

## **ДИАГНОСТИКА АЗОТНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

**О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, Н. Н. Семененко, О. В. Симанков**

*Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Ведущая роль в повышении урожаев сельскохозяйственных культур принадлежит азоту. Он является важным биологическим элементом и играет исключительную роль в жизни растений. Источниками азота для растений являются почвенный азот, органические и минеральные удобрения, биологический азот, накапливаемый клубеньковыми бактериями, свободноживущими азотфиксирующими организмами, а также азот, поступающий с атмосферными осадками и семенами [1].

Почвенный азот в основной своей массе представлен органическими соединениями, входящими в состав гумуса, и только незначительная его часть (до 5 %) находится в виде неорганических соединений – нитратов и аммония [2, 3]. Величина общего запаса азота в почвах является показателем их потенциального плодородия.

Для установления оптимальных доз азотных удобрений и сроков их внесения при выращивании сельскохозяйственных культур используется метод определения потенциально усвояемого азота [4], принятый как республиканский стандарт. Метод предусматривает учет азота нитратов, обменного аммония и легко минерализуемых органических соединений, т. е. непосредственно используемого растениями минерального азота и его ближайшего резерва.

Наиболее коррелирует с содержанием азота в вегетативных органах растений и с величиной урожая количество минерального азота в почве [3], что определяет преимущество использования его для почвенной диагностики азотного питания растений.

Однако почвенный анализ не может предусмотреть влияния на поглощение растением питательных веществ и его рост таких факторов, как погодные условия, избирательная способность культуры в поглощении питательных веществ из почвы по фазам развития, микробиологические процессы в почве и т. д., поэтому в ходе вегетации для оценки и корректировки питания культур используется растительная диагностика [5–7]. При использовании этого вида диагностики пробы растений анализируют либо без озоления на содержание в них неорганических форм соединений, либо после озоления определяют общее количество элемента [7].

Цель данной работы – оценка азотного питания растений яровой пшеницы, возделываемой на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, с использованием, разработанных Н. Н. Семененко и других методов

анализа дерново-подзолистых почв на содержание минерального азота в почве [8] и определения содержания минерального азота в растениях [9]. Особенность методик заключается в том, что для экстрагирования азота из растительных и почвенных образцов используется один и тот же растворитель – 0,2 М уксусная кислота.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования с яровой пшеницей сорт Сударыня проводили в 2018–2020 гг. на опытном поле РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя следующая:  $pH_{KCl}$  5,9–6,1, содержание гумуса – 2,3–2,6 %,  $N_{усв}$  – 20–24 мг/кг, подвижные соединения фосфатов – 630–720, калия – 210–280 мг/кг почвы.

Предшественник яровой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зеленую массу и поукосно редька масличная.

В опыте предусматривалось применение в основное внесение мочевины, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия. Азотные удобрения в подкормку вносили в форме мочевины (**М**) в твердом виде (вариант 7) в фазы 1-го узла и флаг-листа и в виде раствора при разбавлении водой (вариант 8) в фазы 1-го узла, флаг-листа и колошения. Комплексное водорастворимое удобрение – АФК ( $N_{16}P_{16}K_{16}$ ) в виде раствора в фазы 1-го узла, флаг-листа и колошения. Регулятор роста – Экосил и микроудобрения МикроСтим-Медь, Марганец применяли в подкормку в фазы 1-го узла и флаг-листа, МикроСил-Бор в колошение согласно схеме опыта.

Схема опыта:

1. Без удобрений
2.  $P_{30}K_{90}$  – фон
3. Фон +  $N_{60}$
4. Фон +  $N_{90}$
5. Фон +  $N_{120}$
6. Фон +  $N_{150}$
7. Фон +  $N_{90+30+30}$  + МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 + 1,0 л/га) + Экосил (0,1 + 0,1 л/га)
8. Фон +  $N_{90}$  + ( $N_{14(M)}$  + АФК, 4кг/га + МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га) + Экосил (0,1 л/га))<sup>1</sup> + ( $N_{12(M)}$  + АФК, 3кг/га + МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га) + Экосил (0,1 л/га))<sup>2</sup> + ( $N_{9(M)}$  + АФК, 2 кг/га + МикроСил-Бор (1,5 л/га))<sup>3</sup>
  - 1 – Водный раствор<sup>1</sup> – фаза 1-го узла
  - 2 – Водный раствор<sup>2</sup> – фаза флагового листа
  - 3 – Водный раствор<sup>3</sup> – фаза колошения.

В 8 варианте за вегетацию внесено 126 кг/га д.в. азота, 31,4 кг/га д.в. фосфора и 91,4 кг/га д.в. калия.

