

РОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ

© 2024 г. А. А. Завалин^{1,*}, Л. А. Свиридова¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии

им. Д. Н. Прянишникова

127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

*E-mail: zavalin.52@mail.ru

Оценили баланс азота, используемый для формирования урожая сельскохозяйственных культур, и долю в нем биологического азота. Получены новые данные о вкладе биологического азота в агроэкосистемы России, которые показали, что в общем поступлении азота (≈ 3 млн т действующего вещества) доля биологического составляет 34.7%, что в 3 раза больше азота, поступившего с органическими удобрениями (11.6%). В составе биологического азота половина (50.1%) принадлежит азоту, фиксированному в посевах многолетних бобовых трав. Количество азота, фиксированного в посевах сои, составило 23.1, зернобобовых культур — 19.3%. За последние 15 лет количество симбиотического азота возросло с 544.3 до 1025.7 тыс. т или в 1.88 раза за счет увеличения посевных площадей бобовых культур и роста их урожайности. Поступление биологического азота зернобобовых увеличилось в 2.55 раза, сои — в 2.91 и многолетних бобовых трав — в 1.69 раза при снижении доли азота, фиксированного в посевах однолетних трав. Для формирования урожая сельскохозяйственными растениями потребляется 5.38 млн т азота, а вынос азота с отчуждаемой частью урожая достигает 3.24 млн т/год. В земледелии России в среднем за год поступает в почву азота ≈ 3 млн т вместе с минеральными, органическими удобрениями, а также в составе биологического азота. При расчете затрат азота на формирование всего урожая баланс азота формируется резко отрицательным (-2.44 т/га/год). При расчетах затрат азота на товарную часть среднегодовой баланс становится близким к оптимальному (-0.30 т/га/год).

Ключевые слова: биологический азот, бобовые культуры, азотфиксация.

DOI: 10.31857/S0002188124080019, **EDN:** CETGAO

ВВЕДЕНИЕ

Азот среди элементов минерального питания растений находится в первом минимуме в большинстве агроэкосистем. Оптимизация азотного питания растений была и остается одной из центральных проблем земледелия. Д. Н. Прянишников в своей классической работе “Азот в жизни растений и земледелии СССР” отмечал, что решение проблемы азота должно состоять в сочетании 2-х путей: повышении обеспеченности минеральными удобрениями и максимальном использовании биологического азота за счет расширения использования культур-азотособирателей [1]. Биологическая фиксация является одним из важнейших процессов трансформации атмосферного азота в биосфере, имеет планетарное значение и сопоставима по масштабам с фотосинтезом. Все большее распространение получает мнение, что устойчивость мирового земледелия и рост продуктивности растениеводства невозможны без усиления деятельности в почве микроорганизмов-азотфиксаторов. Не вызывает сомнений, что роль

и вклад биологического азота в растениеводство XXI века будут неуклонно возрастать [2].

Потребление элементов питания и вынос их с отчуждаемой частью урожая должен компенсироваться их внесением с минеральными, органическими удобрениями и другими источниками. Применение минеральных удобрений в России растет, за последние 6 лет оно практически удвоилось [3]. В долгосрочной перспективе цена и спрос на удобрения будут только расти вне зависимости от экономических факторов. Это обусловлено тем, что объем потребляемых удобрений напрямую связан с развитием сельского хозяйства и увеличением населения планеты. В перспективе ожидается рост производства биотоплива, при производстве которого также будут необходимы удобрения [4]. Другим ресурсом азота, требуемого для формирования урожая сельскохозяйственных культур, являются органические удобрения. И еще одним источником поступления азота в земледелие служит биологический, фиксированный микроорганизмами, атмосферный азот: свободноживущими в почве, в симбиозе с бобовыми культурами, в ассоциации

с небобовыми растениями, эпифитами и эндофитами растений [5].

