

## ПОТОКИ И БАЛАНС АЗОТА УДОБРЕНИЯ И АЗОТА ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ СЕВООБОРОТА НА ЭРОДИРОВАННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ (ИССЛЕДОВАНИЯ С $^{15}\text{N}$ )

### Сообщение 3. Ячмень

Н.Я. Шмырева, к.б.н., А.А. Завалин, акад. РАН, О.А. Соколов, д.б.н., ВНИИА

Работа выполнена по госзаданию № 0572-2019-0013

Показано, что в условиях пятипольного севооборота с применением азотного удобрения (меченого  $^{15}\text{N}$ ) ячмень лучше потреблял азот (удобрения и почвы), его больше закреплялось в почве и меньше терялось на приводораздельной части склона по сравнению с нижней его частью. При локальном способе применения азотного удобрения повышалась экологическая устойчивость агрофитоценоза ячменя, усиливалось в 1,5-3 раза потребление растениями азота удобрения и в 1,1-1,4 раза азота почвы, увеличивалась в 1,2-1,6 раза иммобилизация азота удобрения в почве и снижались в 1,1-1,6 раза газообразные его потери по сравнению с разбросным их внесением на всех элементах склона. Максимальный урожай зерна с наиболее высоким содержанием сырого белка ячмень формировал на приводораздельной части склона в первой ротации севооборота при локальном применении азотного удобрения. С повышением ГТК до 2,0 продуктивность ячменя и содержание сырого белка в зерне снижались.

Ключевые слова: изотоп азота  $^{15}\text{N}$ , севооборот, элементы рельефа, потоки и баланс азота, эрозия, устойчивость, качество урожая.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.108.15

В условиях почвозащитного севооборота на дерново-подзолистой почве склона (среднее содержание подвижных форм фосфора и калия) ячмень формировал урожай зерна 30 ц/га при внесении полного минерального удобрения [3]. Под действием водной эрозии продуктивность ячменя снижается на 16-20% [1]. В условиях эродированных почв существенно уменьшается эффективность минеральных удобрений вследствие значительных потерь элементов питания (в первую очередь азота) [5-7]. Наибольшую опасность представляет поверхностный сток, который загрязняет поверхностные воды. Остается нерешенным также вопрос поведения азота в агрофитоценозе при выращивании ячменя на эродированных почвах при длительном применении минеральных удобрений в условиях севооборота.

Цель исследований – определить изменения направленности потоков азота в агрофитоценозе ячменя в условиях трех ротаций севооборота на дерново-подзолистой эродированной почве склона в зависимости от способа применения азотного удобрения.

**Методика.** Исследования начали проводить в 2013 г. В первой ротации севооборота год вегетации ячменя был благоприятным – ГТК составил 1,6, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы – 140 мм в приводораздельной части склона и 130 мм в нижней части склона. Во второй ротации севооборота при выращивании ячменя ГТК составил 1,69 (при норме 1,75). Температура воздуха и количество выпавших осадков оказались в 1,1 раза выше по сравнению со среднепогодными. В третьей ротации ГТК (2013 г.) за период вегетации ячменя составил 2,0, количество выпавших осадков было в 1,1 раза выше, а температура воздуха в 1,1 раза ниже по сравнению со среднепогодными.

Методика приведена в ж. «Плодородие», № 1 (2019 г.), на стр.47.

**Результаты и их обсуждения.** Потребление ячменем азота удобрения и азота почвы уменьшалось от приводораздельной части склона к его основанию в условиях дерново-подзолистой почвы (табл. 1).

Ячмень расходовал наибольшее количество азота в первой ротации севооборота за счет лучшего использования азота почвы, тогда как азот удобрения растения больше использовали во второй ротации. С увеличением или уменьшением влажности почвы потребление азота удобрения ячменем снижалось [8-10]. В третьей (более влажной) ротации севооборота потребление азота удобрения растениями снизилось в 1,6-2 раза по сравнению со второй ротацией, а азота почвы – увеличилось.

При локальном внесении азотного удобрения ячмень потреблял большее количество азота удобрения и азота почвы во все ротации на всех элементах склона. Так, в верхней части склона при локальном применении удобрений растения потребляли больше в 1,5-2 раза азота удобрения и в 1,2-1,4 раза азота почвы, тогда как в нижней части склона – в 2-3 и в 1,1-1,4 раза соответственно. Локализация удобрений обеспечивала лучшее потребление ячменем «экстра»-азота почвы в 1,3-4 раза на приводораздельной части склона и в 1,2-1,8 раза в нижней его части.