Агротехника возделывания яровой пшеницы – общепринятая для Республики Беларусь, включающая интегрированную систему защиты растений от сорной растительности, вредителей и болезней.

Опыт заложен в 4-кратном повторении, общая площадь делянки 24 м<sup>2</sup>.

В течение вегетации растений в фазы 1-го узла, флаг-листа, колошения, молочной спелости и созревания осуществлялся мониторинг за биометрическими показателями. В эти же фазы и перед посевом яровой пшеницы, до внесения удобрений, осуществлялся отбор почвенных образцов.

Минеральные соединения азота в почве определяли путем экстрагирования из почвы 0,2 М раствором уксусной кислоты при отношении почвы к экстрагенту 1:20, времени взаимодействия – 18–20 ч и последующим фотокolorиметрическим определением азота [8].

Минеральные соединения азота в сырой растительной массе ( $N_{\text{мин}}$ ) также экстрагировались 0,2 М раствором уксусной кислоты при соотношении массы растений и экстрагирующего раствора 1:20 и времени взаимодействия – 18–20 ч, определение фотометрическое [9].

Также определяли:

- содержание потенциально усвояемых соединений азота в почве перед посевом культуры по методу Н. Н. Семененко и др. [4],
- концентрация валовых форм азота в растениях (Нобщ) после мокрого озоления по методу ЦИНАО (1982);
- содержание белка и клейковины в зерне – на ИК спектрофотометре «Infra-neo».

Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [10] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия в годы исследований значительно различались (табл. 1). Условия 2018 г. в период от посева и до наступления фазы флаг-листа у яровой пшеницы отличались повышенными температурами воздуха (15,8–17,8 °С), сопровождавшимися значительным недостатком влаги. В дальнейшем температурный режим оставался благоприятным, условия увлажнения несколько улучшились, но дефицит запасов влаги в почве отмечался практически до фазы молочной спелости яровой пшеницы.

Таблица 1

**Гидротермические условия по периодам вегетации яровой пшеницы, 2018–2020 гг.**

Показатель	Год	Межфазный период				
		посев – 1-й узел	1-й узел – флаг-лист	флаг-лист – колошение	колошение – молочная спелость	молочная спелость – созревание
Средние температуры за период, °С	2018	15,8	17,8	18,3	17,1	21,2
	2019	11,4	18,8	22,8	19,4	16,4
	2020	8,2	16,4	21,0	20,1	17,1
$\sum t > 10$ °С (активных)	2018	294,2	380,7	164,4	341,6	359,4
	2019	288,0	273,4	155,6	325,3	460,8
	2020	181,6	334,7	188,7	280,7	478,3
Сумма осадков, мм	2018	19,1	2,0	17,7	192,1	11,0
	2019	51,6	14,8	8,1	36,4	63,0
	2020	53,3	90,7	19,9	66,6	35,4

Показатель	Год	Межфазный период				
		посев – 1-й узел	1-й узел – флаг-лист	флаг-лист – колошение	колошение – молочная спелость	молочная спелость – созревание
Длительность меж- фазного периода, дней	2018	27	20	10	31	18
	2019	46	14	7	17	27
	2020	46	21	9	14	27

2019 г. в начальный период вегетации яровой пшеницы характеризовался благоприятными условиями. В то же время, критический период по отношению к влаге у яровой пшеницы (1-й узел – колошение), отличался засушливыми условиями, выпало 22,9 мм осадков, при повышенных температурах воздуха (18,8–22,8 °С). 2020 г. характеризовался лучшей влагообеспеченностью, чем предыдущие годы, при пониженном температурном фоне в начальный период роста растений яровой пшеницы. От посева до первого узла средние температуры воздуха составили всего 8,2 °С, в то время как оптимальной температурой для появления всходов является 12–15 °С [11]. В период от флаг-листа до молочной спелости температурный режим улучшился (20,1–21,0 °С), количество осадков составило 86,5 мм за период.

Гидротермические условия оказали значительное влияние на содержание азота в почве и растениях яровой пшеницы и в результате повлияли на величину и качество урожая культуры.

Содержание усвояемого азота перед посевом яровой пшеницы по годам исследований изменялось незначительно, составив в среднем по опыту в 2018 г. – 21,4, в 2019 г. – 23,3 и в 2020 г. – 20,7 мг/кг почвы. В то же время содержание минеральных форм элемента, определяемое в 0,2 М уксусной кислоте, более существенно различалось по годам – от 2,2 в 2018 г. до 17,0 мг/кг в 2020 г.

