

The paper presents the results of studies on the effect of pre-sowing seed treatment with zinc and copper chelates on the quality, structure and yield of spring wheat when cultivated on meadow-chernozem soil in the southern forest-steppe of Western Siberia. As was discovered an application of zinc and copper chelated fertilizers positively influenced the yield and grain quality of spring wheat. The best dose of zinc and copper chelates for pre-sowing seed treatment is 20 g/100 kg. The application of zinc fertilizers at a dose of 20 g/100 kg made it possible to form an increase in the grain yield of spring wheat of 0.20 t/ha, copper – 0.14 (in the control variant, the yield was 2.20 t/ha). At the same time, the collection of protein increased from 298 kg/ha in the control variant to 307-335 kg/ha under usage chelates. The Cu₃₀ variant had the best mass of 1000 grains (31.26 g).

Key words: zinc, copper, fertilizers, chelate, spring wheat, yield.

Literatura

1. Agroekologicheskij monitoring v Omskoj oblasti: ucheb. posobie / V.M. Krasnickij, I.A. Bobrenko, V.I. Popova, I.V. Cyplyonkova. – Omsk: Izd-vo FGBOU VO Omskij GAU, 2016. – 52 s.
2. Azarenko YU.A. Zakonomernosti soderzhaniya, raspredeleniya, vzaimosvyazej mikroelementov v sisteme pochva-rastenie v usloviyah yuga Zapadnoj Sibiri: monografiya / YU. A. Azarenko. – Omsk: Variant-Omsk, 2013. – 232 s.
3. Krasnickij V.M. Soderzhanie cinka v pochvah Omskoj oblasti / V.M. Krasnickij, A.G. SHmidt, A.A. Cyrk // Plodorodie. – 2014. – №4(79). – S. 36-37.
4. Boldysheva E.P. Metodologicheskie aspekty issledovaniya optimizacii primeneniya mikroudobrenij pod zernovye kul'tury / E.P. Boldysheva, V.I. Popova // Elektronnyj nauchno-metodicheskij zhurnal Omskogo GAU. – 2017. – №3 (10). – S.2.
5. Azarenko YU.A. Cink v pochvah agrocenozov Omskogo Priirytsh'ya i effektivnost' primeneniya cinkovyh udobrenij / YU.A. Azarenko, YU.I. Ermohin, YU.V. Aksenova // Zemledelie. – 2019. – № 2. – S.13-17.
6. Increasing Economic Efficiency of Producing Wheat in the West Siberia and South Ural as a Factor of Developing Import Substitution / D.S. Nardin, I.A. Bobrenko, N.V. Goman, E.A. Vakalova, S.A. Nardina // International Review of Management and Marketing. – 2016. – 6(4). – P. 772-778.
7. Improving Competitiveness of the Wheat Production within the Siberian Region (in Terms of the Omsk region) / I.A. Bobrenko, O.V. Shumakova, N.V. Goman, Y.I. Novikov, V.I. Popova, O.A. Blinov // Journal of Advanced Research in Law and Economics. – 2017. – V. VIII. – Is. 2(24). – P.426-436.
8. Ermohin YU.I. Agroekologicheskaya ocenka dejstviya kadmiya, nikelya, cinka v sisteme pochva-rastenie-zhivotnoe: monografiya / YU.I. Ermohin, N.K. Trubina, A.V. Sindiryova. – Omsk: OmGAU, 2002. – 117 s.
9. Aristarhov A.N. Prioritety primeneniya razlichnyh vidov, sposobov i doz mikroudobrenij pod ozimye i yarovye sorta pshenicy v osnovnyh prirodno-sel'skhozajstvennyh zonah Rossii / A.N. Aristarhov, N.N. Bushuev, K.G. Safonova // Agrohimiya. – 2012. – №9. – S. 26-40.
10. Gajsin I.A. Helatnye mikroudobreniya: praktika primeneniya i mekhanizm dejstviya: monografiya / I.A. Gajsin, V.M. Pahomova. – Kazanskij GAU. – Joshkar-Ola, 2014. – 344 s.
11. Bobrenko I.A. Bioenergeticheskaya effektivnost' opudriviya semyan mikroelementami (Zn, Cu, Mn) pri vozdeystvii yarovoj pshenicy v usloviyah lesostepi Zapadnoj Sibiri / I.A. Bobrenko, E.A. Vakalova, N.V. Goman // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – №1 (21). – S. 70-76.
12. Kachestvo kormovyh kul'tur regiona (na primere Omskoj oblasti): uchebno-spravochnoe izdanie / V.M. Krasnickij, I.A. Bobrenko, E.G. Pyhtareva, V.I. Popova. – Omsk: LITERA, 2017. – 72 s.
13. Mukomol'nye svoystva zerna sortov ozimoy myagkoj pshenicy / N.G. Ignat'eva, E.V. Ionova, N.B. Vasyushkina, E.K. Kuvshinova // Zernovoe hozyaistvo Rossii. – 2017. – № 1. – S. 3-7.
14. Intensifikaciya produkcionnogo processa rastenij mikroelementami. Priemy upravleniya / Sychev V.G. [i dr.]. – M., 2009. – 520 s.
15. Gamzikova O.I. Sostoyanie issledovaniy v oblasti genetiki mineral'nogo pitaniya / O.I. Gamzikova // Agrohimiya, 1992. – № 4. – S. 139-150.

ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА АЗОТНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Р.А. Афанасьев, д.с.-х.н.,

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова

Работа выполнена по госзаданию № 0572-2019-0011

Рассматриваются результаты исследований по дистанционной диагностике и оптимизации азотного питания сельскохозяйственных культур в полевых опытах по удобрению озимой пшеницы на дерново-подзолистых тяжёло-луглинистых почвах в условиях европейской части Нечерноземной зоны РФ. Как показали результаты исследований, дистанционная диагностика позволяет с достаточно высокой степенью достоверности определять потребность посевов сельскохозяйственных культур, в частности озимой пшеницы, в азотных подкормках, которые можно проводить по общепринятым технологиям в отдельные (критические) периоды вегетации растений: кущение, трубкование, а также колошение-цветение, налив зерна. При этом для дистанционной диагностики могут использоваться не только дроны со специальной многоспектральной аппаратурой, но и обычные квадрокоптеры с цифровыми фотокамерами.

Ключевые слова: дистанционная диагностика, азотное питание, озимая пшеница, фотометр, вегетационный индекс.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.117.08

Целесообразность оптимизации минерального, в том числе азотного, питания сельскохозяйственных культур известна с глубокой древности. Однако научные основы регулирования минерального питания растений были разработаны, начиная преимущественно с 19-го века, такими выдающимися учеными, как Ж.Б. Буссенго, Ю. Либих, К.А. Тимирязев, Д.Н. Прянишников, а также другими известными агрономами и биологами [1, 2]. В 20 в. к одному из способов повышения урожайности и

качества сельскохозяйственных культур, основанных в то время на химических анализах почв и растений, относилась разработка методов оперативной почвенно-растительной диагностики [3]. Недостатком таких методов являлось использование химических препаратов, включая крепкие кислоты и щелочи, небезопасных для здоровья исполнителей. В 21 в. для обследования сельскохозяйственных полей стало все шире применяться дистанционное обследование с космических спутников,

пилотируемой авиации и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в целях использования аэрокосмических снимков для определения повреждения посевов погодными аномалиями, сорняками, вредителями, болезнями и другими факторами. Особое значение в последние годы придано беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) ввиду их преимуществ перед другими носителями диагностической аппаратуры: спутниками и самолетами сельскохозяйственной авиации, прежде всего по оперативности, масштабности, четкости фотоснимков. Хотя методологическая основа использования БПЛА для оперативной диагностики минерального питания посевов находится ещё на начальном этапе своего развития, это направление может сыграть ведущую роль в развитии производства сельскохозяйственных культур [6].

