

«Экстра»-азот в формировании урожайности сельскохозяйственных культур (результаты исследований с ^{15}N)

Н.Н. Цыбулько, доктор с.-х. наук

Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета

(Дата поступления статьи в редакцию 30.01.2025)

Установлена тесная зависимость ($r = 0,87$) между величиной дополнительной мобилизации почвенного азота и прибавками урожайности зерновых культур и рапса при внесении азотных удобрений. Удельный вес «экстра»-азота в формировании прибавок урожайности сельскохозяйственных культур колеблется от 21 до 75 %. Средние прибавки урожайности за счет «экстра»-азота составляют от 3–4 ц/га маслосемян ярового рапса до 14–17 ц/га зерна озимой пшеницы. Относительные прибавки урожайности, рассчитанные на единицу дополнительно мобилизованного азота почвы, составляют (ц зерна или маслосемян/кг «экстра»-азота): озимая пшеница – 0,2–0,4, озимая рожь – 0,3–0,4, яровая пшеница, ячмень, горох с овсом – 0,1–0,3, яровой рапс – 0,1–0,2. Более высокие относительные прибавки урожайности отмечаются на озимых зерновых культурах.

A close relation ($r = 0.87$) is established between the amount of additional mobilization of soil nitrogen and the yield increases of cereals and rapeseeds when nitrogen fertilizers are applied. The share of «extra» nitrogen in the formation of crop yield increases ranges from 21 to 75%. The average yield increases are from 3–4 c/ha of spring rapeseed oil seeds to 14–17 c/ha of winter wheat grain due to «extra» nitrogen. The relative yield increases calculated per unit of additionally mobilized soil nitrogen, amount to (centner of grain or oil seeds/kg of «extra» nitrogen): winter wheat – 0.2–0.4, winter rye – 0.3–0.4, spring wheat, barley, peas with oats – 0.1–0.3, spring rapeseed – 0.1–0.2. Higher relative yield increases are observed on winter cereals.

Введение

Данная публикация является продолжением обобщения результатов многолетних исследований, проведенных с использованием метода «меченых атомов» (меченых стабильным изотопом ^{15}N азотных удобрений), по влиянию доз, сроков внесения и форм азотных удобрений на количественные параметры дополнительного потребления растениями почвенного азота («экстра»-азота) на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, гидроморфизма и степени эродированности, установления роли «экстра»-азота в питании растений и продукционном процессе сельскохозяйственных культур [1].

Величина «экстра»-азота в растениях часто тесно коррелирует с получаемой от азотных удобрений прибавкой урожая, аккумуляция в профиле почвы нитратов обусловлена дополнительной мобилизацией почвенного азота, а избыток нитратов в урожае объясняется преобладанием азота почвы в составе нитратного фонда растений [2]. Отмечается, что среди сельскохозяйственных культур наиболее высокой способностью к накоплению азота почвы (в расчете на единицу внесенного азота удобрения) обладают картофель, овес и озимая рожь, несколько меньшей – ячмень и кукуруза, минимальной – озимая и яровая пшеница [3].

Цель работы – обобщение результатов многолетних исследований по влиянию доз, сроков внесения и форм азотных удобрений на формирование прибавок урожайности сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, гидроморфизма и степени эродированности.

Объекты и методы

Объектами исследований являлись дерново-подзолистые легкосуглинистые неэродированные, средне- и сильноэродированные почвы, сформированные на лессовидных суглинках, дерново-подзолистые автоморфные и глееватые супесчаные почвы, сформированные на водно-ледниковых рыхлых супесях. Исследования проводили в микрополевых опытах. Площадь микроделенок опытов 1 м². Повторность в опытах 4-кратная. Минеральные удобрения вносили из расчета г/м² действующего вещества.

Данный раздел более детально представлен в журнале «Земледелие и растениеводство» за 2024 г. в №4 в статье ««Экстра»-азот почвы в питании растений (результаты исследований с ^{15}N)» (стр. 39–47).