В среднем за три года содержание минерального азота в почве перед посевом яровой пшеницы составляло 9,3–10,6 мг/кг почвы (табл. 2). К фазе первого узла отмечается положительное действие на данный показатель азотных удобрений, внесенных перед посевом в дозе 90 кг д.в./га и выше. В вариантах с внесением N<sub>90</sub> количество минерального азота оставалось на предпосевном уровне, при внесении N<sub>120</sub> и N<sub>150</sub> – несколько повышалось. В дальнейшем существенных различий в данном показателе между вариантами с внесением от 60 до 150 кг д.в./га азота не наблюдалось.

Таблица 2

**Динамика содержания минерального азота в почве, среднее за 2018–2020 гг., мг/кг**

Вариант опыта	Перед посевом	1-й узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость	Полная спелость
Без удобрений	10,6	6,2	15,5	12,5	17,5	13,2
P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> – фон	10,4	6,2	15,1	14,4	17,6	11,6
Фон + N <sub>60</sub>	9,7	6,7	17,1	14,7	18,0	11,5
Фон + N <sub>90</sub>	9,5	10,1	16,0	13,6	16,9	10,9
Фон + N <sub>120</sub>	9,4	12,9	17,4	16,0	17,9	13,3
Фон + N <sub>150</sub>	10,2	12,4	17,6	15,2	18,0	12,2

Вариант опыта	Перед посевом	1-й узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость	Полная спелость
Фон + N <sub>90+30+30</sub> + МЭ + РР	9,4	9,8	21,0	18,6	21,1	12,2
Фон + N <sub>90</sub> + вр <sup>1</sup> + вр <sup>2</sup> + вр <sup>3</sup> *	9,3	9,2	17,3	13,9	19,5	13,7
НСР <sub>05</sub>	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	4,4	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	2,4	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>

\* вр<sup>1</sup> + вр<sup>2</sup> + вр<sup>3</sup> – водный раствор<sup>1</sup> + водный раствор<sup>2</sup> + водный раствор<sup>3</sup>.

Можно отметить незначительное положительное влияние дробного внесения азота (Фон + N<sub>90+30+30</sub> + МЭ + РР) на содержание минеральной формы данного элемента в почве. Подкормка в фазу первого узла обеспечила содержание минерального азота к фазе флаг-листа на уровне 21,0 мг/кг, тогда как в других вариантах оно не превышало 17,6 мг/кг. В фазу колошения, в результате подкормки в предыдущую фазу, содержание азота было существенно выше (на 2,6 мг/кг) по сравнению с другими вариантами. Отмеченная тенденция прослеживалась и в фазу молочной спелости яровой пшеницы.

В целом наибольшее содержание минерального азота на уровне 15,1–21,1 мг/кг почвы, отмечено в период от флагового листа до молочной спелости яровой пшеницы, что в некоторых вариантах более чем в два раза больше, чем перед посевом или в фазу первого узла (6,2–12,9 мг/кг).

Таким образом, содержание минерального азота в почве изменяется в течение вегетации в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений, а также гидротермических условий. Особенности метеоусловий обуславливали изменение данного показателя как в течение вегетации, так и по годам исследования. В 2020 г. ухудшение условий после посева культуры – пониженные температуры в период до появления первого узла – обусловили снижение содержания минерального азота с 17,0 до 5,0 мг/кг почвы (рис. 1). Повышение температурного фона в дальнейшем при оптимальных условиях увлажнения способствовало повышению количества минерального азота, которое достигало максимума (27,2 мг/кг) к фазе молочной спелости. Наименьшие колебания, на уровне 11,1–16,1 мг/кг почвы, в содержании минерального азота в почве в течение вегетации наблюдались в 2019 г. В 2018 г. неблагоприятные гидротермические условия, отмечавшиеся длительное время, обусловили наименьшие среди лет исследования показатели содержания минерального азота – 2,2–12,2 мг/кг почвы.

Для характеристики обеспеченности растений питательными элементами определено содержание минеральных соединений и общего азота в растениях.

Минеральные (неорганические) соединения азота в растениях большей частью представлены нитратами, их содержание подвержено весьма значительным колебаниям в зависимости от условий питания и погоды [12]. Кроме того, при поступлении в растения минеральный азот очень быстро вовлекается в синтез органических соединений.

В среднем по опыту содержание минерального азота в зеленой массе растений (на естественную влажность) изменялось от 167 в молочную спелость до 273 мг/кг в колошение (табл. 3), что составило соответственно 0,04 и 0,12 % в сухом веществе. В среднем в сумме общего азота наибольшая доля минерального – около 7 % отмечена в фазах флаг-листа и колошения, около 4 % в первый узел и наименьшее относительное содержание – 3 % в молочную спелость.

