

M.A. Alyoshin, L.A. Mikhailova

Perm State Agro-Technological University, Petropavlovskaya ul. 23, 614990 Perm, Russia, e-mail: matvei0704@mail.ru

The paper presents the results of field production experience to determine the effect of doses of nitrogen and phosphorus-potash fertilizers on the productivity of single-species and mixed agroecosystems of spring wheat and seed peas. The research was carried out in the conditions of medium-cultivated sod-podzolic soil. Grain productivity of mixed wheat-pea agroecosystems varied depending on their composition, doses of nitrogen and phosphorus-potash fertilizers. Higher grain yield (2.27 t/ha) was obtained in a mixed agroecosystem (wheat 75% + peas 25%), when applying mineral fertilizers in doses of  $N_{60} + P_{60}K_{60}$ . There was an increase in the number of grain storage heaps by 0.71 and 0.16 t/ha (relative to a single-species wheat crop) when including in the agroecosystems of seed peas, in the share equivalent of 25% and 50%, respectively. In mixed agroecosystems, the grain of spring wheat corresponded to class 1, according to GOST R 54078-2010, only in terms of the amount of raw protein (more than 140 g/kg).

Key words: mixed crops, yield and biochemical composition of grain, mineral fertilizers, bioenergetic assessment.

УДК 613.8

## ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

В.Г. Сычев, ак. РАН Р.А. Афанасьев, д.с.-х.н. Г.А. Кирсанов, А.А. Коваленко,  
ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»,  
А.В. Труфанов, Ю.И. Тимохина, ООО «АгроДронГрупп»  
e-mail: rafail-afanasev@mail.ru

Изложены результаты полевого и научно-производственного опытов по применению минеральных удобрений под озимую пшеницу, возделываемую на дерново-подзолистой почве, в целях разработки дистанционной диагностики азотного питания растений с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). По их итогам впервые для условий российского земледелия разработан эффективный роботизированный метод диагностики азотного питания растений, взамен наземных трудоемких, не безопасных для здоровья исполнителей, химических методов растительной диагностики, а также малопродуктивных фотометрических методов с применением портативных приборов либо установленных на механизированных носителях. Разработанный метод по показателям точности диагностики азотного питания растений превосходит также дистанционную диагностику с космических аппаратов (спутников).

Ключевые слова: азотные удобрения, почва, минеральное питание растений, озимая пшеница, фотоиндикация, дистанционная диагностика, БПЛА, урожайность.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.04

Повышение урожайности и качества зерновых культур, включая озимую пшеницу, во многом зависит от уровня применения минеральных удобрений. При этом важное значение отводится методам определения потребности растений в оптимизации их минерального питания. Методы такой диагностики постоянно совершенствуются [1]. В середине прошлого столетия в России и ряде других стран основным методом диагностики потребности растений в азотных удобрениях служил полуквантитативный метод при помощи определения в соке стеблей, главным образом озимых зерновых культур, содержания нитратов при воздействии на отрезки стеблей раствором дифениламина в крепкой серной кислоте [2] (рис. 1, 2).



Рис. 1. Стеблевая диагностика: подготовка растительной пробы к анализу

По интенсивности окраски выжатого сока дифениламином определяют уровень обеспеченности растений азотным питанием: чем интенсивнее окраска, тем

больше в растениях нитратного азота и тем лучше обеспеченность их азотным питанием. При недостатке нитратного азота в растениях вносят соответствующие дозы азотных удобрений в виде корневой подкормки.

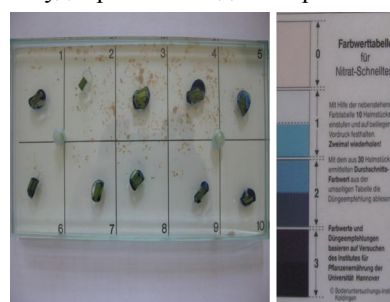


Рис. 2. Определение нитратного индекса по интенсивности окраски выжатого из стебля сока озимой пшеницы

В последние десятилетия обращают особенное внимание на разработку фотометрических [3-5], в том числе дистанционных, методов диагностики, главным образом для уточнения доз, сроков и способов применения азотных удобрений под зерновые культуры, прежде всего под озимую пшеницу, от производства которой зависят как уровень обеспечения внутреннего потребления, так и экспортные возможности государства. Применение дистанционной диагностики способно бо-

лее своевременно, в широких масштабах установить потребность посевов зерновых культур в азоте [6]. Основой современных методов мониторинга растений служит фотометрическое определение вегетационного индекса – NDVI, показывающего отношение разности между инфракрасным и красным спектрами отражения электромагнитного излучения посевом сельскохозяйственной культуры к их сумме по формуле:  $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$  (рис. 3).

