УДК 631.811.1:633.2.031:632.125

ПОКАЗАТЕЛИ ЦИКЛОВ АЗОТА И УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ СКЛОНА

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

В условиях дерново-подзолистой почвы на склоне юго-восточной экспозиции с помощью стабильного изотопа ^{15}N определены параметры циклов азота: минерализация, иммобилизация/реиммобилизация и неттоминерализация. Локальное внесение азотных удобрений существенно повышало устойчивость агроэкосистем на всех элементах склона.

***Ключевые слова**: стабильный изотоп азота ^{15}N-циклы азота – устойчивость агроэкосистем.*

Решение проблем экологически безопасного земледелия возможно только при понимании процессов эрозии почв и связанных с ней изменений циклов элементов питания, в том числе азота. В России водной эрозии подтверждены почвы на площади 50-60 млн га, то есть почти половина агроэкосистем функционируют в режиме неустойчивого равновесия [1, 5]. Оценить же степень их неустойчивости возможно только путем определения зависимостей, интегрированных потоками азота, количественные параметры которых выявляются методами с применением стабильного изотопа ^{15}N.

Объекты и методы исследования. В Смоленском НИИСХ в 2006 г. на делянках длительного стационарного опыта варианта (1N 1P 1K) в начале третьей ротации севооборота был заложен микрополевой опыт с сернокислым аммонием, обогащенным меченным азотом (20%). Чередование культур в севообороте: озимая рожь – овес – ячмень с подсевом многолетней травосмеси – травосмесь 1 г. п. – травосмеси 2 года использования.

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая на карбонатном моренном суглинке слабо (приводораздельная часть склона 2-3^0) и среднесмытая (средняя часть склона 4-5^0 и нижняя часть склона 5-7^0). Содержание физической глины 32-34%. Агрохимическая характеристика пахотных слоев этих почв представлена, соответственно, следующими показателями: pH сол. 5,7; 5,9; 6,1 Hг – 1,18; 0,6; 0,8, содержание обменных Ca^{2+} – 5,5; 6,0; 6,0 мг-экв/100 г почвы и Mg – 2,0; 2,4; 2,2 мг-экв/100 г почвы, гумуса – 2,1; 0,9; 0,8%, общего азота – 0,19; 0,13; 0,09%; подвижных форм фосфора – 13,7; 15,8; 18,7, калия – 13,8; 15,0; 16,7 мг/100 г почвы (по Кирсанову).

Микрополевой опыт (размер делянок 0,5 х 1,0 м) размещен на склоне ЮВ экспозиции в верхней части с уклоном 2-3^0, средней 4-5^0 и нижней 5-7^0. Длина склона – 300 м. Повторность 4-х кратная с ^{15}N 2-х кратная. Защитные полосы между микроделянками 0,5 м. Обработка почвы – отвальная вспашка + рыхление подпахотного слоя на глубину 10-15 см. Перед закладкой опыта проведено известкование из расчета полной нормы гидролитической кислотности. Использовали два способа внесения азотных удобрений: в разброс и локально.

Метеорологические условия вегетационного периода в 2008 г. были благоприятными для выращивания ячменя (сорт Носовский 9); ГТК составил 1,4. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в мае (перед посевом ячменя) составляли: 140 мм в приводораздельной, 130 мм в средней и 100 мм в нижней части склона, а в период уборки урожая (август): 80, 70 и 50 мм соответственно.