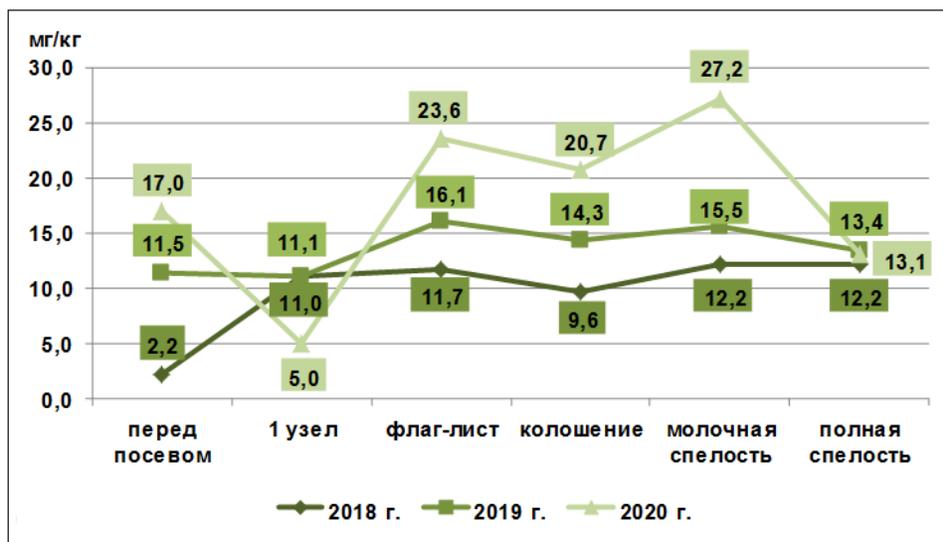


Рис. 1. Динамика содержания минерального азота в почве при возделывании яровой пшеницы, в среднем по опыту

Таблица 3

**Динамика содержания минерального и общего азота в растениях яровой пшеницы**

Вариант опыта	Минеральный азот, мг/кг сырого вещества				Общий азот, % в сухом веществе			
	1-й узел	флаг-лист	колошение	молочная спелость	1-й узел	флаг-лист	колошение	молочная спелость
Без удобрений	167	129	236	179	2,91	1,36	1,34	1,13
P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> – фон	162	197	273	171	2,83	1,34	1,37	1,16
Фон + N <sub>60</sub>	180	176	279	191	2,76	1,38	1,55	1,17
Фон + N <sub>90</sub>	203	193	289	161	3,27	1,50	1,82	1,46
Фон + N <sub>120</sub>	209	215	282	153	3,50	1,77	1,96	1,48
Фон + N <sub>150</sub>	208	202	287	166	3,18	1,72	1,82	1,44
Фон + N <sub>90+30+30</sub> + МЭ + РР	219	248	285	160	3,55	2,07	1,96	1,60
Фон + N <sub>90</sub> + вр <sup>1</sup> + вр <sup>2</sup> + вр <sup>3</sup>	201	205	282	151	3,23	1,78	1,72	1,35
HCP <sub>05</sub>	20	29	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	0,22	0,27	0,16	0,15

Характерной особенностью в динамике содержания минерального азота в среднем за три года является его повышение от первого узла к колошению и дальнейшее резкое снижение к молочной спелости на 24 % в варианте без удобрений, и на 32–46 % в вариантах с внесением азотных удобрений. Можно отметить, что в фазах первого узла и флаг-листа отмечались значительные различия в данном показателе между вариантами опыта, обусловленные внесением азотных удобрений.

В отличие от минерального, содержание общего азота снижается от фазы 1-го узла (2,76–3,55 %) к молочной спелости (1,13–1,60 %). При этом более выражено влияние внесения азотных удобрений, применение  $N_{90-150}$  достоверно повышало содержание элемента в растениях относительно фонового варианта во все фазы роста и развития.

В большей степени, чем от системы удобрения, поглощение неорганических соединений и общего азота изменялось по годам исследования. Коэффициент вариации в зависимости от вносимых удобрений составил 14 %, в то время как от метеорологических условий года – 30 %.

Ход изменений в содержании минерального азота в 2019 и 2020 гг. имел схожий характер и, вероятнее всего, был близок к закономерной динамике элемента, присущей яровой пшенице (рис. 2). В эти годы от фазы первого узла к колошению происходило увеличение содержания неорганического азота, а затем резкое его снижение к молочной спелости. При этом в 2020 г., отличавшемся лучшими условиями увлажнения, содержание элемента в растениях яровой пшеницы было выше, чем в 2019 г., при этом разница, возрастала от первого узла к молочной спелости.