Цель наших исследований – изучить использование дистанционной диагностики азотного питания на примере озимой пшеницы с применением беспилотных летательных аппаратов.

Методика. Исследования по дистанционному мониторингу азотного питания озимой пшеницы с использованием БПЛА проводили на Опытной станции ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. Они включали: агрохимический анализ почвы в среднем по опытному участку до внесения минеральных удобрений, отбор проб почвы и растений по вариантам опыта после внесения удобрений для последующего агрохимического анализа, а также периодические фотометрические измерения растений по вариантам заложенного опыта. Наземные фотометрические измерения осуществляли портативным фотометром «Yaга» в основные фазы роста развития растений – трубкование (выход в трубку) и колошение-цветение. Схема полевого опыта, заложенного для изучения влияния удобрений на показатели наземной и дистанционной диагностики, включала 7 вариантов в трехкратной повторности каждого в соответствии с методикой опытного дела [4]: 1. Контроль (без удобрений); 2. N_{30} в фазе кущения; 3. N_{60} в фазе кущения; 4. N_{60} в фазе кущения + N_{30} в фазе трубкования; 5. N_{60} в фазе кущения + N_{30} в фазе трубкования + N_{30} в фазе колошения-цветения; 6. N_{60} в фазе кущения + N_{30} в фазе трубкования + N_{30} в фазе колошения – цветения + N_{30} в фазе налива зерна [некорневая подкормка раствором карбамида – $CO(NH_4)_2$]; 7. $N_{60}P_{60}K_{60}$ в фазе кущения + N_{30} в фазе трубкования.

Площадь каждой делянки 60 м^2 ($4\text{ м} \times 15\text{ м}$) при общей площади опытного участка 1260 м^2 ($28\text{ м} \times 45\text{ м}$). Почва опытного участка дерновоподзолистая тяжелосуглинистая слабокислая слабогумусированная. На 27.04.2018 г. в пахотном слое почвы опытного участка до внесения минеральных удобрений содержалось незначительное количество нитратного азота ($7,0\text{ мг/кг N-NO}_3$), среднее – подвижного фосфора ($52\text{ мг/кг P}_2\text{O}_5$), повышенное – обменного калия ($148\text{ мг/кг K}_2\text{O}$).

Результаты и их обсуждение. Согласно дистанционному фотометрическому обследованию посева озимой пшеницы до внесения удобрений, проведенному 27.04.2018 г. (в среднем 530 баллов), растения, несмотря на низкое содержание нитратного азота в почве, в целом были удовлетворительно обеспечены азотным питанием, очевидно, за счет накопления азота в их биомассе с осени предыдущего года, а также потребления аммонийного азота почвы весной текущего года. Средний по опыту балл вегетации, определенный пор-

тативным фотометром «Yaга», также составил 530. После удобрения посева озимой пшеницы в фазе кущения (29.04.2018 г.) и определенного срока их влияния на агроценоз в фазе трубкования (18.05.2018 г.) было проведено фотометрическое обследование озимой пшеницы по всем вариантам опыта фотометром «Yaга», а также выполнена стеблевая диагностика растений. Результаты этого обследования представлены в таблице 1.

1. Показатели фотометрической и стеблевой диагностики азотного питания растений озимой пшеницы в фазе трубкования (выхода в трубку) (18.05.2018 г.).

№ варианта опыта*	Дозы азота, внесенные на дату диагностики	Показания фотометра «Yaга», баллы	Данные стеблевой диагностики, баллы
1	0	337	0,3
2	30	424	1,4
3	60	490	1,1
4	90	556	2,6
5	90	499	2,2
6	90	534	2,2
7	90	526	1,5
r		0,97	0,85

*Описание вариантов опыта приведено в разделе «Методика» (здесь и в табл. 2)

Согласно данным наземной фотометрии, проведенной в фазе трубкования, когда по схеме полевого опыта азотные удобрения были внесены в возрастающих дозах – от нулевой до 90 кг/га N , показания прибора «Yaга» возросли от 337 до 499 баллов. Из этого следует, что максимальным содержанием азота в растениях характеризовались варианты, в которых были заранее внесены азотные удобрения из расчета по 90 кг д.в./га .