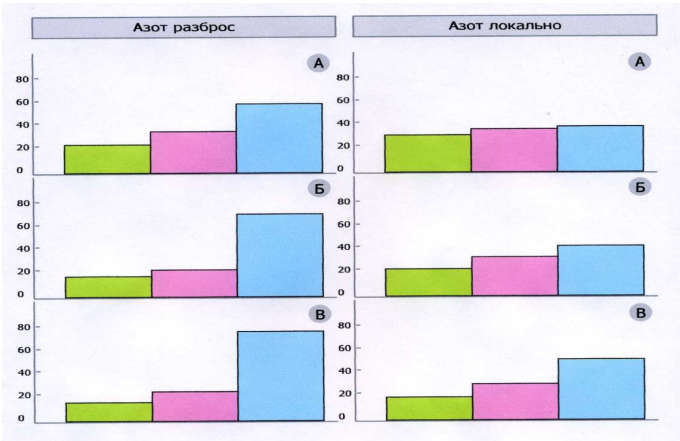
В почве и растительном материале общий азот определяли по методу Кьельдаля-Йодльбауэра. Изотопный анализ азота проводили на масс-спектрометре МИ-1102. Другие аналитические показатели почвы и растений определяли в лабораториях ВНИИА по общепринятым методикам. Расчеты потоков азота почвы и азота удобрений проводили по формулам, использованным рядом авторов [8, 7, 4].

Результаты и их обсуждение. С экологической точки зрения важными статьями баланса азота удобрения является иммобилизация (закрепление в почве) и газообразные потери [2, 3, 4, 6]. В условиях склонного земледелия возрастает роль потерь азота в процессе эрозии почв. При выращивании зерновых культур на дерново-подзолистой почве от 16 до 40% азота удобрений закрепляется в 1 м слое почвы (табл. 1, рис. 1).

1. Иммобилизация и газообразные потери азота удобрений по вариантам опыта

Способ внесения азотных удобрений	Закреплено в 1 м слое			Газообразные потери		
	1	2	3	1	2	3
Озимая рожь						
Разброс	1,54 31	1,43 29	0,82 16	2,64 53	3,09 61	3,72 75
Локально	2,02 40	1,88 38	1,31 26	1,34 27	1,93 38	2,77 56
Овес						
Разброс	1,27 25	1,08 22	1,81 16	3,03 61	3,32 66	3,69 74
Локально	2,00 40	1,34 27	1,33 27	1,70 34	2,50 50	2,67 53
Ячмень						
Разброс	1,46 29	1,25 25	0,90 18	2,82 56	3,15 64	3,60 72
Локально	1,80 36	1,60 32	1,40 28	1,70 36	2,19 44	2,60 52

Элементы склона: 1 – приводораздельная часть; 2 – средняя часть склона; 3 – нижняя часть склона. В числителе – г/м^2 азота удобрений; в знаменателе – % от применяемой дозы азотного удобрения



Элементы склона: А – приводораздельная часть; Б – середина, В – низ

-использовано растениями, -закреплено в почве, -газообразные потери.

Рис. 1. Баланс азота удобрений при выращивании ячменя на различных элементах склона в зависимости от способа внесения азотных удобрений

Закрепление азота удобрения снижалось от приводораздельной части склона к его нижней части при обоих способах внесения азотных удобрений. Та же закономерность сохраняется и при использовании азота удобрений растениями. В то же время потери азота из удобрений возрастали от верхней к нижней части склона и достигали 72-75% от применяемой дозы. Локальное внесение азотных удобрений обеспечивало лучшее использование из них азота растениями, большее его закрепление в почве и в 1,3-2 раза снижало газообразные потери азота. Наиболее эффективно локализация азотных удобрений снижала потери азота в приводораздельной части (в 1,6-2 раза), наименее эффективно – в нижней части склона (в 1,3-1,4 раза).

Баланс азота удобрений, рассчитанный по результатам исследований с изотопом ^{15}N, позволил определить различия в

интенсивности процессов внутрипочвенного цикла азота (минерализация ⇆ иммобилизация/реиммобилизация) на разных элементах склона (рис. 2). Наиболее интенсивно процессы минерализации выражены в средней части склона при выращивании ячменя, наименее интенсивно – в нижней части склона при выращивании озимой ржи.