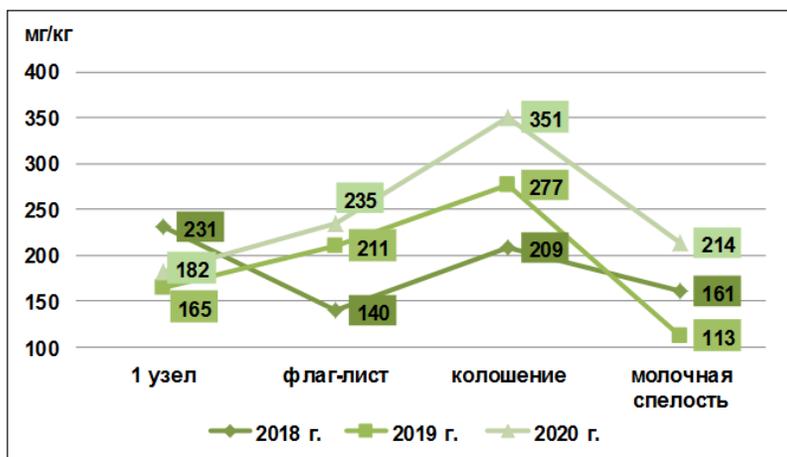


Рис. 2. Динамика содержания минерального азота по основным фазам развития яровой пшеницы в среднем по опыту, мг/кг

Динамика содержания в растениях неорганического азота в 2018 г. во многом обусловлена метеоусловиями. Крайне неблагоприятные погодные условия в период от 1-го узла до появления флагового листа, когда выпало всего 2 мм осадков, обусловили снижение содержания минерального азота с 231 до 140 мг/кг. В дальнейшем в результате улучшения условий увлажнения данный показатель повысился, составив к колошению до 209 мг/кг.

Изменения содержания общего азота по годам исследования показывают, что при различиях в абсолютных значениях наблюдаются общие тенденции. Наибольшие величины в содержании общего азота отмечались в фазу 1-го узла – 2,30–3,63 % (рис. 3). К фазе флагового листа содержание общего азота значительно снижалось во все годы исследования, темпы снижения были сопоставимы – 1,48–

1,62 %. Затем отмечались менее значительные темпы изменения содержания данного элемента.

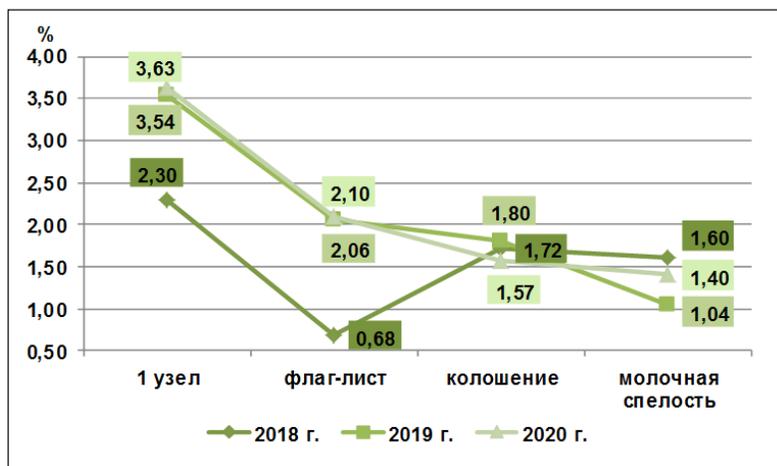


Рис. 3. Динамика содержания общего азота по основным фазам развития яровой пшеницы в среднем по опыту, %

В 2018 г. резкое снижение содержания общего азота (как и минерального) к фазе флаг-листа обусловлено не только ухудшением погодных условий, но и нарастанием биомассы, которая увеличилась в 4,2 раза за этот период (рис. 4). При близких значениях показателя содержания азота в этот период в два последующих года исследования, в 2019 г. биомасса увеличилась в 2,4 раза, в 2020 г. – в 4,1, то есть в первом случае снижение в большей степени связано с ухудшением условий увлажнения, а во втором – с ростовым разбавлением.

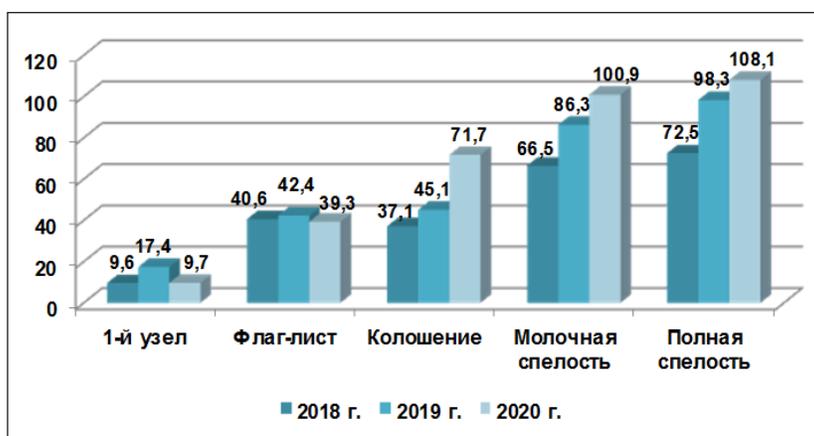


Рис. 4. Нарастание биомассы растений яровой пшеницы по основным фенологическим фазам, кг/га