Биологический азот потребляется растением в течение всей вегетации, и это исключает избыточное накопление и загрязнение сельскохозяйственной продукции и окружающей среды [6]. Фиксированный азот усваивается растениями практически полностью. Азотфиксирующая способность выявлена у более половины бактерий, выделенных из ризосферы и филлосферы небобовых растений [5]. К настоящему времени азотфиксирующая способность обнаружена практически у всех групп прокариот. Азотфиксация проходит во всех природных средах — в почвах, илах, пресных и соленых водоемах, на поверхности и внутри стеблей и корней растений [2, 5, 7]. При широком распространении в почвах ассоциативной азотфиксации ее размеры зависят от наличия и разнообразия растительности и также от уровня окультуренности почв. По данным [8], в хорошо окультуренных почвах под рисом азотфиксация достигает в среднем 45–80 кг N/га/год, под пшеницей и кукурузой на красноземах — 20 и 10 кг N/га/год соответственно. В дерново-подзолистых почвах под посевами вегетирующих злаковых культур размер ассоциативной и несимбиотической азотфиксации составляет 40–55 кг N/га, под паром и в междурядьях — 10–13 кг/га/год. По данным других авторов [9], ассоциативная азотфиксация в зоне умеренного климата достигает 50–150 кг N/га.

Расчетные размеры симбиотической азотфиксации составляют от 130 до 390 кг N/га в посевах зернобобовых культур и от 270 до 550 кг N/га в агроценозах многолетних бобовых трав [10]. Этот азот играет важную роль в снабжении бобовых растений азотом, а пожнивных и корневые остатки после минерализации и перехода органических соединений в доступные формы используются последующими культурами севооборота [11].

Цель работы — оценить долю биологического азота в общем балансе азота в земледелии России.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки роли бобовых культур в вовлечении биологического азота в агроценозы учитывали количество азота, которое накопилось в биомассе растений. Для этого использовали статистические сведения о посевных площадях и урожайности основной и побочной продукции зернобобовых, сои, многолетних, однолетних бобовых и бобово-злаковых трав [12]. При определении валовых сборов массы многолетних бобово-злаковых трав доля бобовых компонентов принята за 50% от общего урожая [13, 14]. При определении массы бобово-злаковых трав, убираемых на зеленый

корм, содержание сухого вещества принято для многолетних трав 25% (1/4 часть), для однолетних трав — 20% (1/5 часть). Соотношение зерна и соломы в урожае гороха, сои и других бобовых культур принимали как 1 : 3 [14]. Содержание общего и биологического азота в зерне бобовых культур и массе трав, а также побочной продукции (соломе), пожнивных и корневых остатках (ПКО) этих культур брали на основе обобщенных данных [13–15]. Многолетние бобово-злаковые травы распахиывают примерно на половину от занимаемых площадей, что учтено в расчетах. По методикам, разработанным во ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова [13, 14], рассчитано накопление в почве органического вещества, общего и симбиотического азота при возделывании бобовых культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа данных установлено, что накопление в биомассе общего и биологического азота определяются видом возделываемых сельскохозяйственных культур, величиной урожайности основной продукции, размерами посевных площадей. За последние годы площади под посевами бобовых культур в земледелии нашей страны по сравнению с предыдущим периодом (2005–2010 гг.) увеличились в 1.1 раза и составляют ≈17 млн га. При этом произошли изменения площадей, занятых отдельными культурами. Например, площадь под посевами зернобобовых культур возросла в 1.93 раза, сои — в 3.2 раза, многолетних трав — в 1.1 раза, при снижении в 1.02 раза площадей под однолетними травами. Естественно, увеличился среднегодовой валовой сбор зерна зернобобовых культур с 1.62 до 3.48 млн т, зерна сои — с 0.86 до почти 3.9 млн т. Произошло это не только за счет увеличения посевных площадей, но и роста урожайности зернобобовых с 1.44 до 1.70 т/га и сои — с 1.00 до 1.60 т/га [12].

Накопление в биомассе зернобобовых культур общего и биологического азота отражено в табл. 1.

