

**Агрехимия**

УДК 631.8+631.1

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019636-39>**ПОТРЕБЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ АЗОТА ПОЧВЫ  
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УДОБРЕНИЯ, СИДЕРАТА  
И БИОПРЕПАРАТА (ИССЛЕДОВАНИЯ С <sup>15</sup>N)\*****А.А. Завалин, академик РАН, Л.С. Чернова, С.Н. Сапожников,  
А.А. Коваленко, кандидаты сельскохозяйственных наук***Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова,  
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а  
E-mail: zavalin.52@mail.ru*

*В модельном опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, обогащенной стабильным изотопом азота <sup>15</sup>N, изучали использование растениями яровой пшеницы азота почвы при внесении аммиачной селитры, биомассы горчицы белой и инокуляции семян препаратом ассоциативным азотфиксатором Ризоагрином. Установлено, что потребление растениями азота происходит преимущественно из свежевношенного азота удобрения. При внесении биомассы горчицы белой и инокуляции семян Ризоагрином яровая пшеница использует азот почвы, при комплексном применении этих компонентов и аммиачной селитры – азот почвы и удобрения. Накопление биомассы растений преимущественно возрастает от свежевношенного азота удобрения как отдельно, так и при сочетании с сидератом и инокуляцией семян биопрепаратом и составляет 14-28% по отношению к контролю без удобрений. При внесении азотного удобрения, а также при сочетании его с сидератом и биопрепаратом до 1,5 раз повышается концентрация азота в растениях. Прослеживается четкая тенденция роста значения этого показателя при внесении биомассы горчицы и инокуляции семян Ризоагрином. В результате накопление в растениях общего азота увеличивается в 2 раза при внесении азотного удобрения, в 1,2 раза – при использовании биомассы горчицы белой и биопрепарата, что связано с наличием в питательной среде доступных растениям соединений азота. Накопление в растениях <sup>15</sup>N характеризует потребление растениями азота почвы. При внесении азотного удобрения этот показатель меньше, а при использовании только биомассы горчицы и Ризоагрина он равноценен контролю без удобрений, что свидетельствует о большом потреблении минерализованного азота из почвы при применении двух последних компонентов, и что азотное удобрение не выступает фактором минерализации органического вещества почвы. Использование под яровую пшеницу биомассы горчицы белой и инокуляции семян Ризоагрином приводит к потреблению растениями почвенного азота в начальный период вегетации.*

**CONSUMPTION OF SOIL NITROGEN BY PLANTS IN THE USE OF FERTILIZER,  
GREEN MANURE AND BIOPREPARATION  
(STUDY WITH <sup>15</sup>N)****Zavalin A.A., Chernova L.S., Sapozhnikov S.N., Kovalenko A.A.***All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,  
127550, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31a  
E-mail: zavalin.52@mail.ru*

*In a model experiment on a sod-podzolic medium loamy soil enriched with a stable nitrogen isotope <sup>15</sup>N, the use of soil nitrogen by spring wheat studied when ammonium nitrate was introduced, mustard biomass and seed inoculation with the associated nitrogen fixer Rhizoagrin were introduced. It has been established that plants consume nitrogen primarily from recently applied nitrogen of fertilizer. When making biomass of mustard and inoculating seeds with Rhizoagrin, spring wheat uses soil nitrogen, with the integrated use of these components and applying ammonium nitrate — soil nitrogen and fertilizer. The accumulation of plant biomass predominantly increases from recently applied nitrogen of fertilizer, both separately and when combined with green manure and seed inoculation with a biopreparation and is 14-28% relative to the control without fertilizers. When applying nitrogen fertilizer, as well as when combined with green manure and biopreparation, the concentration of nitrogen in spring wheat increases up to 1.5 times. There is a clear upward trend in the concentration of nitrogen in plants with the addition of mustard biomass and it increases with inoculation of seeds with Rhizoagrin. As a result, the accumulation of total nitrogen in plants increases when nitrogen fertilizer is applied, and the use of mustard biomass and biopreparation increases this indicator by 1.2 times, which is due to the presence of nitrogen compounds available to plants in the nutrient medium. The accumulation in plants of <sup>15</sup>N characterizes the consumption of soil nitrogen by plants, when introducing nitrogen fertilizer, this indicator is less, and using only biomass of mustard and Rhizoagrin is equivalent to control without fertilizers, indicating large amounts of mineralized nitrogen consumption from the soil when using the last two components, and that nitrogen fertilizer is not a factor in the mineralization of soil organic matter. The use of mustard biomass for spring wheat and seed inoculation with Rhizoagrin leads to the consumption of soil nitrogen by plants during the initial growing season.*