К колошению в 2018 г., несмотря на прошедшие дожди, запасы влаги в почве не были восполнены, в результате отмечалось снижение количества накопленной биомассы на 3,5 ц/га. В связи с этим можно предположить, что повышение

концентрации азота более чем на 1 % связано с оттоком элемента из отмерших листьев к более молодым.

В 2019 г. при незначительном приросте биомассы, составившем всего 2,7 ц/га, повышение концентрации общего азота не наблюдалось, что может быть связано с повышенными температурами воздуха (22,8 °С) и недостаточным увлажнением. В 2020 г. снижение концентрации общего азота в растениях яровой пшеницы было обусловлено в первую очередь ростовыми процессами разбавления, поскольку биомасса за период увеличилась на 32,4 ц/га.

Улучшение условий в 2019 г. от колошения к молочной спелости сопровождалось нарастанием биомассы почти в два раза, что привело к снижению концентрации азота в растениях до 1,04 %, это самый низкий показатель по годам исследования. В 2018 г. невысокое, по сравнению с другими годами исследования, накопление биомассы позволило создать значительную концентрацию азота в растениях, что в дальнейшем способствовало образованию зерна с высоким содержанием сырого белка. Высокая продуктивность биомассы и соответственно урожай в 2020 г. не способствовали такому высокому накоплению азота в растениях как в 2018 г., но при этом более благоприятные метеороусловия, чем в 2019 г. обусловили более высокое содержание элемента.

Для определения связи содержания минерального азота в почве и его неорганических форм, и общего содержания в растениях проведен корреляционный анализ данных величин. Поскольку поглощение азота растениями осуществляется в основном в его минеральных формах, то логично предположить более тесную связь между минеральными формами азота в почве и таковыми в растениях. Как видно из данных табл. 4, тесная прямолинейная зависимость между минеральными формами азота в почве и растениях наблюдается в фазе колошения ( $R^2$  0,63) и средняя корреляционная связь в фазе флаг-листа ( $R^2$  0,34), то есть в фазы, которые характеризуются интенсивным поглощением элементов питания растениями яровой пшеницы. Отсутствие корреляционной зависимости в фазу первого узла может быть обусловлено тем, что растения использовали элемент, внесенный с удобрениями при посеве культуры. Объяснением низкого значения коэффициента детерминации – 0,07, рассчитанного для молочной спелости культуры может служить то, что к данной фазе потребление растениями пшеницы питательных веществ из почвы полностью прекращается [13].

Таблица 4

**Значения коэффициента детерминации, характеризующего связь содержания азота в почве с содержанием в растениях и урожайностью**

Фаза	$N_{\text{мин}}$ в почве		
	$N_{\text{мин}}$ в растениях	$N_{\text{общ}}$ в растениях	Урожайность
	$R^2$ *		
Перед посевом	–	–	0,68
1-й узел	0,13	0,03	0,08
Флаг-лист	0,34	0,42	0,62
Колошение	0,63	<0,01	0,61
Молочная спелость	0,07	<0,01	0,41
Полная спелость	–	–	0,09

\* Существенность связи при рассматриваемом объеме данных (24 парных наблюдений) обнаруживается при  $R^2 \geq 0,16$  [4].

Существенная корреляционная связь между содержанием общего азота в растениях и минеральных его форм в почве отмечена только в фазе флаг-листа. Отсутствие зависимостей в 1-й узел и молочную спелость яровой пшеницы можно объяснить теми же факторами, которые были описаны для минерального азота. В колошение, при том, что продолжает поступать минеральный азот из почвы, все же преобладают процессы перехода соединений азота из листьев и стеблей в формирующиеся органы колоса.

Содержание минерального азота в почве в фазы флаг-листа и колошения имеет тесную корреляционную связь и с урожайностью. В молочную спелость зависимость ослабевает –  $R^2 0,41$ , а к полной спелости не обнаруживается ( $R^2 0,09$ ). Также и в фазу первого узла, когда значительно влияние внесенных удобрений, связи урожайности с почвенным азотом не отмечено. В то же время тесная связь наблюдается между урожайностью и количеством минерального азота в почве перед посевом яровой пшеницы.

Элементы минерального питания влияют на процессы, определяющие урожайность и качество. Азот, как элемент образования органического вещества, регулирующий рост вегетативной массы больше других элементов влияет на уровень урожайности, а также на содержание белка и клейковины в зерне [1].