Общий азот в основной продукции составил >0.7 млн т, при этом значительное его количество было в фитомассе многолетних трав и зерне сои. В побочной продукции зернобобовых культур накопление общего азота достигло 181.3 тыс. т. В пожнивных и корневых остатках (ПКО) бобовых культур максимальное количество общего азота накоплено после уборки многолетних трав — 441.3 тыс. т, зернобобовых и сои — 242.0 тыс. т.

С учетом коэффициента азотфиксации [13] для каждой из выращиваемых бобовых культур рассчитано количество биологического азота, находящегося в основной, побочной продукции и ПКО, суммарное количество которого превышает 1 млн т,

Таблица 1. Среднегодовое накопление общего и биологического азота в биомассе бобовых культур (2018–2022 гг.)

Культура	Площадь, тыс. га	Валовой сбор, млн т	Накопление N _{общ}				N _{биол}			
			тыс. т							
			основная продукция	побочная продукция	ПКО	всего	основная продукция	побочная продукция	ПКО	всего
Зернобобовые	2169.56	3485.6	139.4	82.4	109.4	331.2	83.7	49.4	65.6	198.7
Соя	2752.04	3886.8	163.2	98.9	132.6	394.7	97.9	59.3	79.6	236.8
Однолетние травы на сено	1065.7	2426.6	44.2	—	2.3	46.5	28.7	—	1.5	30.2
Однолетние травы на зеленую массу	2131.3	19 182.5	69.1	—	3.6	72.7	44.9	—	2.3	47.2
Многолетние травы на сено	5606	8769.6	156.1	—	230.2	386.3	109.3	—	161.1	270.4
Многолетние травы на зеленую массу	2804	33 779.2	135.1	—	211.1	346.2	94.6	—	147.8	242.4
Сумма	16 528.6	—	707.1	181.3	689.2	1577.6	459.0	107.8	457.9	1025.7

Таблица 2. Вклад бобовых культур в накопление гумуса и биологического азота в почве (среднее за год, 2018–2022 гг.), тыс. т

Культуры	Гумус	Биологический азот
Зернобобовые	1958.3	115.0
Соя	2183.7	138.9
Однолетние травы на сено	528.8	1.5
Однолетние травы на зеленую массу	824.4	2.3
Многолетние травы на сено	4977.3	161.1
Многолетние травы на зеленую массу	2282.4	147.8
Итого	12 571.9	566.6

или составляет 65% от содержания общего азота в биомассе. Из общего количества биологического азота максимальная доля приходится на многолетние травы (50%). Примерно одинаковое количество в сое (23%) и зернобобовых культурах (20%), на долю однолетних трав приходится 7%.

Накопление гумуса после уборки однолетних бобовых культур и заделки многолетних трав, массы пожнивных и корневых остатков достигает 12.5 млн т в среднем за год. Максимальные величины этого показателя в среднем за год для всех зернобобовых культур равны 0.77 т/га (табл. 2).

Среднегодовое накопление биологического азота в почве после бобовых культур составляет 566.6 тыс. т. Значительное количество биологического азота остается в почве после заделки многолетних трав и уборки зернобобовых культур и сои. Этот азот в результате минерализации органического вещества становится доступным для последующих культур севооборота.

Включение бобовых культур в структуру посевных площадей оказывает положительное влияние на экономические составляющие растениеводства. В среднем за последние годы в стране производили 4.42 млн т растительного белка за счет бобовых культур, это в 1.89 раза больше (2.34 млн т) по сравнению с предыдущим периодом (2005–2010 гг.). Количество растительного белка при выращивании зернобобовых культур составило 0.87, сои — 1.02, многолетних и однолетних трав — 2.53 млн т. Вовлечение в земледелие биологического азота (1025.7 тыс. т) эквивалентно по действующему веществу 3.01 млн т аммиачной селитры и в денежном выражении с учетом рыночной цены [16] на эту форму удобрения составило ≈65.2 млрд руб. Экономия условного топлива при использовании в земледелии биологического азота в объеме 1025.7 тыс. т в эквиваленте аммиачной селитры составляет 2.82 млн т [11].