Данная зависимость подтверждается результатами стеблевой диагностики азотного питания растений, основанной на полуколичественном определении в стеблях растений нитратного азота [5]. Баллы (индексы) стеблевой диагностики по шкале диагностического прибора ВНИИА от 0 до 1 указывают на низкую обеспеченность растений озимой пшеницы азотом, от 1 до 2 – на среднюю обеспеченность, от 2 до 3 – на удовлетворительную. Следует отметить снижение баллов фотометрии и стеблевой диагностики в 7-м варианте опыта, где, наряду с азотом, применялись фосфорно-калийные удобрения. Видимо, эти элементы ускорили в растениях биологические процессы превращения азота в белковые вещества, снизив тем самым диагностические показатели нуждаемости растений в азотном питании. Тем не менее, эти показатели довольно тесно коррелируют с дозами внесенных удобрений. При этом коэффициент парной линейной корреляции баллов фотометрии с дозами азота ($r = 0,97$) близок к функциональной зависимости показателей фотометра от обеспеченности растений азотом, а индексы стеблевой диагностики ($r = 0,85$) также тесно связаны с дозами внесенного азота.

Дозы азота для подкормки посевов озимой пшеницы в фазе выхода в трубку, по данным ранее проведенных исследований, могут составлять при показателях фотометра «Яра» ниже 400 баллов до 90 кг/га за вегетационный период, от 400 до 500 баллов – до 60 кг/га , свыше 500 баллов – до 30 кг/га . При показателях фотометра «Яра» свыше 600 баллов подкормка озимой пшеницы азотом обычно не требуется, как и при показателе стеблевой диагностики, соответствующем 3-м баллам (индексам) шкалы диагностического прибора. После-

дующее диагностическое обследование посева озимой пшеницы в полевом опыте было проведено 14.06.2018 г., т.е. через 8 дней после подкормки растений в 5- и 6-м вариантах в фазе колошения-цветения. Результаты диагностики представлены в таблице 2.

2. Показатели фотометрической и стеблевой диагностики азотного питания растений озимой пшеницы в фазе колошения-цветения (14.06.2018 г.).

№ варианта опыта	Дозы азота, внесенные на дату диагностики	Показания фотометра «Уага», баллы	Показания фотометра «Гринсикер», баллы	Данные стеблевой диагностики, баллы
1	0	375	0,71	0,6
2	30	414	0,72	0,3
3	60	474	0,74	1,3
4	90	522	0,78	1,1
5	120	556	0,81	2,3
6	120	528	0,83	1,9
7	90	562	0,86	0,8
г		0,94	0,84	0,81

Наряду со стеблевой диагностикой и фотометрией прибором «Уага», в опыте проведена дистанционная диагностика с использованием фотометра «Гринсикер». Взаимосвязь показателей обоих фотометров характеризуется высоким коэффициентом корреляции ($r = 0,91$). Характерно, что с дозами азотных удобрений, внесенных к тому времени по всем вариантам опыта, коэффициент парной линейной корреляции показаний фотометра «Уага» r составил 0,94, «Гринсикер» – 0,84, прибора стеблевой диагностики – 0,81. Эти данные указывают на тесную зависимость фотометрических показателей от обеспеченности озимой пшеницы азотным питанием: при показателе фотометра «Уага» менее 400 баллов, отмеченном в контрольном варианте, растения были слабо обеспечены азотом, от 400 до 500 баллов – средние и выше 500 баллов – удовлетворительно обеспечены. В этой фазе максимальный показатель, по данным фотометрии, отмечен в 7-м варианте, в котором было внесено полное минеральное удобрение (NPK), хотя доза азота составила только 90 кг/га, что меньше двух других вариантов, получивших по 120 кг/га. В предыдущей фазе, т.е. трубкования, показатель обеспеченности растений азотом в данном варианте был даже ниже, чем в вариантах, получивших только азотные удобрения (без фосфора и калия). Данный феномен может быть связан с тем, что запасенные ранее в биомассе растений 7-го варианта белковые вещества в период формирования репродуктивных органов растений, т.е. в фазе колошения-цветения, стали биохимически преобразовываться в стеблях и листьях в более простые азотистые соединения для дальнейшей транспортировки в формируемые колосья растений. Данный процесс мог отразиться на фотометрических показателях.