Зависимость урожайности яровой пшеницы и качества ее зерна от доз, кратности и сроков внесения азотных удобрений общеизвестна. Влияние изучаемых в опыте систем удобрения на урожайность и качество зерна яровой пшеницы представлено в таблице 5.

Таблица 5

**Урожайность и качество зерна яровой пшеницы, возделываемой на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га			Сырой белок, %			Клейковина, %		
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Без удобрений	33,8	43,3	55,4	11,9	9,6	10,3	25,2	18,0	19,1
$P_{30}K_{90}$ – фон	36,0	43,7	58,1	12,1	9,5	11,1	25,5	18,1	21,6
Фон + $N_{60}$	41,4	55,1	60,6	14,6	11,1	11,2	34,2	20,2	21,8
Фон + $N_{90}$	44,2	57,7	60,9	15,0	12,7	11,6	35,3	24,5	23,1
Фон + $N_{120}$	44,7	58,3	60,0	15,6	13,7	12,7	37,2	27,8	26,7
Фон + $N_{150}$	43,2	54,9	60,2	15,8	13,8	13,1	38,1	28,2	28,1
Фон + $N_{90+30+30}$ + МЭ + РР	44,4	57,2	65,9	16,6	14,2	13,6	41,0	29,4	30,2
Фон + $N_{90}$ + $вр^1$ + $вр^2$ + $вр^3$	46,5	60,0	65,3	15,8	13,4	12,9	37,9	28,3	27,4
$HCP_{05}$	1,6	1,7	2,5	0,7	0,5	1,2	2,3	1,1	3,8

Интерес представляют взаимосвязи между содержанием азота в растениях в различные фенологические фазы и величиной урожая культуры, а также содержанием в зерне сырого белка и клейковины. Расчет коэффициента детерминации свидетельствует о том, что содержание минерального азота в растениях яровой пшеницы в фазе флаг-листа и колошения и общего азота в 1-й узел и флаг-лист на 65–75 % определяют уровень урожая яровой пшеницы (табл. 6).

При этом можно отметить, что в вариантах с урожайностью около 60 ц/га зерна и выше количество минерального азота в фазу флагового листа составляло 200–290 мг/кг, в колошение – 271–395 мг/кг, содержание общего азота в первый узел было на уровне 3,3–4,3 %, во флаг-лист – 1,8–2,7 %.

Таблица 6

**Математические модели зависимости урожайности и качества зерна яровой пшеницы от содержания азота в отдельные фазы роста и развития**

Показатель	Фаза	Уравнение	R <sup>2</sup>
Урожайность			
Содержание N <sub>мин</sub>	Флаг-лист	$y = 0,1298x + 26,775$	0,65
	Колошение	$y = 0,1173x + 19,832$	0,68
Содержание N <sub>общ</sub>	1 узел	$y = 10,686x + 18,411$	0,69
	Флаг-лист	$y = 10,921x + 34,484$	0,75
Содержание сырого белка			
Содержание N <sub>мин</sub>	1 узел	$y = 0,0493x + 3,4967$	0,78
Содержание N <sub>общ</sub>	Колошение	$y = 5,3172x + 3,9899$	0,53
	Молочная спелость	$y = 4,4394x + 7,0118$	0,48
Содержание клейковины			
Содержание N <sub>мин</sub>	1 узел	$y = 0,1714x - 5,2448$	0,84
Содержание N <sub>общ</sub>	Колошение	$y = 15,188x + 2,0634$	0,38
	Молочная спелость	$y = 16,378x + 5,7109$	0,58

Формирование показателей качества происходит в более поздние фазы – колошение и молочная спелость. Поскольку в состав белка и клейковины входят органические соединения азота, то тесная связь в эти фазы с содержанием сырого белка и клейковины обнаруживается для содержания общего азота в растениях. При этом можно отметить высокую корреляционную зависимость содержания сырого белка (R<sup>2</sup> 0,78) и клейковины (R<sup>2</sup> 0,84) от содержания в растениях в 1-й узел минеральных форм азота. То есть, чем больше минерального азота поступит в растения яровой пшеницы к фазе первого узла, тем более высокого качества зерно можно получить.

Формирование зерна с содержанием сырого белка более 13 % и клейковины более 28 % происходило в опыте при содержании минерального азота в фазу первого узла на уровне 184–246 мг/кг, содержание общего азота в фазе колошения при этом составляло 1,6–2,1 %, в молочную спелость – 1,0–1,7 %.

Необходимо отметить, что получение урожая яровой пшеницы на уровне 60 ц/га и выше с высокими показателями качества возможно при применении не менее 120 кг/га д.в. азотных удобрений и отсутствии продолжительных периодов (прохождение двух и более фенофаз) с засушливыми условиями.

