 с.
15. Кук, Дж. У. Регулирование плодородия почвы / У. Дж. Кук – М. : Колос, 1970. – 520 с.
16. Лазерная флюоресцентная диагностика в медицине и биологии. – М. : НПЦ «Спектролюкс», 2007. – 272 с.
17. Методика полевых опытов по оптимизации азотного питания зерновых культур, сахарной свеклы и картофеля на основе оперативной почвенной и растительной диагностики. – М. : ВНИИ агрохимии и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова, 1985. – 92 с.



18. Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия. – М. : ВИМ, 2016. – 100 с.

19. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.

20. Милащенко, Н. З. Научные основы и рекомендации по диагностике и оптимизации минерального питания зерновых и других культур / Н. З. Милащенко. – М. : Агроконсалт, 2000. – 100 с.

21. Михайлов, Н. Н. Определение потребности растений в удобрениях / Н. Н. Михайлов, В. П. Книпер. – М. : Колос, 1971. – 256 с.

22. Назарюк, В. М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах / В. М. Назарюк. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. – 256 с.

23. Прянишников, Д. Н. Избранные сочинения / Д. Н. Прянишников. – Т. 1. – М. : Колос, 1965. – 767 с.

24. Симакова, М. С. Руководство по средне-масштабному картографированию почв на основе ГИС. / М. С. Симакова. – М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 243 с.

25. Составление проекта на применение удобрений (Рекомендации) / Л. М. Державин [и др.]. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – 154 с.

26. Сычев, В. Г. Методика фотометрической диагностики азотного питания зерновых и других культур / В. Г. Сычев. – М. : ВНИИА, 2010. – 32 с.

27. Сычев, В. Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь / В. Г. Сычев. – М. : Изд-во ЦИНАО, 2003. – 228 с.

28. Церлинг, В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур : справочник / В. В. Церлинг – М. : Агропромиздат, 1990. – 235 с.

29. Шафран, С. А. Азотное питание / С. А. Шафран, В. Г. Сычев, А. Л. Кондрашов. – М. : ОАО «ЕвроХим», 2013. – 80 с.

30. Phosphorus, life and environment. From research to application. Proceedings of the Fourth International IMPHOS conference. – Ghent (Belgium), 1992. – 758 p.

## REFERENCES

1. *Analiz rasteniy kak metod diagnostiki ih pitaniya i effektivnosti makro- i mikroudobreniy. Materialy nauchno-metodicheskogo soveshchaniya.* [Analysis of Plants As a Method of Diagnosis of Their Nutrition and the Effectiveness of Macro- and Microfertilizers. Papers of Scientific and Research sSymposium]. Tbilisi, 1976. 278 p.

2. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv.* [Guidelines for the

Chemical Analysis of Soils]. Moscow, Izd-vo MGU, 1961. 491 p.

3. Afanas'ev R.A. *Agrohimicheskoe obespechenie tochnogo zemledeliya* [Agrochemical Support for Precision Farming]. *Problemy agrohimii i jekologii* [Problems of Agrochemistry and Ecology]. 2008, no. 3, pp. 46-53.

4. Afendulov K.P., Lantuhova A.I. *Udobreniya pod planiruemyy urozhay* [Fertilizers for the Planned Harvest]. Moscow, Izd-vo "Kolos", 1973. 240 p.

5. Vinogradov B.V., Kondratyev K. Ya. *Kosmicheskie metody zemlevedeniya* [Space Methods of Physical Geography]. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe Publ. 1971. 190 p.

6. Derzhavin L.M., Afanas'ev R.A., Merzlaja G.E. *Metodologiya kompleksnogo primeneniya udobreniy i pesticidov v intensivnom zemledelii* [Methodology of Complex Application of Fertilizers and Pesticides in Intensive Agriculture]. Moscow, VNIIA, 2016. 344 p.

7. Zhurbickiy Z.I. *Fiziologicheskie i agrohimicheskie osnovy primeneniya udobreniy* [Physiological and Agrochemical Basis of Application of Fertilizers]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1963. 294 p.

8. Zhuchenko A.A. *Adaptivnoe rastenievodstvo (Jekologo-geneticheskie osnovy).* [Adaptive Plant Growing (Ecological and Genetic Basis)]. Kishinev, Izd.-vo "Shtiinca", 1992. 432 p.

9. Zavalin A.A., Sokolov O.A. *Potoki azota v agroyekosisteme: ot idey D.N. Pryanishnikova do nashih dney* [Flows of Nitrogen in the Agroecosystem: from the Ideas of D.N. Pryanishnikov to Our Days]. Moscow, VNIIA, 2016. 591 p.

10. Ivanov A.L., Derzhavina L.M. *Metodicheskoe rukovodstvo po proektirovaniyu primeneniya udobreniy v tehnologiyah adaptivno-landshaftnogo zemledeliya* [Methodical Guidelines for Designing the Application of Fertilizers in Adaptive-Landscape Farming Technologies]. Moscow, Tipografiya Rosselkhozakademii, 2008. 392 p.

11. Osipov Yu.F., Ivanickiy Ya.V., Shirinyan M.H., Afanas'ev R.A., Galickiy V.V. *Ispolzovanie pribora "N-tester "Jara" dlya diagnostiki azotnogo pitaniya ozimoy pshenitsy* [Use the N-Tester "Yara" for the Diagnosis of Nitrogen Nutrition of Winter Wheat]. *Plodorodie*. 2011, no. 1, p. 29.

12. Kidin V.V. *Osnovy pitaniya rasteniy i primeneniya udobreniy* [Fundamentals of Plant Nutrition and Fertilizer Application]. Ch. I. Moscow, Izd-vo RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2008. 415 p.