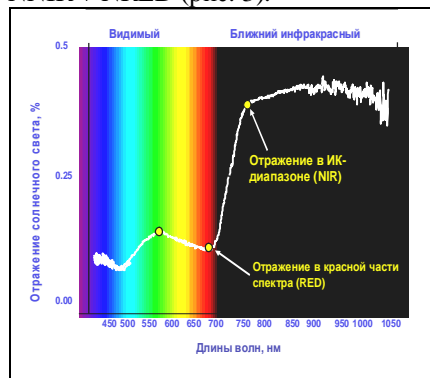


Рис. 3. Спектр отражения солнечного света от посевов сельскохозяйственных культур

Основным показателем NDVI при его дистанционном определении для агрономов служит зеленая фитомасса сельскохозяйственных культур. Этот показатель может использоваться для определения возможной урожайности при созревании культур, например зерновых, если при этом учитываются погодные и другие условия их вегетации. Однако, вопросы дистанционной диагностики азотного питания растений до сих пор находятся на стадии первоначальной разработки, и существенную роль в развитии данного направления играют результаты экспериментов, проводимых во ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. Значимость данного направления обусловлена недостаточным совершенством наземных и космических методов диагностики. В частности, с помощью портативных (рис. 4) и установленных на транспортные средства фотометров (рис. 5) за 8-часовой рабочий день можно обследовать от 40 до 80 га посевов.



Рис. 4. Портативный N-тестер фирмы «Yara»



Рис. 5. N-сенсор фирмы «Yara»



Рис. 6. Съемка полей космическим аппаратом

Космические методы мониторинга (рис. 6) позволяют проводить обследование посевов, в светлое время суток, на площади от 500 до 5000 га. Однако их масштабность в определенной мере сказывается на качестве производимых снимков. Если наземные механизированные фотометрические системы для обследования больших площадей посева обеспечивают разрешение на местности 10-20 м/пкс, то разрешение на космических снимках составляет 30-250 м/пкс. Космические снимки, полученные в облачную погоду, не дают необходимой информации, а в безоблачную – требуют определенной атмосферной коррекции. По результатам исследований ВНИИ агрохимии, проведенных совместно с ООО «АгроДронГрупп» на базе подмосковной опытной станции института, дистанционное обследование посевов в целях диагностики азотного питания растений наиболее целесообразно осуществлять с помощью беспилотных летательных аппаратов оснащенных как мультиспектральной съемочной аппаратурой и соответствующей программой по расчету NDVI, так и обычными (бытовыми) коптерами (дронами) с цифровой фотоаппаратурой в сочетании с наземными фотометрами. Эффективность дистанционного, с использованием БПЛА, определения потребности посевов в азотной подкормке установлена по результатам полевых опытов. В частности, определены дозы азотной подкормки посева озимой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистой почве, в зависимости от показаний NDVI (табл. 1).

1. Рекомендуемые дозы азота для весенней подкормки озимой пшеницы при планируемой урожайности зерна 5–6 т/га

NDVI, балл				
> 0,4	0,41-0,5	0,51-0,6	0,61-0,7	>0,7
Дозы азота, кг д.в/га				
150 (90 + 60)	120 (90 + 30)	90	60	0-30

Примечание. Повышенные дозы азотных удобрений (150 и 120 кг д.в/га) вносят в 2 – 3 приема с перерывом в 2 нед и более.

Возможность проводить фотодиагностику азотного питания растений с использованием обычных квадрокоптеров и портативных N-тестеров доказана на базе исследований, проведенных на опытном поле бывш. ЦОС ВНИИА в 2017 г. По их итогам в получен Патент на изобретение № 2661458 «Способ фотометрической диагностики азотного питания растений с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)».