**Ключевые слова:** *стабильный изотоп азота, потребление азота, яровая пшеница, накопление азота в растениях***Key words:** *stable nitrogen isotope, nitrogen consumption, spring wheat, nitrogen accumulation in plants*

Биологический азот служит дополнительным источником азотного питания растений и выполняет экологическую роль в устойчивости агроэкосистем, поскольку поступает в почву постепенно в течение

всей вегетации за счет сопряжения процессов азотфиксации и фотосинтеза, позволяющего исключить избыточное его накопление как в почве, так и в растениях [1-3]. Среди факторов, влияющих на процесс азот-

\* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 18-016-00048 А.

фиксации, важное значение принадлежит обеспеченности растений минеральным азотом, поскольку микроорганизмы легко усваивают минеральные формы азота и с повышением его концентрации активность ассоциативной азотфиксации, как правило, снижается [4-6]. Использование растениями биологического азота зависит от содержания в почве органического вещества [7, 8], которое регулируется, в том числе, возделыванием сидеральных культур [9-12]. Исследования с  $^{15}\text{N}$  позволили существенно изменить представления о путях трансформации азота удобрений в системе почва – растение, составить его баланс и оценить эффективность применяемых минеральных удобрений и микробных препаратов [5, 8, 13-15]. При выращивании зерновых культур, семена которых были инокулированы микробными препаратами, изготовленными на основе ассоциативных микроорганизмов, растения потребляют азот почвы, удобрений и биологический [3, 5, 8]. Вместе с тем отсутствуют данные по использованию растениями минерализованного азота почвы при инокуляции семян микробными препаратами, что может быть установлено при выращивании тестовых культур на почве с избыточным обогащением стабильным изотопом азота  $^{15}\text{N}$  [16].

Целью работы было определить потребление растениями азота почвы при инокуляции семян яровой пшеницы микробным препаратом, внесении аммиачной селитры и биомассы горчицы белой.

**Методика.** Исследования проводили в 2017 и 2018 гг. с яровой пшеницей сорта Злата в модельном опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве, характеризующейся следующими агрохимическими показателями:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5,9-6,2; содержание гумуса (по Тюрину) – 1,524%; подвижных форм  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$  (по Кирсанову) – соответственно 120-125 и 143-150 мг/кг. Предварительно в почву вносили  $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  с обогащением 70,3 ат. % и компостировали в течение 30 суток в апреле-мае при естественной температуре воздуха и влажности почвы около 60% полной полевой влагоемкости (ППВ). После компостирования почвы содержание общего азота составляло 0,12% в 2017 г. и 0,13% в 2018 г. с обогащением соответственно 2,52 и 1,99 ат. %. Эту почву в количестве 500 г помещали в