Результаты исследований

Исследования, проведенные с применением под сельскохозяйственные культуры меченых изотопом ^{15}N азотных удобрений, позволили установить, что интенсивность потребления и включения азота в продукционный процесс определяется почвенными условиями, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур, дозами, сроками внесения и формами азотных удобрений [4–6]. Продуктивность сельскохозяйственных культур изменялась в зависимости от гранулометрического состава и степени эродированности дерново-подзолистых почв, доз, сроков применения и форм азотных удобрений.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве урожайность озимой ржи на фосфорно-калийном фоне (P_8K_{12}) составляла в среднем за 3 года исследований 415 г/м^2 ($41,5 \text{ ц/га}$). Внесение N_9 в ранневесеннюю подкормку озимой ржи обеспечило прибавку зерна 233 г/м^2 . Дробное применение азота – N_3 перед посевом и N_6 в начале весенней вегетации озимой ржи – снижало урожайность по отношению к варианту 2, а внесение N_6 в начале весенней вегетации и N_3 в фазу выхода в трубку растений, наоборот, увеличило ее на 49 г/м^2 . Максимальная продуктивность озимой ржи сформирована в варианте с применением N_{12} (N_9 в начале весенней вегетации и N_3 в фазу колошения), которая составила 716 г/м^2 ($71,6 \text{ ц/га}$).

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с запасом минерального азота ($N_{\text{мин}}$) в пахотном слое в ранневесенний период в среднем 68 кг/га в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений прибавки урожайности от них составили $154\text{--}203 \text{ г/м}^2$ ($15,4\text{--}20,2 \text{ ц/га}$), а за счет «экстра»-азота – $42\text{--}90 \text{ г/м}^2$ ($4,2\text{--}9,0 \text{ ц/га}$). Доля азота удобрения в урожае колебалась от 66 до 80% , «экстра»-азота – от 20 до 34% (таблица 1).

На дерново-подзолистой супесчаной почве урожайность озимой ржи и ячменя на фосфорно-калийном фоне (P_8K_{12}) составила в среднем за 3 года исследований соответственно 371 и 332 г/м^2 ($37,1$ и $33,2 \text{ ц/га}$). Внесение N_6 в ранневесеннюю подкормку озимой ржи и перед посевом ячменя обеспечило прибавки зерна на 167 и 164 г/м^2 , соответственно. Рост урожайности наблюдался по мере увеличения количества азотных удобрений. Получена достоверная прибавка зерна при внесении N_9 при возобновлении весенней вегетации озимой ржи по отношению к вариантам с N_6 , которая составила $33,0 \text{ г/м}^2$. На ячмене прибавка была незначительной. Действие дробного применения азота удобрений зависело от возделываемой культуры. Так, на ячмене внесение N_9 в два приема (N_6 – перед посевом и N_3 – в фазу выхода в трубку) не обеспечило существенного увеличения урожайности по отноше-

нию к варианту с однократным применением этой же дозы. На озимой ржи получена существенная прибавка зерна – 41 г/м^2 . Внесение дозы азотных удобрений 12 г/м^2 способствовало существенному увеличению урожайности только озимой ржи. На ячмене наблюдалась тенденция к повышению урожайности.

На дерново-подзолистой супесчаной почве с запасом $N_{\text{мин}}$ в пахотном слое в ранневесенний период в среднем $58,3 \text{ кг/га}$ в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений прибавки урожайности озимой ржи и ячменя составили соответственно $74\text{--}94 \text{ г/м}^2$ ($7,4\text{--}9,4 \text{ ц/га}$) и $67\text{--}107 \text{ г/м}^2$ ($6,7\text{--}10,7 \text{ ц/га}$), а за счет «экстра»-азота – $94\text{--}153 \text{ г/м}^2$ ($9,4\text{--}15,3 \text{ ц/га}$) и $57\text{--}121 \text{ г/м}^2$ ($5,7\text{--}12,1 \text{ ц/га}$). В целом удельный вес «экстра»-азота в формировании общей прибавки зерна озимой ржи и ячменя на супесчаных почвах варьировал от 35 до 64% .

Влияние форм азотных удобрений на продуктивность культур яровой пшеницы и гороха с овсом на зерно на дерново-подзолистых супесчаных автоморфной и глееватой почвах зависело от степени гидроморфности почв и биологических особенностей растений (таблица 2).