При выращивании ячменя на равнинных участках (полях) растения используют 34-45% азота удобрения, 5-59% иммобилизуется в почве и 25-35% теряется в виде газообразных соединений [2, 7]. На склоне наибольшее количество азота удобрения (36% применяемой дозы) растения использовали в третьей ротации севооборота при локальном внесении азотного удобрения (табл. 2). Наименьшее количество азота удобрения (7%) растения потребляли во второй ротации при разбросном применении азотных удобрений.

**1. Потребление азота удобрения и азота почвы ячменем в зависимости от элемента рельефа и способа внесения азотного удобрения в трех ротациях севооборота**

Вариант опыта	Общий вынос азота, г/м <sup>2</sup>	В том числе азот				«Экстра»-азот	
		удобрений		почвы		г/м <sup>2</sup>	%
		г/м <sup>2</sup>	%	г/м <sup>2</sup>	%		
I ротация							
Приводораздельная часть склона, 2-3 <sup>0</sup>							
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	4,69	-	-	4,69	100	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	7,36	0,73	10	6,63	90	1,94	26
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	12,32	1,50	12	10,82	88	6,13	50
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>							
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	3,33	-	-	3,33	100	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	5,24	0,50	10	4,74	90	1,41	27
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	7,91	1,00	13	6,91	87	3,58	45
II ротация							
Приводораздельная часть склона, 2-3 <sup>0</sup>							
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	3,35	-	-	3,35	100	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	7,44	1,88	25	5,56	75	2,21	30
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	10,34	2,80	27	4,54	73	4,19	41
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>							
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	1,82	-	-	1,82	100	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	5,03	1,45	29	3,58	71	1,76	35
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	6,70	1,95	29	4,75	71	2,93	44
III ротация							
Приводораздельная часть склона, 2-3 <sup>0</sup>							
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	3,42	-	-	3,42	100	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	6,61	0,95	14	5,66	86	2,24	34
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	10,03	1,70	17	8,33	83	4,91	49
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>							
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	2,32	-	-	2,32	100	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	4,85	0,70	14	4,15	86	1,83	38
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	6,77	1,20	18	5,57	82	3,25	48

Азотные удобрения, внесенные локально, стимулируют минерализацию и иммобилизацию азота в почве одновременно (с разной скоростью), вследствие чего сужается отношение углерода к азоту [6, 11, 12]. В результате растения лучше используют азот удобрения и азот почвы, его больше иммобилизуется и меньше теряется, не загрязняя окружающую среду [7, 14].

Наибольшее количество азота удобрения (72%) теря-

лось при выращивании ячменя в первой ротации севооборота на нижней части склона, что связано с температурно-влажностным режимом почвы и составом микробиоценоза [4, 7]. Наименьшее количество азота удобрения (32%) терялось при выращивании ячменя на приводораздельной части склона при локальном внесении азотного удобрения во второй ротации севооборота (см. табл. 2).

**2. Поток и баланс азота удобрения при выращивании ячменя на различных элементах рельефа в зависимости от способа внесения азотного удобрения**

Вариант опыта	Использовано растениями		Иммобилизовано в слое почвы 0-100 см		Потери	
	1	2	1	2	1	2
<b>I ротация</b>						
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	<u>0,73</u> 15	<u>0,50</u> 10	<u>1,46</u> 29	<u>0,90</u> 18	<u>2,82</u> 56	<u>3,60</u> 72
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	<u>1,50</u> 30	<u>1,00</u> 20	<u>1,80</u> 36	<u>1,40</u> 28	<u>1,70</u> 34	<u>2,60</u> 52
<b>II ротация</b>						
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	<u>1,88</u> 38	<u>1,45</u> 29	<u>1,05</u> 21	<u>0,95</u> 19	<u>2,35</u> 47	<u>2,75</u> 55
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	<u>2,80</u> 56	<u>1,95</u> 39	<u>1,45</u> 29	<u>1,10</u> 22	<u>1,60</u> 32	<u>2,55</u> 51
<b>III ротация</b>						
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	<u>0,95</u> 19	<u>0,70</u> 14	<u>1,34</u> 27	<u>0,85</u> 17	<u>2,71</u> 54	<u>3,45</u> 69
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	<u>1,70</u> 34	<u>1,20</u> 24	<u>1,60</u> 32	<u>1,25</u> 25	<u>1,70</u> 34	<u>2,55</u> 51

Примечание. 1 – приводораздельная часть склона, 2-3<sup>0</sup>, 2 – нижняя часть склона, 5-7<sup>0</sup>.  
Над чертой – азот удобрения, г/м<sup>2</sup>, под чертой – азот удобрения, % от внесенного.