Использование биопрепаратов на основе ассоциативных азотфиксаторов в агротехнологиях выращивания сельскохозяйственных культур постоянно увеличивается, что обеспечивает вовлечение биологического азота $\approx 10\text{--}15$ кг/га. Ассоциативные азотфиксаторы распространены во всех почвах, за счет них вовлекается в среднем от 20 до 30 кг N/га/год [5]. Поступление азота с атмосферными осадками с учетом географических условий и размещения промышленных предприятий оценивается в среднем 5 кг N/га [18]. Поступление в почву биологического азота, фиксируемого свободноживущими бактериями, согласно ранее приведенных нормативов [19–21] составляет 10–12 кг N/га/год при внесении минеральных и органических удобрений и 6 кг N/га/год без их внесения. При расчете баланса азота в данном случае принята величина азотфиксации за счет свободноживущих микроорганизмов 7.5 кг N/га. На посевной площади ≈ 80 млн га поступление азота составляет 0.6 млн т за счет свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов. За счет ассоциативной азотфиксации вовлекается 2 млн т азота (при расчете 25 кг фиксированного N/га). С атмосферными осадками дополнительно поступает еще ≈ 0.4 млн т, что в сумме составляет 2 млн т азота.

Также стоит затронуть вопрос о газообразных потерях азота. Размеры образования и выделения газообразных соединений зависят от температурного режима, влажности, аэрации почвы, pH, способности органического вещества к минерализации, содержания минерального азота и связаны с агротехникой, дозами удобрений, известкованием, применением биопрепаратов. При возделывании многолетних бобово-злаковых трав в виде газообразных соединений теряется симбиотического азота до 50–100 кг/га. При внесении минеральных удобрений потери азота достигают 30–40% от внесенной дозы азотных удобрений 60–120 кг/га (в среднем 18–48 кг/га). В среднем потери азота принимаем для расчетов в размере 50 кг/га. На посевной площади ≈ 80 млн га расчетные потери азота могут составлять 4 млн т.

Объем поступления несимбиотического биологического азота и с атмосферными осадками в настоящее время, к сожалению, не учитывают при оценке баланса азота в земледелии России, как и потери азота в виде газообразных соединений.

Для формирования урожая сельскохозяйственных культур на всей посевной площади в среднем за год необходимо >5 млн т азота, ≈ 2 млн т фосфора и ≈ 6 млн т калия (табл. 3).

Однако не весь объем накопленных элементов питания в биомассе отчуждается с поля, поскольку побочная продукция остается, и находящиеся в ней объемы НРК возвращаются в почву. Рассчитаны размеры отчуждения элементов питания с удаляемой с поля основной продукцией, составляющие >3 млн т азота, чуть более 1 млн т фосфора и столько же калия.

Внесение минеральных удобрений в Российской Федерации в 2018 г. составило 2.5, в 2019 г. – 2.7, в 2020 г. – 3.1, в 2021 г. – 3.3, в 2022 г. – 3.4 млн т, в их составе азотные удобрения составляли $\approx 63\%$ [22]. Среднегодовое внесение минеральных удобрений за последние 5 лет составило 3.03 млн т, в том числе азотных – 1.88 млн т д.в.

С учетом прихода азота в составе минеральных удобрений (1.58 млн т), органических удобрений (0.34 млн т) и биологического азота, фиксированного в посевах бобовых культур (1.02 млн т), всего поступало ≈ 3 млн т азота. Этот объем не учитывает поступление на поля азота, фиксированного свободноживущими микроорганизмами, поступление в результате применения биопрепаратов, созданных на основе активных штаммов ассоциативных микроорганизмов, и азота, поступившего с атмосферными осадками.

При выносе азота с полей с отчуждаемой частью урожая, равном 3.24 млн т (при общих затратах азота на формирование урожая 5.38 млн т), среднегодовой хозяйственный баланс равняется -0.3 млн т (табл. 4), т.е. практически баланс приближается к равновесному состоянию.