Продуктивность яровой пшеницы на фоне P_9K_{15} сформирована на автоморфной почве 242 г/м^2 , на глееватой почве – 287 г/м^2 . Азотные удобрения применяли в дозе 9 г/м^2 (90 кг/га) перед посевом яровой пшеницы. В зависимости от формы вносимого азота урожайность колебалась в пределах на автоморфной почве $329\text{--}342 \text{ г/м}^2$ ($HCP_{05} = 31,7$), на глееватой почве – $428\text{--}444 \text{ г/м}^2$ ($HCP_{05} = 41,1$). Прибавки зерна к фону РК составили на автоморфной почве $87\text{--}100 \text{ г/м}^2$, на глееватой почве – $141\text{--}157 \text{ г/м}^2$. Не установлено существенных различий между формами азотных удобрений по влиянию на урожайность яровой пшеницы.

На дерново-подзолистой супесчаной почве с запасом $N_{\text{мин}}$ в пахотном слое в ранневесенний период в среднем $58,0 \text{ кг/га}$ в зависимости от форм азотных удобрений прибавки зерна яровой пшеницы составили на автоморфной почве $64\text{--}73 \text{ г/м}^2$ ($6,4\text{--}7,3 \text{ ц/га}$), на

Таблица 1. Формирование прибавок урожайности зерновых культур за счет азота удобрений и «экстра»-азота

Почва, культура	Вариант	Урожайность зерна, г/м^2	Прибавка зерна к фону РК, г/м^2	В том числе за счет, г/м^2	
				азота удобрения	«экстра»-азота
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, озимая рожь	1. P_8K_{12} – фон	415	–	–	–
	2. Фон + N_9^*	648	233	154	79
	3. Фон + $N_3^* + N_6^*$	627	212	170	42
	4. Фон + $N_6^* + N_3^{**}$	697	282	203	79
	5. Фон + $N_6^* + N_3^{***}$	659	244	178	66
	6. Фон + $N_9^* + N_3^{****}$	716	301	211	90
	$HCP_{0,95}$	25,0	–	–	–
Дерново-подзолистая супесчаная, озимая рожь	1. P_8K_{12} – фон	371	–	–	–
	2. Фон + N_6^*	538	167	74	94
	3. Фон + N_9^*	571	200	78	122
	4. Фон + $N_6^* + N_3^{**}$	579	208	85	123
	5. Фон + $N_9^* + N_3^{**}$	617	246	94	153
	HCP_{05}	15,7	–	–	–
	HCP_{05}	15,7	–	–	–
Дерново-подзолистая супесчаная, ячмень	1. P_8K_{12} – фон	332	–	–	–
	2. Фон + N_6^*	496	164	107	57
	3. Фон + N_9^*	515	183	75	108
	4. Фон + $N_6^* + N_3^{**}$	517	185	67	118
	5. Фон + $N_9^* + N_3^{**}$	530	198	77	121
	HCP_{05}	29,9	–	–	–
	HCP_{05}	29,9	–	–	–

Примечание. Азотные удобрения вносили: N – до посева, N^* – возобновление весенней вегетации озимой ржи, N^{**} – фаза выхода в трубку растений, N^{***} – фаза раскрытия последнего листа (флаг-листа), N^{****} – фаза колошения.

глееватой почве – 75–77 г/м² (7,5–7,7 ц/га), а за счет «экстра»–азота – 23–27 г/м² (2,3–2,7 ц/га) и 66–80 г/м² (6,6–8,0 ц/га), соответственно. Удельный вес «экстра»–азота в формировании общей прибавки урожайности яровой пшеницы на автоморфных почвах был в пределах 26–28 %, на глееватых почвах – 47–51 %.

Как видно из полученных данных, благодаря более усиленной мобилизации почвенного азота на полугидроморфных (глееватых) почвах по сравнению с автоморфными почвами при внесении азотных удобрений прибавки урожайности яровой пшеницы от «экстра»–азота на них значительно выше.

Урожайность гороха с овсом на зерно на фонах Р₆К₁₅ получена на автоморфной почве 295 г/м², на глееватой почве – 308 г/м². Азотные удобрения в дозах 6 г/м² (60 кг/га) способствовали существенному увеличению урожайности бобово-злаковой смеси. Прибавки зерна по отношению к фосфорно-калийному фону сформированы на автоморфной почве 141–161 г/м², на глееватой почве – 105–134 г/м². Достоверных различий в урожайности бобово-злаковой смеси между формами азотных удобрений не установлено. В то же время наибольшая урожайность на автоморфной почве получена при применении жидкого азотного удобрения КАС, составившая 456 г/м² зерна, а на глееватой почве – при внесении мочевины – 442 г/м².