Суть изобретения заключается в использовании для съемки засеянного сельскохозяйственной культурой поля с развитой биомассой обычного, в настоящее время широко распространенного в России, беспилотного коптера (дрона), оснащенного цифровым фотоаппаратом. Отснятый с определенной высоты участок посева

переносят с помощью компьютера на белый лист бумаги формата А 4, который разрезают на узкие, шириной около 2 см, полоски и сканируют с помощью какого-либо портативного фотометра. Предварительно требуется такую операцию выполнить на участке полевого опыта с возрастающими дозами азотных удобрений для калибровки используемого фотометра. Сравнение данных, полученных в результате сканирования производственного и опытного посевов возделываемой сельскохозяйственной культуры в определенные фазы вегетации, позволяет определить уровень обеспеченности производственного посева азотом и принять решение о применении азотных удобрений для вегетационной подкормки.

Проверка эффективности нового способа диагностики азотного питания растений с использованием обычного квадрокоптера и портативного фотометра, проведенная на базе полевого эксперимента на опытной станции ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, показала, что этот способ по точности диагностики не уступает ни непосредственному по листьям определению обеспеченности растений азотным питанием с помощью фотометра «Yaга», ни дистанционной диагностике с использованием специального БПЛА, ни стеблевой диагностике, ни по связи с урожайностью диагностируемой культуры (табл. 2). Коэффициент парной линейной корреляции показаний фотометра, фиксируемый на бумажном фотоснимке, с данными листовой фотометрической диагностики составлял 0,99, дистанционной с БПЛА – 0,97, т.е. адекватность этих методов была близка к 100%. Даже с урожайностью озимой пшеницы «бумажная» диагностика коррелировала с коэффициентом 0,97.

## 2. Обеспеченность озимой пшеницы азотным питанием, определенная различными методами в фазе трубкования растений (2018 г.), баллы

Вариант опыта	Диагностика фотометром «Yaга»		NDVI (с БПЛА)	Стеблевая диагностика	Урожайность, т/га
	по фотоснимку	по растениям			
N <sub>0</sub>	2	356	0,65	0	2,83
N <sub>30</sub>	22	511	0,81	0,9	4,41
N <sub>60</sub>	26	541	0,84	1,4	4,99
N <sub>90</sub>	30	580	0,85	2,5	5,0
N <sub>120</sub>	37	620	0,86	2,7	5,1
Коэффициент корреляции (r)		0,99	0,97	0,93	0,97

Приведенные диагностические показатели, полученные новым способом, и их тесная взаимосвязь, выражаемая высокими значениями коэффициентов парной линейной корреляции, свидетельствуют о возможности камеральной обработки обычных фотографий, полученных при дистанционной съемке активно вегетирующих, т.е. зеленых, растений портативными N-тестерами типа «Yaга». Исследования, проведенные в 2018–2019 гг., подтвердили возможность эффективного использования дистанционной диагностики азотного питания растений с применением БПЛА. Так, в 2018 г. на опытной станции ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова провели обследование поля озимой пшеницы с использованием БПЛА ООО «АгроДрон-Групп», на котором был также заложен полевой опыт с возрастающими дозами азотных удобрений.

Помимо вегетационного индекса NDVI, на производственном посеве и в полевом опыте, расположенном

на его территории, определяли наземную фитомассу растений, а также ряд других показателей.

Осенью 2018 г. на опытной станции ВНИИА был заложен научно-производственный опыт по изучению реакции различных сортов и линий озимой пшеницы селекции академика РАН Б.И. Сандухадзе на применение возрастающих доз минеральных, прежде всего азотных, удобрений (рис. 7). На снимке продольные делянки опыта представляют собой участки, засеянные сортами и селекционными линиями озимой пшеницы; делянки в поперечном направлении разделены на субделянки с возрастающими дозами удобрений по следующей схеме их внесения весной 2019 г.:

1. Контроль (б/у), 2. N<sub>90</sub>P<sub>46</sub>K<sub>31</sub>, 3. N<sub>150</sub>P<sub>76</sub>K<sub>51</sub>,
4. N<sub>210</sub>P<sub>110</sub>K<sub>74</sub>, 5. N<sub>210</sub>P<sub>110</sub>K<sub>100+м</sub> (микроэлементы).