Следует также отметить определенное снижение показателей стеблевой диагностики в фазе колошения-цветения по сравнению с предыдущей фазой выхода в трубку. Это обусловлено тем, что в данной фазе у растений в целом снижается поступление азота из почвы, а для формирования генеративных органов все больше используются ранее накопленные в биомассе в той или иной органической форме питательные вещества. Но в то же время зависимость показателей стеблевой диагностики от внесенных доз азотных удобрений в фазе колошения-цветения по-прежнему сохранялась на достаточно высоком уровне, хотя в следующей фазе – налива зерна – поступление азота из почвы по стеблям

растений заметно снизилось: баллы стеблевой диагностики составили 0,4 в контрольном варианте, 0,1 и 0,5, соответственно, в 5- и 6-м вариантах. В других вариантах диагностические показатели стеблевой диагностики характеризовались нулевыми значениями.

Фотометрические показатели диагностики тесно коррелируют ($r = 0,86-0,95$) с урожайностью зерна озимой пшеницы, достигшей 6,8 т/га.

Как уже отмечалось, важное значение для оперативной диагностики азотного питания растений имеет использование аппаратуры, установленной на беспилотных летательных аппаратах. Дистанционная съемка поля с озимой пшеницей мультиспектральной аппаратурой БПЛА дает возможность определить величину вегетационного индекса (NDVI), по которой можно определить обеспеченность высеванной культуры азотным питанием. Кроме того, мультиспектральная аппаратура специализированных беспилотных аппаратов (дронов) способна выявлять и другие показатели обследуемых посевов (в относительных единицах), в частности объем наземной фитомассы растений, содержание в ней хлорофилла, влагообеспеченность агроценоза, ряд других по нижеприведенным формулам, в которых фигурируют цифровые показатели спектрального отражения дневного света от биомассы посева: 1. Вегетационный индекс – $NDVI = (750 - 705)/(750 + 705)$; 2. Содержание хлорофилла – $GNDVI = (750 - 550)/(750 + 550)$; 3. Индекс фитомассы – $MTCI = (760 - 720)/(720 + 670)$; 4. Содержание влаги в агроценозе: $DSWI 4 = 550/680$.

Примером этого могут служить определения относительных показателей агроэкологического состояния посева озимой пшеницы на Опытной станции ВНИИА на поле площадью около 10 га, рассчитанных по результатам съемки в конце июля 2018 г. Путем отбора и лабораторного анализа представительных растительных проб по отдельным участкам поля с озимой пшеницей можно определить конкретные физические и агрохимические показатели биомассы посева.

При отсутствии БПЛА с многоканальным (мультиспектральным) фотометром для определения NDVI посева можно воспользоваться портативными фотометрами типа «Уага» или «Spad» в комплексе с обычным коммерческим (бытовым) беспилотником, оборудованным обычной цифровой фотокамерой (рис. 1), и цветным офисным принтером.



Рис. 1. БПЛА с цифровой фотокамерой

Впервые разработка такого упрощенного метода диагностики азотного питания растений проведена в 2017 г. сотрудниками ВНИИА на базе Опытной станции ВНИИА (Патент на изобретение № 266158 от

05.09.2017 г.). Для этого цветная фотография посева, выполненная с БПЛА, передается через офисный цветной принтер на бумагу формата А4. Разрезанный на узкие, около 2 см, полоски снимок поля сканируется портативным фотометром (рис. 2). По показаниям заранее откалиброванного фотометра рассчитывают соответствующий вегетационный индекс NDVI.