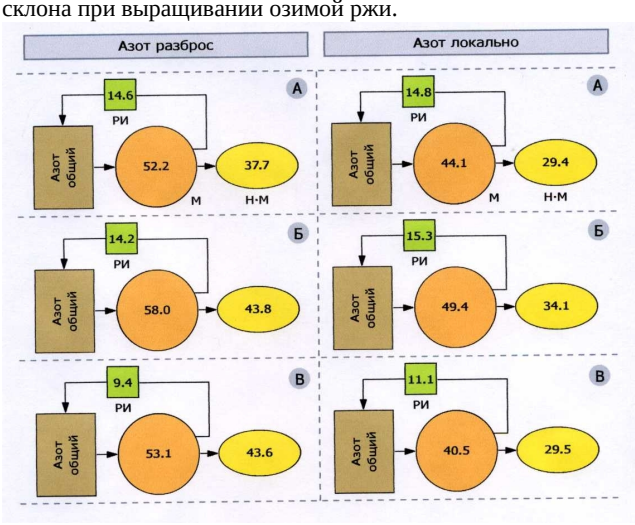


Рис. 2. Показатели циклов при выращивании ячменя в зависимости от элемента рельефа и способа внесения азотных удобрений

Элементы склона: А – приводораздельная часть, Б – середина, В – низ
М – минерализованный N ,
Н-М – нетто-минерализованный N ,
РИ – реиммобилизованный азот.

О степени минерализации в почве свидетельствует также относительная величина нетто-минерализации (Н-М), в % общей минерализации. При выращивании зерновых культур доля Н-М возрастала от приводораздельной части к основанию склона и достигала 82-84% (против 66-74% в верхней части склона). Локализация азотных удобрений снижала долю Н-М на всех элементах склона.

Реиммобилизация азота протекала с наименьшей скоростью в нижней части склона при выращивании озимой ржи и ячменя при разбросном способе внесения азотных удобрений. Локализация азотных удобрений усиливала процессы реиммобилизации при выращивании озимой ржи на всех элементах склона.

Складывающиеся условия минерализации почвенного азота существенно влияли на образование газообразных азотистых соединений (денитрификация ⇆ нитрификация). Наибольшее количество почвенного азота терялось в средней части склона при выращивании озимой ржи и ячменя, и в нижней части склона – при выращивании овса. Локализация азотных удобрений в 2 раза снижала газообразные потери азота при выращивании зерновых культур на всех элементах склона.

Изменения в блоке «почва-растение» (одном из компонентов агроэкосистем) связаны со структурными и функциональными перестройками. В основе этих изменений лежит азотный обмен внутри компонентов и между ними, интегрированный потоками, формирующими внутрипочвенный (гетеротрофный) и автотрофный циклы. Интенсивность и направленность процессов обмена внутри и между компонентами, с которыми связаны особенности формирования циклов азота, отражают степень устойчивости систем к природным и антропогенным факторам.

Минерализованный за период вегетации культур азот почвы (М) можно рассматривать как «вход» вещества в систему. Нетто-минерализованный азот (Н-М) является «выходом», а «возвратом на выходе» служит реиммобилизованный азот (РИ), идущий на поддержание систем. Считается, что устойчивость системы обеспечивается возвратом 50% веществ, при котором система приближается к состоянию экологического равновесия (гомеостазу) [3]. Интегральным показателем функционирования агроэкосистем является отношение Н-М:РИ, характеризующее соотношение между потоками азота, направленными в гетеро- и автотрофный циклы. Показательно, что величина соотношения Н-М:РИ, близкая или равная единице, возможна при рециркуляции, близкой 50%. Чем выше значение соотношения Н-М:РИ, тем менее устойчива система. В то же время, чем ниже значение отношения РИ:М (рециркуляция азота), тем менее устойчива система. Самоорганизованная смена режимов функционирования агроэкосистем происходит в зависимости от изменения антропогенной нагрузки (удобрения).