В зависимости от рельефа местности изменяются потоки азота удобрения: использование его растениями снижается в 1,3-1,5 раза при разбросном способе применения удобрений и в 1,3-2 раза при локальном способе от приводораздельной части склона к тальвегу. Иммобилизация азота удобрения также уменьшается в 1,1-1,6 и в 1,3-1,4 раза соответственно, тогда как газообразные потери возрастают в 1,2-1,3 и в 1,5-1,6 раза соответственно.

Локальное внесение азотного удобрения снижало газообразные потери азота удобрения в 1,5-1,6 и в 1,1-1,4 раза в сравнении с разбросным способом их применения.

Применение метода изотопной индикации <sup>15</sup>N позволило определить интенсивность процессов внутрипочвенного цикла азота [7, 8]. Наиболее выражены процессы минерализации (М) азота почвы при разбросном способе внесения азотного удобрения (табл.3). Размеры

нетто-минерализации (Н-М) (% от общей минерализации) свидетельствуют также о степени минерализации в почве [11]. При выращивании ячменя доля нетто-минерализации возрастала от приводораздельной части к основанию склона (72-83% по сравнению с 66-73% в верхней части склона). Локализация азотного удобрения снижала долю Н-М на всех элементах склона. Реиммобилизация (РИ) азота протекала с наименьшей скоростью при разбросном применении азотного удобрения в нижней части склона.

### 3. Потоки азота почвы и азота удобрения при выращивании ячменя на различных элементах склона в зависимости от способа внесения азотного удобрения, г/м<sup>2</sup>

Показатель	Приводораздельная часть склона, 2-3 <sup>0</sup>		Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>	
	1	2	1	2
Вынос азота почвы растениями	6,63	11,42	4,74	6,91
Остаточный минеральный азот	1,84	3,08	0,66	0,99
Иммобилизованный/реимобилизованный азот почвы	13,17	12,98	8,53	9,67
Газообразные потери азота почвы	25,61	12,26	34,05	17,89
Минерализованный азот почвы (М)	52,25	44,14	53,07	40,54
Нетто-минерализованный азот (Н-М)	37,73	29,36	43,64	29,47
Реимобилизованный азот (РИ)	14,60	14,80	9,40	11,10
Использованный азот удобрения растениями	0,73	1,50	0,50	1,00
Иммобилизованный азот удобрения	1,45	1,80	0,90	1,40
Газообразные потери азота удобрения	2,82	1,70	3,60	2,60

Примечание. 1 – азот вразброс, 2 – азот локально.

Складывающиеся условия минерализации почвенного азота (денитрификация ↔ нитрификация) существенно влияли на образование газообразных азотистых соединений. В нижней части склона терялось в 1,4-1,5

раза азота больше, чем на приводоразделе. Локализация азотного удобрения снижала в 2 раза газообразные потери азота на всех элементах склона.

По показателям интегральной оценки (рециркуляция, отношение минерализации к реиммобилизации) функционирования системы агрофитоценоза ячменя на приводораздельной части склона и при локальном применении азотного удобрения находился в наиболее устойчивом состоянии (зона стресса) по сравнению с разбросным способом (зона резистентности) (табл.4). В нижней части склона агрофитоценоз ячменя был в менее устойчивом состоянии (зона резистентности) при обоих способах внесения азотного удобрения. В условиях севооборота агрофитоценоз ячменя находился в менее устойчивом состоянии, чем другие зерновые культуры (озимая рожь, овес) [7].

### 4. Показатели интегральной оценки функционирования агрофитоценоза при выращивании ячменя на различных элементах рельефа в зависимости от способа внесения азотного удобрения

Элемент склона	Способ внесения азотного удобрения	РИ:М, %	Н-М:РИ
Приводораздельная часть склона, 2-3 <sup>0</sup>	Вразброс	28	2,7
	Локально	34	2,0
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>	Вразброс	17	5,0
	Локально	27	2,8

Продуктивность ячменя в севообороте зависела от погодных условий и от пищевого режима почвы различных элементов склона (табл.5). По мере увеличения влажности (вторая и третья ротации) урожай зерна и соломы ячменя снижался в 1,1-1,7 раза. Продуктивность растений также уменьшалась в 1,4 раза от приводораздельной части склона к его основанию.