Рис. 2. Фотометр «Yaга» с полоской бумаги, вырезанной из дистанционного снимка поля с озимой пшеницей, выполненного обычной цифровой камерой с БПЛА

Дистанционная съемка посевов с БПЛА успешно может заменить наземные обследования посевов сельскохозяйственных культур с использованием портативных фотометров и, тем более, химические, трудоемкие и сложные в исполнении, методы оперативной диагностики растений.

Заключение. Разработка методов дистанционной диагностики азотного питания сельскохозяйственных культур с использованием фотометрической аппаратуры, устанавливаемой на беспилотные летательные ап-

параты (БПЛА), проводилась сотрудниками ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (ФГБНУ ВНИИА) совместно с другими коллегами в 2017 – 2018 гг. Исследования позволили определить характер зависимости фотометрических показателей применяемых дистанционных и наземных способов диагностики от уровня обеспеченности растений минеральным азотом. Установлено, что фотометрические методы способны отражать уровни обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом в сочетании с другими элементами питания растений. Таким образом, полевые опыты с возрастающими дозами азотных удобрений, внесенных под различные сельскохозяйственные культуры с учетом местных почвенно-климатических условий, могут служить экспериментальной основой для калибровки фотометрических приборов, используемых для идентификации уровней азотного питания растений и, следовательно, для его регулирования путем внесения соответствующих доз азота в производственных условиях. Для дешифрирования дистанционных снимков в целях диагностики азотного питания вегетирующих растений в лабораторных (офисных) условиях в ФГБНУ ВНИИА разработан оригинальный метод, заменяющий трудоемкое обследование сельскохозяйственных полей.

Литература

1. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. – М.: АН СССР, 1945. – 175 с.
2. Кидин В.В. Основы питания растений и применения удобрений. Ч. 1. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2008 – 415 с.
3. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы: научное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 396 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
5. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 236 с.
6. Плодородие почв России: состояние и возможности / Под ред. В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2019. – С.191-196.

REMOTE DIAGNOSTICS OF NITROGEN NUTRITION

R.A. Afanasev, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia

The results of studies on remote diagnosis and optimization of nitrogen nutrition of crops in field experiments on fertilizing winter wheat on sod-podzolic heavy loamy soils in the European part of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation are considered. As the research results have shown, remote diagnostics makes it possible with a fairly high degree of reliability to determine the need of crops, in particular performed according to generally accepted technologies in certain (critical) periods of the growing season of plants: tillering, booting, as well as in heading-flowering and grain filling. At the same time, not only drones with special multispectral equipment, but also ordinary quadcopters with digital cameras can be used for remote diagnostics.

Key words: remote diagnostics, nitrogen nutrition, winter wheat, photometer, vegetation index.

ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА МИКРОМЕЦЕН НА РОСТОВЫЕ И ПРОДУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ РАСТЕНИЙ СОИ

¹Н.В. Чернышева, ¹А.Я. Барчукова, ¹Я.К. Тосунов, ²К.О. Сняшин,
¹Кубанский государственный университет им. И. Т. Трубилина,
ул. Калинина, 13, Краснодар, 350044, Россия

²Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова,
ул. Арбузова, 8, Казань, 420088, Республика Татарстан, Россия

Представлены результаты полевых опытов по установлению биологической эффективности применения препарата Микромецен на сое, полученные на выщелоченном малогумусном черноземе (учхоз КубГАУ «Кубань», отделение 1). Показано, что предпосевная обработка семян и двукратная обработка растений (в фазы полных всходов и бутанизации) повысили азотфиксирующую способность растений сои; активировали рост растений в высоту, ветвление, нарастание листового аппарата и массы надземных органов; увеличили урожайность, содер-