Рис. 7. Общий вид научно-производственного опыта ВНИИА на «Полигоне и агротехнологий – 2019»

Общая площадь участка полевого опыта (с защитками) 10640 м<sup>2</sup>, или ~ 1,06 га. Длина участка опыта 100,8 м, ширина – 80 м. В опыте насчитывается 35 делянок. Длина каждой делянки 16 м, ширина 14,4 м (4 прохода сеялки 3Т – 3,6). Норма высева семян озимой пшеницы – 300 кг/га. Сорта пшеницы (4 сорта) и селекционные линии (3 линии) высевали по длинной стороне делянок, удобрения вносили вручную поперек прохода сеялки.

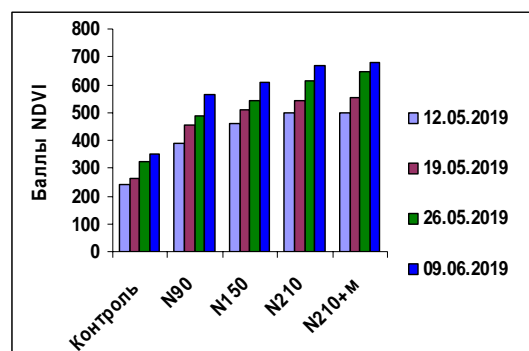


Рис. 8. Динамика NDVI озимой пшеницы

В течение вегетационного периода 2019 г. в зеленых растениях озимой пшеницы по вариантам опыта неоднократно с помощью портативного фотометра «Yaга» определяли обеспеченность их азотным питанием по показателям NDVI. На графике (рис. 8) видно, что с 12 мая по 9 июня 2019 г. показатели NDVI во всех вариантах, даже на контроле, со временем увеличивались. Это объясняется тем, что с середины мая до начала июня в почве, благодаря деятельности почвенной микрофлоры, повышалось содержание питательных веществ, прежде всего нитратного азота. Минеральные удобрения также существенно увеличивали вегетационный индекс – примерно с 350 баллов на контроле до 650 баллов в



вариантах с максимальной дозой азота. Коэффициенты парной линейной корреляции ( $r$ ) между дозами азотных удобрений, с одной стороны, и показателями по срокам диагностики, с другой, выявили тесную связь между ними. Для первого срока диагностики (12.05.2019 г.) коэффициент корреляции ( $r$ ) составил 0,98, для второго (19.05.2019 г.) – 0,96, третьего (26.05.2019 г.) – 0,99,

четвертого (9.06.2019 г.) – 0,97, т.е. наблюдалась высокая, близкая к 100%, зависимость показателей NDVI от доз минеральных удобрений.

Соответственно дозам минеральных удобрений повышалась и урожайность озимой пшеницы в вариантах опыта (табл. 3).

### 3. Урожайность сортов и линий озимой пшеницы селекции Б.И. Сандухадзе (ФГБНУ Федеральный исследовательский центр НИИСХ Немчиновка) в научно-производственном опыте ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

Доза N на фоне РК	Московская 39	Московская 40	Московская 56	Немчиновская 85	Линия Лютесценс 216/17	Линия Лютесценс 982/08	Линия Отбор из Лютесценс 982/08
N <sub>0</sub>	40,1	39,4	37,8	38,0	38,2	37,9	42,6
N <sub>90</sub>	56,0	55,2	53,3	56,9	56,8	57,0	64,0
N <sub>150</sub>	66,4	57,0	71,1	66,3	61,7	66,5	75,9
N <sub>210</sub>	68,3	61,7	71,2	71,1	64,0	69,7	85,4
N <sub>210</sub> + микроэлементы	71,2	68,8	78,3	75,9	66,4	71,3	92,5

Максимальная урожайность зерна озимой пшеницы – более 9 т/га – получена от селекционной линии Отбор из Лютесценс 982/08 в варианте, в котором, наряду с азотными, фосфорными и калийными удобрениями, применяли комплекс микроэлементов в виде некорневой подкормки. Из возделываемых сортов этой культуры наилучший результат в этом варианте удобрения показал сорт Московская 56, несколько уступал ему сорт Немчиновская 85.

Удобрения, прежде всего азотные, оказали заметное влияние и на химический состав растений. Внесение минеральных удобрений, по сравнению с контрольным вариантом, повысило в зеленой биомассе озимой пшеницы содержание сырого протеина, в спелом зерне – сырого белка (табл. 4). Максимальное содержание белка отмечено в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе N<sub>210</sub>P<sub>110</sub>K<sub>74</sub>. Применение микроудобрений, вызвав повышение урожайности зерна, несколько снизило в нем концентрацию белковых веществ, что согласуется с известными закономерностями в соотношении количество/качество.