В зависимости от вносимых форм азотных удобрений прибавки зерна гороха с овсом от них составили на автоморфной почве 27–33 г/м² (2,7–3,3 ц/га), на глееватой почве – 31–35 г/м² (3,1–3,5 ц/га), а за счет «экстра»–азота – 110–134 г/м² (11,0–13,4 ц/га) и 70–103 г/м² (7,0–10,3 ц/га) соответственно. Удельный вес «экстра»–азота в формировании общей прибавки урожайности бобово-злаковой смеси на автоморфных почвах составил 77–88 %, на глееватых почвах – 67–77 %. Высокий удельный вес дополнительно мобилизован-

ного почвенного азота в формировании урожайности бобово-злаковой смеси связано, по нашему мнению, с фиксацией атмосферного азота бобовым компонентом (горохом). Установлено, что при благоприятных почвенных и погодных условиях доля фиксированного азота от общего содержания его в растениях гороха составляет 40–60 % [7].

Изучена роль азота удобрений и «экстра»–азота в формировании урожайности озимой пшеницы и ярового рапса на дерново-подзолистых почвах разной эродированности, которые различались запасами минерального азота – от 50 кг/га на сильноэродированной почве до 68 кг/га – на незэродированной почве.

Продуктивность озимой пшеницы в среднем за 3 года опытов на фонах Р₄К₇ изменялась от 588 г/м² на незэродированной почве до 511 и 455 г/м² соответственно на средне- и сильноэродированной почвах, то есть на 77 и 133 г/м² ниже. На незэродированной почве при дробном применении азотных удобрений в дозе N₁₀ (N₈ – в ранневесеннюю подкормку и N₂ – в фазу выхода в трубку растений) получена прибавка зерна 158 г/м², в том числе за счет внесенного азота 87 г/м² (55 %), за счет «экстра»–азота – 71 г/м² (45 %). При увеличении дозы первой азотной подкормки до 9 г/м² (вариант Р₄К₇N₁₁₍₉₊₂₎) урожайность составила 808 г/м² (из расчета 80,8 ц/га). Полученная прибавка зерна 220 г/м² сформирована на 52 % за счет азота удобрения и на 48 % – за счет дополнительно мобилизованного азота почвы. На средне- и сильноэродированной почвах в вариантах с внесением на фоне Р₄К₇ азотных удобрений в дозе N₁₁ (N₉ – в ранневесеннюю подкормку и N₂ – в фазу выхода в трубку растений) урожайность озимой пшеницы составила соответственно 695 и 633 г/м² или ниже по сравнению с незэродированной почвой на 113 и 175 г/м². В прибавках зерна на средне- и сильноэродированной почвах соответственно 184 и 178 г/м²

Таблица 2. Формирование прибавок урожайности зерна за счет азота удобрений и «экстра»–азота в зависимости от форм азотных удобрений

Почва, культура	Вариант	Урожайность зерна, г/м ²	Прибавка зерна к фону РК, г/м ²	В том числе за счет, г/м ²	
				азота удобрения	«экстра»–азота
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная, яровая пшеница	1. Р ₉ К ₁₅ – фон	242	–	–	–
	2. Фон +N ₉ к	342	100	73	27
	3. Фон +N ₉ а	337	95	68	27
	4. Фон +N ₉ аа	329	87	64	23
	5. Фон +N ₉ кас	331	89	66	23
	HCP _{0,95}	31,7	–	–	–
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная, яровая пшеница	1. Р ₉ К ₁₅ – фон	287	–	–	–
	2. Фон +N ₉ к	444	157	77	80
	3. Фон +N ₉ а	441	154	77	77
	4. Фон +N ₉ аа	428	141	75	66
	5. Фон +N ₉ кас	442	155	76	79
	HCP _{0,5}	41,1	–	–	–
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная, горох с овсом за зерно	1. Р ₆ К ₁₅ – фон	295	–	–	–
	2. Фон +N ₆ к	438	143	33	110
	3. Фон +N ₆ а	436	141	30	111
	4. Фон +N ₆ аа	441	146	29	117
	5. Фон +N ₆ кас	456	161	27	134
	HCP _{0,5}	37,6	–	–	–
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная, горох с овсом на зерно	1. Р ₆ К ₁₅ – фон	308	–	–	–
	2. Фон +N ₆ к	442	134	31	103
	3. Фон +N ₆ а	415	107	34	73
	4. Фон +N ₆ аа	426	118	33	85
	5. Фон +N ₆ кас	413	105	35	70
	HCP _{0,5}	39,0	–	–	–

*Примечание. Nк – карбамид; Na – сульфат аммония; Naa – селитра аммиачная; Nкас – раствор карбамида и аммиачной селитры.