### 5. Продуктивность ячменя при выращивании на различных элементах рельефа и в зависимости от способа внесения азотного удобрения в трех ротациях севооборота

Вариант опыта	Зерно, г/м <sup>2</sup>	Прибавка		Солома, г/м <sup>2</sup>	Прибавка	
		г/м <sup>2</sup>	%		г/м <sup>2</sup>	%
I ротация						
Приводораздельная часть склона, 2-3 <sup>0</sup>						
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	240	-	-	396	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	330	90	38	552	156	39
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	457	217	90	731	335	85
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>						
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	225	-	-	256	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	305	80	36	366	110	43
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	386	161	72	540	284	111
II ротация						
Приводораздельная часть склона, 2-3 <sup>0</sup>						
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	190	-	-	228	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	389	199	95	467	239	105
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	460	270	131	552	324	142
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>						
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	115	-	-	139	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	234	119	103	281	142	102
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	297	182	158	369	230	165
III ротация						
Приводораздельная часть склона, 2-3 <sup>0</sup>						
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	184	-	-	226	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	301	117	64	408	182	80
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	411	227	123	660	374	165
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>						
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	131	-	-	171	-	-
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	238	107	82	343	172	101
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	301	170	130	449	278	162
P, %	2-3			2-3		
НСП <sub>0,5</sub> , г/м <sup>2</sup> : част. ср.	8-28			12-30		
рельеф	5-16			6-21		
удобрений	5-20			7-17		

Азотное удобрение, внесенное вразброс, повышало урожай зерна ячменя на 36-103% по отношению к фону. Азотное удобрение, внесенное локально, увеличивало урожай зерна в 1,2-1,4 раза на приводораздельной части склона и в 1,3-1,4 раза в нижней его части по сравнению с азотным удобрением, внесенным вразброс. Урожай соломы ячменя при локальном применении азотного удобрения увеличивался в 1,4-1,8 раза на приводораздельной части склона и в 1,5-1,6 раза в нижней части склона.

Зерно с наиболее высоким содержанием сырого белка ячмень формировал при локальном внесении азотного удобрения в первой ротации севооборота на приводораздельной части склона (табл.6). Содержание сырого белка в зерне снижается в нижней части склона по сравнению с приводораздельной при обоих способах применения азотного удобрения. В третьей ротации севооборота (более влажной) содержание сырого белка в зерне уменьшалось на 0,1-0,9% по сравнению со второй ротацией.

**6. Содержание сырого белка в зерне ячменя при выращивании на различных элементах рельефа в зависимости от способа внесения азотного удобрения, % на сухое вещество**

Вариант опыта	Ротация севооборота		
	I	II	III
<i>Приводораздельная часть склона, 2-3<sup>0</sup></i>			
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	7,8	7,9	7,3
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	8,7	8,6	8,0
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	10,3	8,9	8,8
<i>Нижняя часть склона, 5-7<sup>0</sup></i>			
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	6,1	6,1	6,8
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> вразброс	7,1	7,8	7,2
Фон + <sup>15</sup> N <sub>50</sub> локально	8,5	8,4	7,5

Азотное удобрение, внесенное локально, повышало содержание сырого белка в зерне на 1,0-2,5% на приводораздельной части склона и на 0,7-2,4% в нижней части склона по сравнению с фоном.

**Выводы.** Ячмень в условиях пятипольного севооборота на эродированной дерново-подзолистой средне-суглинистой почве Центрального Нечерноземья лучше потреблял азот, больше его закреплялось в почве и меньше терялось в приводораздельной части склона по сравнению с нижней его частью.

При локальном способе применения азотного удобрения повышалась экологическая устойчивость агрофитоценоза ячменя, усиливалось в 1,5-3 раза потребление растениями азота удобрения и в 1,1-1,4 азота почвы, увеличивалась в 1,2-1,6 раза иммобилизация азота удобрения в почве и снижались в 1,1-1,6 раза газообразные его потери по сравнению с разбросным их внесением на всех элементах склона.