## ВЫВОДЫ

В результате исследований с яровой пшеницей, проведенных на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, установлено, что разовое внесение азотных удобрений в дозах 90–150 кг д.в./га благоприятно влияет

на содержание минеральных форм азота в почве до фазы первого узла яровой пшеницы. Дробное внесение 150 кг д.в./га азота способствует существенному улучшению условий азотного питания до фазы колошения.

Максимальное содержание минеральных форм азота (236–289 мг/кг) в растениях яровой пшеницы отмечается в фазе колошения, общего (2,76–3,55 %) – в первый узел.

Выявлена корреляционная зависимость между содержанием азота в почве и растениях пшеницы. Существенная связь содержания минерального азота в почве и растениях установлена в фазы флаг-листа ( $R^2$  0,34) и колошения ( $R^2$  0,63), минерального азота в почве с общим в растениях – во флаг-лист ( $R^2$  0,42). Отмечена тесная связь содержания минерального азота в почве перед посевом пшеницы и в фазы флаг-листа и колошения с урожайностью ( $R^2$  0,61–0,68).

Оценка содержания азота в растениях яровой пшеницы в фазы 1 узел – колошение дает возможность прогнозирования продуктивности и качества зерна яровой пшеницы. Для получения урожая яровой пшеницы 60 ц/га и выше содержание минерального азота в растениях в фазу флагового листа должно составлять не менее 200 мг/кг, в колошение – не менее 270 мг/кг. Содержание общего азота в первый узел – не ниже 3,3 %, во флаг-лист – более 1,8 %.

Формирование зерна с содержанием сырого белка более 13 % и клейковины более 28 % происходит при условии содержания минерального азота в растениях в первый узел не менее 180 мг/кг и общего азота в колошение более 1,6 %, в молочную спелость – более 1,0 %.

Для достижения вышеуказанных показателей необходимо внесение  $N_{120-150}$  (в твердом виде или в виде водных растворов) на фоне  $P_{30}K_{90}$  совместно с микроудобрениями и Экосилом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Значение азота для растений, содержание и превращение его в почве [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://neznaniya.net/agronomija/racionalnoe-primenenie-udobrenij/1964-znachenie-azota-dlya-rasteniy-soderzhanie-i-prevraschenie-ego-v-pochve.html>. – Дата доступа: 08.02.2021.
2. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А. В. Соколова, Д. Л. Аскинази. – 4-е изд., доп. и перер. – М.: Наука, 1965. – 436 с.
3. Практикум по агрохимии: учеб. пособие / под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
4. РСТ Беларуси 908-91 Почвы. Метод определения потенциально усвояемого азота. – Минск: Минсельхозпрод РБ, 1991. – 13 с.
5. Ермохин, Ю. И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск: ОмГАУ, 1995. – 208 с.
6. Магницкий, К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К. П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.

7. *Церлинг, В. В.* Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 216 с.

8. Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Семененко [и др.] – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.

9. Методы оперативной диагностики минерального питания зерновых культур / Н. Н. Семененко, [и др.] – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.

10. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

11. Растениеводство: учебное пособие / под общ. ред. К. В. Коледы, А. А. Дука. – Гродно, 2007. – 400 с.

12. Азот в растениях [Электронный ресурс] // Агропортал. – Режим доступа: <http://agro-portal24.ru/mineralnie-udobrenija/5931-azot-v-rastenii.html>. – Дата доступа: 27.01.2021.

13. Особенности питания и удобрения яровой пшеницы [Электронный ресурс] // Зооинженерный факультет МСХА. – Режим доступа: <https://www.activestudy.info/osobennosti-pitaniya-i-udobreniya-yarovoj-pshenicy/>. – Дата доступа: 02.02.2021.

## **DIAGNOSTICS OF NITROGEN NUTRITION OF SPRING WHEAT ON HIGHLY CULTIVATED SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL**

**O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva, N. N. Semenenko, O. V. Simankov**

### **Summary**

The data of diagnostics of nitrogen nutrition of spring wheat on highly cultivated soil are presented. A close relationship between crop yield and grain quality and nitrogen content in soil and plants has been established. The greatest number of conjugated indicators was revealed in the phases of flag-leaf and earing of spring wheat. The optimal parameters of these indicators allowing to obtain the yield of spring wheat at the level of 60 and more c/ha are determined: the content of mineral nitrogen in plants in the phase of the flag leaf is not less than 200 mg/kg, in the earing – not less than 270 mg/kg; the content of total nitrogen in the first node – not less than 3,3 %, in the flag leaf – more than 1,8 %.

*Поступила 23.03.21*