13. Krishhenko V.P. *Blizhnyaya infrakrasnaya spektroskopiya* [Near Infrared Spectroscopy]. Moscow, Izd-vo "KRON-PRESS", 1997. 638 p.

14. Krupennikov I.A. *Istoriya pochvedeniya* [A History of Soil Science]. Moscow, Izd-vo "Nauka", 1981. 327 p.

15. Kuk G.W. *Regulirovanie plodorodija pochvy* [The Regulation of Soil Fertility]. Moscow, Izd-vo "Kolos", 1970. 520 p.
16. *Lazernaya flyuorescentnaya diagnostika v medicine i biologii*. [Laser Fluorescent Diagnostics in Medicine and Biology]. Moscow, NPC "Spektroljuzs", 2007. 272 p.
17. *Metodika polevyh opytov po optimizatsii azotnogo pitaniya zernovyh kultur, saharnoy svekly i kartofelya na osnove operativnoy pochvennoy i rastitelnoy diagnostiki* [Method of Field Experiments on Optimization of Nitrogen Nutrition of Cereals, Sugar Beets and Potatoes on the Basis of Operational Soil and Plant Diagnostics]. Moscow, VNIH agrohimii i agropochvovedeniya im. D.N. Pryanishnikova, 1985. 92 p.
18. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu sredstv himizatsii v sisteme tochnogo zemledeliya* [Methodical Recommendations on the Use of Chemical Means in the System of Precision Farming]. Moscow, VIM, 2016. 100 p.
19. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya zemel' selskohozyaystvennogo naznacheniya* [Methodical Instructions on Conducting Complex Monitoring of Fertility of Agricultural Land]. Moscow, FGNU "Rosinformagroteh", 2003. 240 p.
20. Milashhenko N.Z. *Nauchnye osnovy i rekomendatsii po diagnostike i optimizatsii mineralnogo pitaniya zernovyh i drugih kultur* [Scientific bases and recommendations for diagnostics and optimization of mineral nutrition of cereals and other crops]. Moscow, Izd-vo "Agrokonsalt", 2000. 100 p.
21. Mihaylov N.N., Kniper V.P. *Opredelenie potrebnosti rasteniy v udobreniyah* [Determination of the Needs of Plants in Fertilizers]. Moscow, Izd-vo "Kolos", 1971. 256 p.
22. Nazarjuk V.M. *Balans i transformatsiya azota v agroekosistemah*. [Balance and transformation of nitrogen in agroecosystems. Novosibirsk: SB RAS Publishing House]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002, 256 p.
23. Pryanishnikov, D.N. *Izbrannye sochineniya*. Moscow, Kolos, 1965, vol. 1. 767 p.
24. Simakova, M.S. *Rukovodstvo po srednemasshtabnomu kartografirovaniyu pochv na osnove GIS* [A Guide to Medium-Scale Mapping of Soils Based on GIS]. Moscow, Pochvenny institut im. V.V. Dokuchaeva, 2008. 243 p.
25. Derzhavin L.M., Kolokol'tseva I.V., Skvorcova N.K., Puzanova O.A., Jakovleva T.A. *Sostavlenie proekta na primenenie udobreniy (Rekomendatsii)* [Drafting a Project for the Application of Fertilizers (Recommendations)]. Moscow, FGNU "Rosinformagroteh", 2000. 154 p.
26. Sychev V.G. *Metodika fotometricheskoy diagnostiki azotnogo pitaniya zernovyh i drugih kultur* [Method of Photometric Diagnostics of Nitrogen Nutrition of Cereals and Other Crops]. Moscow, VNIIA, 2010. 32 p.
27. Sychev V.G. *Osnovnye resursy urozhaynosti sel'skohozyaystvennykh kul'tur i ih vzaimosvyaz'* [The Main Resources of Crop Yields and Their Interrelations]. Moscow, Izd-vo CINA O, 2003, 228 p.
28. Cerling V.V. *Diagnostika pitaniya sel'skohozyaystvennykh kul'tur: Spravochnik* [Diagnosis of the Nutrition of Crops: Handbook]. Moscow, Agropromizdat, 1990. 235 p.
29. Shafran S.A., Sychev V.G., Kondrashov A.L. *Azotnoe pitanie* [Nitrogen Feed]. Moscow, OAO "EvroHim", 2013. 80 p.
30. *Phosphorus, life and environment. From research to application. Proceedings of the Fourth International IMPHOS conference*. Ghent (Belgium), 1992. 758 p.

### **Information about the Authors**

**Rafail A. Afanas'ev**, Doctor of Sciences (Agriculture), Professor, Principal Researcher, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova St., 31A, 127550 Moscow, Russian Federation, rafail-afanasev@mail.ru

**Irina N. Voronchihina**, Researcher, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova str., 31A, 127550 Moscow, Russian Federation, yarinkapanfilova@gmail.com.

**Vladimir A. Litvinskiy**, Candidate of Sciences (Biology), Leading Researcher, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova St., 31A, 127550 Moscow, Russian Federation, vl.litvinsky@gmail.com.

### **Информация об авторе**

**Рафаил Александрович Афанасьев**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, ул. Прянишникова, 31А, 127550 г. Москва, Российская Федерация, rafail-afanasev@mail.ru.

**Ирина Николаевна Ворончихина**, аспирант, научный сотрудник, ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, ул. Прянишникова, 31А, 127550 г. Москва, Российская Федерация, yarinkapanfilova@gmail.com.

**Владимир Анатольевич Литвинский**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, ул. Прянишникова, 31А, 127550 г. Москва, Российская Федерация, vl.litvinsky@gmail.com.