пластмассовые сосуды, вносили согласно схеме опыта (табл.) аммиачную селитру ( $\text{N}_{\text{aa}}$ ) в дозе 100 мг/сосуд, биомассу горчицы белой (сидерат) – в дозе 1,5 г/сосуд и высевали семена яровой пшеницы, инокулированные микробным препаратом Ризоагрин, изготовленным на основе активного штамма *Agrobacterium radiobacter*, характеристика и методика использования которого приведена в работе [17]. Контролем был вариант без удобрений. Повторность в опыте – 3-кратная. Яровую пшеницу выращивали до конца фазы трубкования [18] в сосудах при влажности почвы 60-65% ППВ, когда наблюдается максимальное потребление растениями азота из почвы [5]. Растения срезали и высушивали для определения сухой массы. Содержание в почве и растениях общего азота и его изотопный состав определяли на масс-спектрометре «DeltaV» (Германия), расчеты потребления растениями  $^{15}\text{N}$  проводили по методике [19]. Экспериментальные данные статистически обработаны методом дисперсионного анализа по программе STAT VNIA, достоверность различий оценивали по F-критерию Фишера.

**Результаты и обсуждение.** Изменение условий минерального питания положительно отразилось на накоплении биомассы растений: ее достоверный максимальный рост составил 0,48-0,58 г/сосуд или 23-28 % и получен при внесении  $\text{N}_{\text{aa}}$ , а также при посеве инокулированными биопрепаратом семенами на фоне  $\text{N}_{\text{aa}}$  и при использовании всех трех изучаемых факторов (табл.). Несколько меньшая масса растений была сформирована при внесении биомассы сидерата (0,25 г/сосуд или 14%), эффекта от Ризоагрина не получено. Положительным оказалось применение азотного удобрения, что объясняется его хорошей доступностью, тогда как при внесении биомассы сидерата ощущался дефицит подвижных соединений азота в почве [13, 16]. Условия азотного питания растений характеризуют показатели концентрации накопления  $\text{N}_{\text{aa}}$  в биомассе [4, 5, 16], которая возрастала примерно в 1,5 раза за счет внесения азотного удобрения и сочетания его с биомассой горчицы и инокуляцией семян Ризоагрином (табл.). Четкая тенденция роста этого показателя отмечена при использовании только двух последних компонентов.

**Использование азота растениями яровой пшеницы при инокуляции семян ризоагрином (РА), применении азотного удобрения ( $\text{N}_{\text{aa}}$ ) и биомассы горчицы белой (БМГ), среднее за 2017-2018 гг.**

Вариант	Биомасса, г/сосуд	$\text{N}_{\text{общ}}$ , %	Накопление $\text{N}_{\text{общ}}$ в биомассе, мг/сосуд	Избыток $^{15}\text{N}$ в биомассе, ат. %	Количество $^{15}\text{N}$ в биомассе, мг/сосуд	Доля $^{15}\text{N}$ в биомассе, %	Использовано растениями $^{15}\text{N}$ из почвы, %
1. Контроль	2,08	2,61	54	3,95	3,70	6,85	34,0
2. $\text{N}_{\text{aa}}$	2,66	4,09	109	2,47	4,05	3,72	23,5
3. БМГ	2,37	2,74	65	3,88	4,45	6,85	34,5
4. $\text{N}_{\text{aa}}$ + БМГ	2,35	4,11	97	2,41	3,65	3,76	23,0
5. РА	2,11	2,89	61	4,15	4,25	6,97	39,5
6. БМГ + РА	2,22	2,79	62	3,98	4,35	7,02	37,5
7. $\text{N}_{\text{aa}}$ + РА	2,63	4,00	105	3,26	3,75	3,57	21,5
8. $\text{N}_{\text{aa}}$ + БМГ + РА	2,56	4,03	103	2,62	4,40	4,27	25,5
P, %	2,3	2,70	4,8	3,4	4,8	2,6	3,3
НСР <sub>005</sub>	0,17	0,19	12	0,25	0,50	0,4	2,0

Накопление общего азота в растениях возрастало в 2 раза (табл.) за счет повышения биомассы и концентрации в ней азота при улучшении условий азотного питания за счет прежде всего использования азотного удобрения, а также биомассы сидерата и биопрепарата.