Окупаемость удобрений прибавкой урожайности также зависела от биологических свойств сортов и ли-

ний озимой пшеницы, их реакции на применяемые дозы NPK и микроудобрения (табл. 5). Как правило, окупаемость с повышением доз макроудобрений снижалась. Микроудобрения в сочетании с самой высокой дозой калия (вариант N<sub>210</sub>P<sub>110</sub>K<sub>100</sub>) повышали окупаемость макроудобрений практически по всем сортам и линиям озимой пшеницы, за исключением линии Лютесценс 982/08.

### 4. Влияние удобрений на содержание азотистых веществ в изучаемых сортах и линиях озимой пшеницы по фазам вегетации растений (2019 г.)

Вариант опыта	Содержание сырого протеина в биомассе растений, %		Содержание сырого белка в зерне, %
	Выход в трубку 19.05	Цветение 9.06	Полная спелость 23.08
Контроль (б/у)	8,1	5,5	5,6
N <sub>90</sub> P <sub>46</sub> K <sub>31</sub>	10,4	5,7	5,9
N <sub>150</sub> P <sub>76</sub> K <sub>51</sub>	12,9	6,4	7,5
N <sub>210</sub> P <sub>110</sub> K <sub>74</sub>	11,6	5,2	9,8
N <sub>210</sub> P <sub>110</sub> K <sub>100</sub> + микроэлементы	11,7	6,2	9,0

### 5. Окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожайности сортов и селекционных линий озимой пшеницы, кг/кг

Доза N на фоне РК	Московская 39	Московская 40	Московская 56	Немчиновская 85	Линия Лютесценс 216/17	Линия Лютесценс 982/08	Линия Отбор из Лютесценс 982/08
N <sub>90</sub>	9,5	9,4	9,3	11,3	11,1	11,4	12,8
N <sub>150</sub>	9,5	6,4	12,0	10,2	8,5	10,3	12,0
N <sub>210</sub>	7,2	5,7	8,5	8,4	6,5	8,1	10,9
N <sub>210</sub> + микроэлементы	7,4	7,0	9,6	9,0	6,7	7,9	11,9

Эффективность работ ВНИИА по совершенствованию методов управления продуктивностью сельскохозяйственных культур путем рационального применения удобрений была продемонстрирована на примере сортов и селекционных линий озимой пшеницы, выведенных академиком РАН Б.И. Сандухадзе, на «Полигоне агротехнологий – 2019» на базе опытной станции института.

**Заключение.** Выявленные на опытной станции ВНИИА в полевом и научно-производственном опытах с возрастающими дозами азотных удобрений закономерности показали тесную зависимость показаний беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а именно вегетационного индекса (NDVI), от обеспеченности растений азотом. Установлено, что достоинством дис-

танционной диагностики азотного питания растений с БПЛА, по сравнению с другими методами, являются оперативность и технологическая простота, а также экономическая эффективность использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур. Это, по существу, открывает новый способ в решении проблемы диагностики азотного питания растений. Следует отметить, что прежние методы наземного да и космического мониторинга посевов сдерживали принятие ряда технологических решений, в частности о проведении азотных подкормок в период вегетации растений. Исследования на базе опытной станции ВНИИА показали, что дистанционная диагностика минерального питания растений с использованием БПЛА, оснащенных соответ-

вующей фотометрической аппаратурой, имеет важное значение для управления продуктивностью растений. Нововведением, осуществленным ВНИИА и подтвержденным свидетельством на изобретение Роспатентом РФ, является также способ дистанционно-камеральной обработки фотоснимков полей для определения NDVI посевов с использованием простого летательного аппарата для дистанционной их съемки и портативного фотометра для обработки полученных фотоснимков в камеральных условиях. Проведенные исследования открывают широкие возможности для своевременного и качественного применения предлагаемых технологий диагностики минерального питания растений. Учитывая эффективность новых, с использованием БПЛА, способов диагностики азотного питания растений можно рекомендовать их для повсеместного применения в

практике агрохимического обслуживания земледелия страны.