В России для формирования урожая сельскохозяйственных культур поступление симбиотического биологического азота составляет 34.7%, азота в составе органических удобрений – 11.6%, доминирующее значение имеют минеральные удобрения – 53.7%.

В накоплении биологического азота в настоящее время основная доля принадлежит многолетним травам, которая по сравнению с предыдущим периодом снизилась на 6% (табл. 5).

Таблица 3. Среднегодовое накопление азота, фосфора и калия в урожае сельскохозяйственных культур и их отчуждение с массой основной продукции (2018–2022 гг.), млн т

Показатель	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Сумма
Потребность в элементах питания для формирования урожая	5.38	1.82	5.88	13.08
Отчуждение с товарной частью урожая	3.24	1.15	1.16	5.55

Таблица 4. Среднегодовой баланс азота в земледелии России (2018–2022 гг.), млн т

Расход	Поступление	Баланс
Потребление азота для формирования урожая сельскохозяйственных культур — 5.38	Минеральные азотсодержащие удобрения — 1.58 Органические удобрения — 0.34 Симбиотический азот — 1.02	–2.44
В т.ч. отчуждение (вынос) азота с отчуждаемой частью урожая — 3.24	Поступило всего — 2.94	–0.30

Таблица 5. Среднегодовое накопление биологического азота при возделывании бобовых культур

Культуры	2005–2010 гг.		Современное состояние (2018–2022 гг.)		Рост накопления биологического азота, раз
	тыс. т	%	тыс. т	%	
Зернобобовые	77.9	14.3	198.7	19.3	2.55
Соя	81.3	14.9	236.8	23.1	2.91
Однолетние травы	81.8	15.1	77.4	7.5	0.58
Многолетние травы	303.3	55.7	512.8	50.1	1.69
Всего	544.3	100	1025.7	100	1.88

В последние годы по сравнению с периодом 2005–2010 гг. в накоплении биологического азота существенно возросла доля сои и зернобобовых культур, что связано с увеличением их посевных площадей. Суммарное накопление биологического азота в настоящее время по сравнению с периодом 2005–2010 гг. возросло в 1.88 раза, при этом максимальный рост произошел при выращивании сои — в 2.91 раза, зернобобовых — в 2.55 раза и многолетних трав — в 1.69 раза. При этом снизилась доля однолетних трав.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ состояния баланса азота в земледелии Российской Федерации показал, что в общем поступлении азота доля биологического (симбиотического) составляет 34.7, органических удобрений — 11.6 и минеральных удобрений — 53.7%. Половина (50.1%) биологического азота принадлежит азоту многолетних трав, 23.1% — азоту, фиксированному в посевах сои, и 19.3% — зернобобовых культур, на долю однолетних трав приходится 7.5%. За последние 15 лет количество симбиотического азота возросло с 544.3 до 1025.7 млн т, или в 1.88 раза. Произошло это за счет увеличения биологического азота зернобобовых (2.55 раза), сои (2.91 раза), многолетних бобовых трав (1.69 раза), при снижении вклада однолетних бобовых трав.

Для формирования урожая сельскохозяйственных растений потребляется 5.38 млн т азота, а вынос азота с отчуждаемой частью урожая достигает 3.24 млн т/год. В России в пахотные земли в среднем за год поступает с минеральными, органическими удобрениями и биологического азота

≈ 3 млн т. Баланс азота формируется резко отрицательным (–2.44 т N/га/год) при расчете затрат азота на формирование всего урожая. При расчетах затрат азота на товарную часть среднегодовой баланс становится близким к оптимальному (–0.30 т/га/год).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. Избр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1951. Т. 1. С. 47–156.
2. Умаров М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов // Пробл. агрохим. и экол. 2009. № 2. С. 22–26.
3. <https://rapu.ru/analitics/> (дата обращения: 10.01.2024).
4. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139.
5. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2019. № 8. С. 83–96.
6. 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.
7. What are endophytes? // Microbial Root Endophytes / Eds. Schulz B., Boyle C.J.C., Sieber T.N. Berlin: Springer-Verlag, 2006. P. 191–206.
8. Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация. М.: Изд-во МГУ, 1986. 136 с.