Показателем потребления растениями азота почвы, минерализованного в период вегетации, может служить значение избытка  $^{15}\text{N}$  в биомассе растений [16, 19]. Его значение снижалось при внесении в почву азотного удобрения с 3,95 до 2,47–2,62 ат. % (табл.), то есть растения поглощали минеральные формы азота удобрения, снижая тем самым использование минерализованного почвенного азота, определяемого по изотопу  $^{15}\text{N}$ . При использовании биомассы сидерата, а также инокуляции семян Ризоагрином и их сочетания значение избытка  $^{15}\text{N}$  соответствовало контрольному варианту, то есть азотное питание растений до фазы трубкования осуществлялось за счет его запасов в почве.

Накопление в растениях  $^{15}\text{N}$  почвы изменялось от 3,65 до 4,45 мг/сосуд, при этом достоверного увеличения в растениях почвенного азота по сравнению с контролем не происходило при внесении азотного удобрения как отдельно, так и в сочетании с биомассой сидерата и биопрепаратом. Вместе с тем этот показатель возрастал при внесении биомассы горчицы белой, инокуляции семян Ризоагрином, сочетании этих биологических средств и комплексном применении всех трех изучаемых факторов (табл.).

Это подтверждают данные о доле  $^{15}\text{N}$  в биомассе растений, которая составляла 6,85 % в контроле без удобрений, снижалась почти в 2 раза при внесении только азотного удобрения и в сочетании с применением биомассы горчицы белой и биопрепарата. В вариантах без азотного удобрения доля потребленного почвенного азота в растениях оставалась такой же, как в контроле, что свидетельствует об их питании преимущественно почвенным азотом. Применение метода изотопной идентификации позволило определить коэффициент использования растениями  $^{15}\text{N}$  из почвы, значение которого составляло 22–39% (табл.). Максимально растения усваивали азот почвы в варианте без удобрений, при внесении азотного удобрения потребление почвенного азота снижалось в 1,4–1,6 раза. При внесении биомассы сидерата и инокуляции семян Ризоагрином использование растениями азота почвы соответствовало контрольному варианту, то есть формирование биомассы происходило за счет минерализованного азота почвы.

Таким образом, потребление растениями азота происходит преимущественно из свежеснесенного азота удобрения. При внесении биомассы горчицы белой и инокуляции семян Ризоагрином растения яровой пшеницы используют азот почвы, при комплексном применении этих компонентов и аммиачной селитры – азот почвы и удобрения. Накопление биомассы растений преимущественно возрастает от свежеснесенного азота удобрения, как отдельно, так и при сочетании с сидератом и инокуляцией семян биопрепаратом и составляет 14–28% по отношению к контролю без удобрений. При внесении азотного удобрения, а также при сочетании его с сидератом и биопрепаратом до 1,5 раз возрастает концентрация азота в яровой пшенице. Прослеживается четкая тенденция роста концентрации азота в растениях при внесении биомассы горчицы белой, а также при инокуляции семян Ризоагрином. В результате в 2 раза увеличивается накопление в растениях общего азота при внесении азотного удобрения и

в 1,2 раза – от использования биомассы горчицы белой и биопрепарата, что связано с наличием в питательной среде доступных растениям соединений азота. Накопление в растениях  $^{15}\text{N}$  свидетельствует о потреблении азота почвы. Этот показатель меньше при внесении азотного удобрения и равноценен контролю без удобрения при использовании только биомассы горчицы и Ризоагрина, что указывает на большое потребление минерализованного азота из почвы при применении двух последних компонентов, и что азотное удобрение не служит фактором минерализации органического вещества почвы. Применение под яровую пшеницу биомассы горчицы белой и инокуляции семян Ризоагрином обеспечивает потребление растениями почвенного азота в начальный период вегетации.