долевое участие азота удобрений составило 57–58 %, дополнительно мобилизованного азота – 42–43 %. При увеличении общих доз азотных подкормок растений озимой пшеницы на среднеэродированной почве до 12 г/м² (120 кг/га) и на сильноэродированной почве до 13 г/м² (130 кг/га) в результате мобилизующего эффекта азотных удобрений вклад «экстра»-азота в формирование прибавок урожайности достигал 50–56 %. Повышение доз фосфорных и калийных удобрений на эродированных почвах также приводило к увеличению прибавки зерна за счет дополнительно мобилизуемого почвенного азота (таблица 3).

При возделывании ярового рапса на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной степени эродированности установлены следующие закономерности действия азотных удобрений на формирование урожайности. На фосфорно-калийных фонах P₃K₆ в среднем за 3 года опытов сбор маслосемян на незэродированной, средне- и сильноэродированной почвах составил соответственно 214, 185 и 160 г/м².

На незэродированной почве при дробном применении азотных удобрений в дозе N₁₀ (N₈ – перед посевом и N₂ – в фазу стеблевания растений) получена прибавка 102 г/м² (10,2 ц/га). За счет внесенного азота сформировано 70 г/м² (69 %), за счет «экстра»-азота – 32 г/м² (31 %). При увеличении дозы основного внесения азота до 9 г/м² (вариант P₃K₆N₁₁₍₉₊₂₎) урожай-

ность маслосемян возросла до 340 г/м² (34,0 ц/га). Полученная прибавка 126 г/м² сформирована на 58 % за счет азота удобрения и на 42 % – за счет дополнительно мобилизованного почвенного азота.

На средне- и сильноэродированной почвах в вариантах с внесением на фоне P₃K₆ азотных удобрений в дозе N₁₁ (N₉ – перед посевом и N₂ – в фазу стеблевания растений) урожайность рапса составила соответственно 276 и 238 г/м² или ниже по сравнению с незэродированной почвой на 64 и 102 г/м². В полученных прибавках маслосемян на средне- и сильноэродированной почвах соответственно 91 и 78 г/м² основную долю занимал азот удобрения – 76–84 %. При увеличении общей дозы азотных удобрений на среднеэродированной почве до 12 г/м² (120 кг/га) и на сильноэродированной почве до 13 г/м² (130 кг/га) в результате мобилизующего эффекта азотных удобрений вклад «экстра»-азота в формирование прибавок урожайности увеличилось незначительно и составляло 19–29 %. На более высоких фонах применения фосфорных и калийных удобрений на эродированных почвах (вариант 4) произошло незначительное увеличение прибавки урожайности за счет дополнительно мобилизуемого почвенного азота.

В результате корреляционно-регрессионного анализа полученных данных установлена тесная взаимосвя-

Таблица 3. Формирование прибавок урожайности озимой пшеницы и ярового рапса за счет азота удобрений и «экстра»-азота на дерново-подзолистых почвах разной эродированности