#### Литература

1. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – 325 с.
2. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
3. Афанасьев Р.А. Агрохимическое обеспечение точного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 3. – С. 46-53.
4. Осипов Ю.Ф., Иваницкий Я.В., Ширинян М.Х., Афанасьев Р.А., Галицкий В.В. Использование прибора N-тестер «Яра» для диагностики азотного питания озимой пшеницы // Плодородие. – 2011. – № 1. – С. 26-29.
5. Афанасьев Р.А., Белоусова К.В., Литвинский В.А. и др. Фотометрическая диагностика азотного питания ярового рапса и озимой тритикале в условиях Центрального Черноземья // Плодородие. – 2012. – № 4 – С. 51-52.
6. Афанасьев Р.А. Дистанционная диагностика азотного питания растений с использованием БПЛА / Плодородие почв России: состояние и возможности. Под ред. В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2019. – С. 191-196.

### OPPORTUNITIES OF REMOTE DIAGNOSTICS OF MINERAL NUTRITION OF PLANTS

V.G. Sychev<sup>1</sup>, R.A. Afanasev<sup>1</sup>, G.A. Kirsanov<sup>1</sup>, A.A. Kovalenko<sup>1</sup>, A.V. Trufanov<sup>2</sup>, Yu.I. Timohina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia, e-mail: rafail-afanasev@mail.ru

<sup>2</sup>AgroDroneGroup, Kotlyakovskaya ul 3/13, Moscow, 115201, Russia

*The results of field and scientific-production experiments on the application of mineral fertilizers for winter wheat cultivated on sod-podzolic soil are presented in order to develop remote diagnostics of nitrogen nutrition of plants using unmanned aerial vehicles (UAVs). According to their results, for the first time for the conditions of Russian agriculture, an effective robotic method for diagnosing nitrogen nutrition of plants was developed, instead of land-consuming labor-intensive, unsafe for health of performers, chemical methods of plant diagnostics, as well as inefficient photometric methods using portable devices or mounted on mechanized media. The developed method in terms of accuracy of diagnostics of nitrogen nutrition of plants is also superior to remote diagnostics from spacecraft (satellites).*

*Key words: nitrogen fertilizers, soil, mineral nutrition of plants, winter wheat, photoindication, remote diagnostics, UAVs, productivity.*

УДК 631.82:633.1:631.445.41 [470.4]

### ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ В СТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

В.В. Пронько<sup>1</sup>, д.с.-х.н., Т.М. Ярошенко<sup>2</sup>, к.с.-х.н., Н.Ф. Климова<sup>2</sup>, к.с.-х.н., Д.Ю. Журавлев<sup>2</sup>, к.с.-х.н.

<sup>1</sup>Научно-производственное объединение «Сила жизни»,

410005, Саратов, ул. Бол. Садовая, д. 239, E-mail: viktor-pronko@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБНУ НИИСХ Юго-Востока,

410010, Саратов, ул. Тулайкова, д. 7, E-mail: zhuravlevd14@yandex.ru

*В длительном стационарном опыте на южных черноземах степи Поволжья определены размеры выноса из почвы азота, фосфора, калия с урожаем основной и побочной продукции озимой и яровой пшеницы, проса, ячменя и овса. Установлено потребление макроэлементов на формирование единицы урожая (с соответствующим количеством побочной продукции) названных культур. Показано влияние погодных условий вегетационного периода, а также азотных и фосфорных удобрений на вынос и потребление элементов питания в черноземной степи Поволжья.*

*Ключевые слова: минеральные удобрения, погодные условия, вынос, макроэлементы, зерновые культуры, южные чернозёмы, степи Поволжья.*

DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.05

Под влиянием идей Ю. Либиха о возврате в почву химических элементов, отчуждаемых растениями [5], для определения количества вносимых удобрений еще во второй половине 19-го века стали применять химический анализ почв и растений. За прошедшие более чем полтора столетия сформировались два основных направления для установления потребности растений в удобрениях. Первое – это химический анализ почвы, при котором определяют запасы доступных для растений элементов питания. При этих анализах используют растворители (как правило, растворы кислот и солей).

Они, предположительно, извлекают химические соединения, которые доступны корням растений [9]. Однако в литературе можно найти положение о недопустимости отождествления количества элементов минерального питания, обнаруженного химическим анализом почвы, с тем количеством, которое действительно доступно растению. Так, Д.У. Кук [4] отмечает, что при таком анализе фактически определяется лишь растворимость тех или иных элементов в используемом реактиве, а не их доступность для корней растений.