### Литература

1. Лактионов Ю.В., Кожемяков А.П., Яхно В.В., Корчагин В.И., Сумина Н.А. Урожайность и качество сельскохозяйственной продукции при использовании биопрепаратов // *Агромир Черноземья*. – 2013. – № 1-2 (103). – С. 24-25.
2. Ковальская Н.Ю., Лобакова Е.С., Биабани А.Х., Умаров М.М. Паранодуляция корней небобовых растений (на примере *Brassica napus* var. *napus* и *Triticum aestivum*) // *Доклады по экологическому почвоведению*. – 2006. – Т.1. – №1. – С. 102-118.
3. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // *Плодородие*. – 2016. – № 5. – С. 28-32.
4. Шабаев В.П. Оптимизация минерального питания зерновых культур и ярового рапса инокуляцией ризосферными бактериями, стимулирующими рост растений // *Агрохимия*. – 2011. – № 9. – С. 29-42.
5. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. – Новосибирск: Россельхозакадемия, Сиб. отд-ние. Новосибир. гос. аграр. ун-т, 2013. – 790 с.
6. Galal Y.G.M., El-Ghandour I.A., El-Alel E.A., Horst W.J., Schenk M.K. Stimulation of wheat growth and N fixation through Azospirillum and Rhizobium inoculation: A field trial with  $^{15}\text{N}$  techniques / In book *Plant Nutrition*, 2001. – P. 666-667.
7. Alferov A.A., Chernova L.S. Influence of Fertilizers, Biomass of White Mustard, and Biopreparation Rhizoagrin on Yield and Grain Quality of Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Sustainability of the Agroecosystem // *Russian Agricultural Sciences*. – 2018. – V. 44. – № 6. – P. 546-550. DOI: 10.3103/S1068367418060022
8. Alferov A.A., Chernova L.S., Kozhemyakov A.P. Efficacy of Biopreparation for the Spring Wheat in the European Part of Russia on Different Backgrounds of Mineral Nutrition // *Russian Agricultural Sciences*. – 2018. – V. 44. – № 1. – P. 53-57. DOI: 10.3103/S1068367418010044 (№2).
9. Бердников А.М., Чмель Е.П., Потапенко Л.В., Кризская М.А. Агроэкологическая и ресурсосберегающая роль севооборотов (на основе лизиметрических исследований) // *Агроэкологический журнал*. – 2014. – №2. – С. 38-43.
10. Авилев А.С., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Трансформация азота биомассы горчицы белой // *Достижения науки и техники АПК*. – 2016. – Т. 30. – № 2. – С. 29-31.
11. Семенов, В.М., Ходжаева А.К. Агроэкологические

- функции растительных остатков в почве // *Агрохимия*. – 2006. – № 7. – С. 63-81.
12. Матюк Н.С., Селицкая О.В., Солдатова С.С. Роль сидератов и соломы в стабилизации процессов трансформации органического вещества в дерново-подзолистой почве // *Известия ТСХА*. – 2013. – Вып. 3. – С.?
13. Завалин А.А., Соколов О.А. Поток азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней – М.: ВНИИА, 2016. – 591 с.
14. Steinbach H.S., Alvarez R., Valente C.R. Balance between mineralization and immobilization of nitrogen as affected by soil mineral nitrogen level // *Agrochimica*. – 2004. – V. 48. – № 5-6. – P. 204-212.
15. Manzoni S., Porporato A. Soil carbon and nitrogen mineralization: Theory and models across scales // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2009. – № 41. – P. 1355-1379.
16. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений – М.: Агроконсалт, 1999. – 296 с.
17. Тихонович И.А., Кожемяков А.П., Чеботарь В.К., Круглов Ю.В., Кандыбин Н.В., Лантев Г.Ю. Биопрепараты в сельском хозяйстве. Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве. – М.: ВНИИСХМ, 2005. – 154 с.
18. Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии. – М.: Россельхозакадемия, 2000. – 82 с.
19. Особенности применения методов с использованием изотопов азота в агрохимических исследованиях. – М.: ВИУА, 1990. – 32 с.

Поступила в редакцию 15.07.19  
Принята к публикации 01.08.19