При выращивании зерновых культур рециркуляция азота (РИ:М) снижалась от верхней части склона к нижней (табл. 2). Локальное внесение азотных удобрений повышала рециркуляцию азота в 1,2-1,6 раза. Показатель соотношения Н-М:РИ возрастал от приводораздельной части склона к тальвегу. Локализация азотных удобрений снижало этот показатель в 1,2-1,8 раза.

2. Показатели интегральной оценки функционирования системы «почва-растение» при выращивании зерновых культур на различных элементах склона при внесении азотных удобрений в разброс (1) и локально (2)

Элементы склона	Способ внесения азотн. уд.	Озимая рожь		Овес		Ячмень	
		РИ:М%	Н-М:РИ	РИ:М%	Н-М:РИ	РИ:М%	Н-М:РИ
Верхняя часть	1	30	2,4	26	2,8	28	2,6
	2	38	1,6	30	2,4	34	2,0
Середина	1	28	2,6	21	3,7	24	3,1
	2	36	1,7	26	2,9	31	2,2
Нижняя часть	1	16	5,2	16	5,2	18	4,6
	2	25	2,9	26	2,8	27	2,6

Для оценки степени экологической устойчивости разработаны критерии (показатели) интегральной оценки режимов функционирования агроэкосистем и уровней воздействия на них [4]. Выращивание зерновых культур на склоновых землях свидетельствует о том, что эти агроэкосистемы находятся в состоянии экологического неравновесия: в зоне стресса и резистентности верхняя и средняя части склона и в зоне резистентности и адаптационного истощения (нижняя часть склона). Локальное внесение азотных удобрений повышало устойчивость агроэкосистем из зоны адаптивного истощения в зону резистентности в нижней части склона и из зоны резистентности в зону стресса в верхней и средней частях склона. Внесение азотных удобрений разбросным способом в нижней части склона находилось на критическом уровне воздействии (>4,2), тогда как при локальном внесении – на предельно допустимом уровне. По показателю Н-М:РИ локализация азотных удобрений повышала экологическую устойчивость агроэкосистем в нижней части склона в 2 раза и в 1,3 раза – в верхней части склона.

Таким образом, с помощью азотных удобрений повышается не только продуктивность возделываемых культур, но и устойчивость агроэкосистем на склонах, поднимается «планка» устойчивости, обеспечивающая оптимальное функционирование всех компонентов систем почва-растение.

Литература

1. Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М., Колос, 1997, 240 с. 2. Кореньков Д.Н. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М., 1999, 296 с. 3. Одум Ю. Экология. М., Мир, 1986, т. 1, 2. 4. Осипов А.И. Соколов О.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 4. Роль азота в плодородии почв и питании растений. С.-Петербург, 2001, 360 с. 5. Помазкина Л.В. Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. Новосибирск, СО Наука, 1985, 176 с. 6. Рожков В.А. Почва как основа продуктивности земель. Плодородие, 2006, № 5, С. 12-15. 7. Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Управление потоками азота на почвах, подверженных водной эрозии. Сб.: Экологические функции агрохимии в современном земледелии. М., 2008, С. 185-187. 8. Турчин Ф.В. Использование азотных удобрений урожаем и их превращение в почве. ЖВХО, 1965, т. 10, № 4, С. 400-401. 9. Fried M., Dean L. A concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sei., 1952, v. 73, № 4, p. 263-271.

Nitrogen cycle parameters and the stability of agroecosystems on slopes

O.A. Sokolov, N.Ya. Shmyreva

Pryanishnikov All-Russian Institute of Agricultural Chemistry, 31a Pryanishnikova st., Moscow, 127550 Russia

Summary. Parameters of nitrogen cycles (mineralization, immobilization/reimmobilization, and net-mineralization) were determined for a soddy-podzolic soil on a slope of south-eastern exposition using the ^{15}N stable isotope technique. The local application of nitrogen fertilizers significantly increased the stability of agroecosystems on all slope elements.

Key words: stable ^{15}N isotope, nitrogen cycles, agroecosystem stability