9. Феоктистова Н.В., Марданова А.М., Хадиева Г.Ф., Шарипова М.Р. Ризосферные бактерии // Уч. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2016. Т. 158. Кн. 2. С. 207–224.
10. Кокорина А.Л., Кожемяков А.П. Бобово-ризобиальный симбиоз и применение микробиологических препаратов комплексного действия – важный резерв повышения продуктивности пашни. СПб.: СПГАУ, 2010. 50 с.
11. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: ВНИИА, 2022. 256 с.
12. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29_cx_predv_2022.xlsx (дата обращения: 11.01.2024).
13. Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Чернова Л.С. Нормативы для определения вклада биологического азота бобовых в баланс азота России. М.: ВНИИА, 2013. 44 с.
14. Трепачев Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии. М.: Агроконсалт, 1999. 532 с.
15. Завалин А.А., Благовещенская Г.Г. Вклад биологического азота бобовых культур в азотный баланс земледелия // Агрохимия. 2012. № 6. С. 32–37.
16. <https://agroualmarket.promportal.su/> (дата обращения: 11.01.2024).
17. Алферов А.А. Ассоциативный азот, урожай и устойчивость агроэкосистемы. М.: РАН, 2020. 184 с.
18. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. Вып. 14. Влияние дождевых осадков на загрязнение сельскохозяйственных угодий (по данным локального мониторинга). М.: ВНИИА, 2013. 30 с.
19. Методические рекомендации по изучению показателей плодородия почв, баланса гумуса и питательных веществ в длительных опытах. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1987. 80 с.
20. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 40 с.
21. Методические указания по проведению длительных опытов с удобрениями. Ч. 1. Особенности закладки и проведения длительных опытов в различных условиях. М.: ВИУА, 1986. 146 с.
22. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Vnesen_udobren_2022.xlsx (дата обращения: 10.01.2024).

Role of Biological Nitrogen in Agriculture in Russia

A. A. Zavalin^{a, #}, L. A. Sviridova^a

^a*D.N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia*

[#]*E-mail: zavalin.52@mail.ru*

The nitrogen balance used to form the crop yield and the proportion of biological nitrogen in it were evaluated. New data on the contribution of biological nitrogen to the agroecosystems of Russia have been obtained, which showed that in the total nitrogen intake (≈ 3 million tons of active substance) the share of biological nitrogen is 34.7%, which is 3 times more than nitrogen supplied with organic fertilizers (11.6%). In the composition of biological nitrogen, half of it (50.1%) belongs to nitrogen fixed in crops of perennial legumes. The amount of nitrogen fixed in soybean crops was 23.1%, and leguminous crops – 19.3%. Over the past 15 years, the amount of symbiotic nitrogen has increased from 544.3 to 1025.7 thousand tons, or 1.88 times due to an increase in the acreage of legumes and their yield. The intake of biological nitrogen from legumes increased by 2.55 times, soybeans – by 2.91, and perennial legumes – by 1.69 times with a decrease in the proportion of nitrogen fixed in crops of annual grasses. Agricultural plants consume 5.38 million tons of nitrogen to form a crop, and nitrogen removal from the alienated part of the crop reaches 3.24 million tons/year. In agriculture in Russia, on average, ≈ 3 million tons of nitrogen enters the soil per year together with mineral and organic fertilizers, as well as as part of biological nitrogen. When calculating the cost of nitrogen for the formation of the entire crop, the nitrogen balance is formed sharply negative (-2.44 t/ha/year). When calculating nitrogen costs for the commodity part, the average annual balance becomes close to optimal (-0.30 t/ha/year).

Keywords: biological nitrogen, legumes, nitrogen fixation.