Эродированность почвы	Вариант	Урожайность зерна, г/м²	Прибавка зерна к фону РК, г/м²	В том числе за счет, г/м²	
				азота удобрения	экстра-азота
Озимая пшеница					
Неэродированная	1. P ₄ K ₇	588	—	—	—
	2. P ₄ K ₇ N ₈ *+N ₂ **	746	158	87	71
	3. P ₄ K ₇ N ₉ *+N ₂ **	808	220	114	106
	4. P ₃ K ₆ N ₉ *+N ₂ **	792	204	106	98
	HCP ₀₅	40,4	—	—	—
Средне-эродированная	1. P ₄ K ₇	511	—	—	—
	2. P ₄ K ₇ N ₉ *+N ₂ **	695	184	107	77
	3. P ₄ K ₇ N ₉ *+N ₃ **	756	245	122	123
	4. P ₅ K ₈ N ₉ *+N ₃ **	782	271	125	146
	HCP ₀₅	40,4	—	—	—
Сильно-эродированная	1. P ₄ K ₇	455	—	—	—
	2. P ₄ K ₇ N ₉ *+N ₂ **	633	178	101	77
	3. P ₄ K ₇ N ₉ *+N ₄ **	726	271	119	152
	4. P ₆ K ₈ N ₉ *+N ₄ **	757	302	124	178
	HCP ₀₅	40,4	—	—	—
Яровой рапс					
Неэродированная	1. P ₃ K ₆	214	—	—	—
	2. P ₃ K ₆ N ₈ +N ₂ *	316	102	70	32
	3. P ₃ K ₆ N ₉ +N ₂ *	340	126	73	53
	4. P ₃ K ₄ N ₉ +N ₂ *	326	112	73	39
	HCP ₀₅	21,7	—	—	—
Средне-эродированная	1. P ₃ K ₆	185	—	—	—
	2. P ₃ K ₆ N ₉ +N ₂ *	276	91	69	22
	3. P ₃ K ₆ N ₉ +N ₃ *	296	111	79	32
	4. P ₄ K ₇ N ₉ +N ₃ *	311	126	84	42
	HCP ₀₅	21,7	—	—	—
Сильно-эродированная	1. P ₃ K ₆	160	—	—	—
	2. P ₃ K ₆ N ₉ +N ₂ *	238	78	65	13
	3. P ₃ K ₆ N ₉ +N ₄ *	261	101	82	19
	4. P ₅ K ₈ N ₉ +N ₄ *	273	112	87	25
	HCP ₀₅	21,7	—	—	—

Примечание. Азотные удобрения вносили: N – перед посевом ярового рапса, N* – при возобновлении весенней вегетации озимой пшеницы и в фазу стеблевания ярового рапса, N** – в фазу выхода в трубку растений озимой пшеницы.

вязь между величиной дополнительной мобилизации почвенного азота («экстра»-азота) и прибавками урожайности озимых и яровых зерновых культур (зерно) и рапса (маслосемена) при внесении азотных удобрений. Данная взаимосвязь описывается линейной зависимостью с коэффициентом корреляции 0,87 и коэффициентом аппроксимации 0,75 (рисунок 1).

Определены ориентировочные средние значения дополнительной мобилизации почвенного азота в зависимости от доз азотных удобрений, а также прибавки урожайности за счет «экстра»-азота зерна озимой пшеницы, озимой ржи, яровой пшеницы, ячменя, бобово-злаковой смеси (горох с овсом) и маслосемян ярового рапса на дерново-подзолистых легкосуглинистых и супесчаных почвах (таблица 4).

В зависимости от почвенных условий, гидротермических условий вегетационного периода при возделывании сельскохозяйственных культур, доз и сроков внесения азотных удобрений средняя величина «экстра»-азота изменяется в широких пределах – от 18 до

90 кг/га, различия составляют до 5 раз. Прибавки урожайности за счет «экстра»-азота варьируют от 3–4 ц/га маслосемян ярового рапса до 14–17 ц/га зерна озимой пшеницы. В то же время, относительные прибавки урожайности, рассчитанные на единицу дополнительно мобилизованного азота почвы, сравнительно близкие, особенно по отдельным сельскохозяйственным культурам. Так, для озимой пшеницы они составляли 0,2–0,4 ц зерна на 1 кг «экстра»-азота, для озимой ржи – 0,3–0,4, для яровой пшеницы, ячменя и гороха с овсом – 0,1–0,3, для ярового рапса – 0,1–0,2 ц маслосемян на 1 кг «экстра»-азота. Более высокие относительные прибавки урожайности отмечаются на озимых зерновых культурах (пшеница и рожь).

Заключение

Установлена тесная зависимость ($r = 0,87$) между величиной дополнительной мобилизации почвенного азота и прибавками урожайности зерновых культур и рапса при внесении азотных удобрений. Удельный вес «экстра»-азота в формировании прибавок урожайности сельскохозяйственных культур колеблется от 21 до 75 %. Средние прибавки урожайности за счет «экстра»-азота составляют от 3–4 ц/га маслосемян ярового рапса до 14–17 ц/га зерна озимой пшеницы. Относительные прибавки урожайности, рассчитанные на единицу дополнительно мобилизованного азота почвы, составляют (ц зерна или масло-семян/кг «экстра»-азота): озимая пшеница – 0,2–0,4, озимая рожь – 0,3–0,4, яровая пшеница, ячмень, горох с овсом – 0,1–0,3,