## **FLOW AND BALANCE OF FERTILIZER AND SOIL NITROGEN UNDER CONDITIONS OF CROP ROTATION ON ERODATED SOD-PODZOLIC SOIL (RESEARCH WITH <sup>15</sup>N)**

### **Communication 3. Barley**

*N.Ya. Shmireva, A.A. Zavalin, O.A. Sokolov*

*Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia*

As our study shown under conditions of a five-field crop rotation using nitrogen fertilizer (labeled with <sup>15</sup>N), barley consumed nitrogen better (fertilizer and soil), it was more fixated in the soil and was less lost on the bottom part of the slope. With the local method of applying nitrogen fertilizer, the ecological stability of agrophytocenosis of barley increased, the consumption of nitrogen fertilizer by plants increased by 1.5-3 times and the soil nitrogen content 1.1-1.4 times increased, the immobilization of nitrogen fertilizer increased 1.2-1.6 times in the soil, its gaseous losses decreased 1.1-1.6 times as compared with their spreading on all elements of the slope. The maximum yield of grains with the highest crude protein content was barley formed on the watershed part of the slope in the first rotation of the crop rotation with the local application of nitrogen fertilizer. With an increase in the hydrothermal coefficient to 2.0, the productivity of barley and the content of crude protein in the grain decreased.

**Keywords:** nitrogen isotope <sup>15</sup>N, crop rotation, relief elements, nitrogen flow and balance, erosion, resistance, yield quality.

Максимальный урожай зерна с наиболее высоким содержанием сырого белка ячмень формировал на приводораздельной части склона в первой ротации севооборота при локальном применении азотного удобрения. С повышением ГТК до 2,0 продуктивность ячменя и содержание сырого белка в зерне снижались.

### *Литература*

1. Жилко В.В., Жукова И.И., Черныш А.Ф., Цыбулько Н.Н. Тишук Л.А. Потери гумуса и макроэлементов, вызываемые водной эрозией из дерново-палево-подзолистых почвах Белоруссии // *Агрохимия*. - 1999. - №10. - С. 41-46.
2. Завалин А.А., Соколов О.А. Потoki азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. - М.: ВНИИА, 2016. - 591 с.
3. Каишанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. - М.: Колос, 1997. - 239 с.
4. Кутузова Р.С., Сирота Л.Б., Орлова О.В., Воробьев Н.И. Микробное сообщество и анализ почвенно-микробиологических процессов в дерново-подзолистой почве // *Почвоведение*. - 2001. - №3. - С. 320-332.
5. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. - М.: Колос, 1999. - 296 с.
6. Соколов О.А., Семенов В.М. Теория и практика рационального применения азотных удобрений. - М.: Наука, 1992. - 207 с.
7. Сычев В.Г., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Экологические аспекты роли азота в продукционном процессе. - М.: ВНИИА, 2012. - Т.2. - 272 с.
8. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Цуриков Л.Н. Использование азота удобрений ячменем при различных способах внесения азотных удобрений в условиях эрозийного ландшафта // *Плодородие*. - 2012. - №4. - С.30-33.
9. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Завалин А.А., Литвинский В.А. Баланс азота удобрений при выращивании различных сортов ячменя на склоне // *Плодородие*. - 2014. - №4. - С.9-11.
10. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Завалин А.А., Литвинский В.А. Использование азота удобрений ячменем при различных способах внесения азотного удобрения в условиях эрозийного ландшафта (III ротация) // *Плодородие*. - 2017. - №1. - С. 54-56.
11. Crews T.E., Peoples M.B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2005, v. 72. P.101-120.
12. Glendinning M.J., Paulton P.R., Powlson D.S. Availability of the residual Nitrogen from a single application of <sup>15</sup>N - labeled fertilizer to subsequent crops in a long - term continuous barley experiment. *Plant and Soil*, 2001. v.233. №2. P. 231-239.
13. Inselsbacher E., Wanek W., Strauss J. A novel <sup>15</sup>N tracer model reveals: Plant nitrate governs nitrogen transformation rates in agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.*, 2013, v.57, P. 301-310.
14. Kleinebecker T., Holzel N., Prati D. Evidence from the real world : <sup>15</sup>N natural abundances reveal enhanced nitrogen use at high plant diversity in Central European grassland. *J. Ecology*. 2014. v. 102. P.456-465.