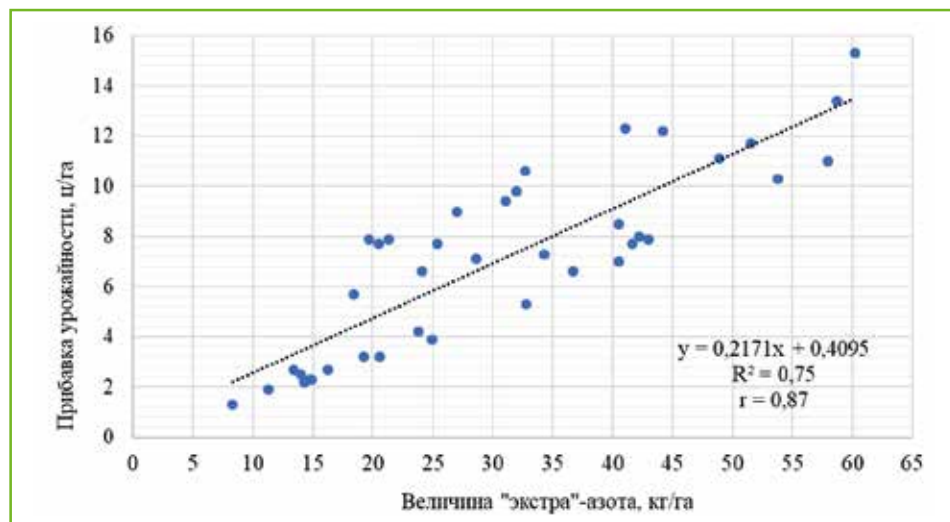


Рисунок 1. Зависимость между величиной «экстра»-азота и прибавками урожайности сельскохозяйственных культур

Таблица 4. Средние значения «экстра»-азота в зависимости от доз азотных удобрений и прибавки урожайности сельскохозяйственных культур

Культура	Дозы $N_{уд}$, кг/га	«Экстра»-азот, кг/га	Прибавки урожайности за счет «экстра»-азота, ц/га	Прибавки урожайности (ц) на 1 кг «экстра»-азота
Дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы				
Озимая пшеница	N_{100}	29	7	0,2
	N_{110}	28	9	0,3
	N_{120}	35	14	0,4
	N_{130}	39	17	0,4
Озимая рожь	N_{90}	22	8	0,4
	N_{120}	27	9	0,3
Яровой рапс	N_{100}	21	3	0,1
	N_{110}	20	3	0,2
	N_{120}	22	4	0,2
Дерново-подзолистые супесчаные почвы				
Озимая рожь	N_{60}	31	9	0,3
	N_{90}	43	12	0,3
	N_{120}	60	15	0,3
Яровая пшеница	N_{90}	28	5	0,2
Ячмень	N_{60}	18	6	0,3
	N_{90}	76	11	0,1
	N_{120}	90	12	0,1
Горох с овсом на зерно	N_{60}	48	10	0,2

яровой рапс – 0,1–0,2. Более высокие относительные прибавки урожайности отмечаются на озимых зерновых культурах.

Литература

1. Цыбулько, Н.Н. «Экстра»-азот почвы в питании растений (результаты исследований с ^{15}N) / Н.Н. Цыбулько // Земледелие и растениеводство. – 2024. – №4 (154). – С. 39–47.
2. Соколов, О.А. Нитраты в окружающей среде / О.А. Соколов, В.М. Семенов, В.А. Агаев. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1990. – 316 с.
3. Завалин, А.А. Коэффициент использования растениями азота удобрений и его регулирование / А. А. Завалин, О. А. Соколов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – №4(370). – С. 71–75.
4. Цыбулько, Н.Н. Баланс азота удобрений в системе почва–растение под зерновыми культурами на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н.Н. Цыбулько, Д.В. Киселева // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – №2(41). – С. 145–155.
5. Потребление растениями и баланс азота на дерново-подзолистых почвах разной эродированности при возделывании озимой пшеницы / Н.Н. Цыбулько [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – №2 (59). – С. 95–106.
6. Цыбулько, Н.Н. Вклад азота почвы и удобрений в формирование урожая сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах / Н.Н. Цыбулько // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – №2 (61). – С. 43–54.
7. Сычев, В.Г. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур / В. Г. Сычев, О. А. Соколов, Н.Я. Шмырева. – М.: ВНИИА, 2009. – 424 с.

