

сорными растениями, поэтому значительно увеличивается урожайность культур севооборота, причем это происходит в течение длительного времени (30 лет). Вредоносность сорного компонента агроценоза – серьезный фактор, снижающий эффективность применяемых удобрений.

Заключение. Исследования, проведенные в полевом севообороте, продемонстрировали преимущество совместного применения удобрений с химическими средствами защиты растений по сравнению с контролем и одними системами удобрения без других средств химизации.

Под влиянием комплексного применения средств химизации существенно повысилась окупаемость удобрений продукцией культур, улучшились показатели баланса и использование питательных элементов культурными севооборота.

Литература

1. Алиев А. М., Самойлов Л. Н., Цимбалист Н. И. Эффективность комплексного применения средств химизации в Нечерноземной зоне (итоги 55 лет исследований в длительном полевом опыте) // Агрохимия. – 2016. – № 2. – С. 20-30.
2. Алиев А. М., Старостина Е. Н. Продуктивность культур и окупаемость удобрений при длительном применении комплекса средств химизации в полевом севообороте // Плодородие. – 2017. – № 6. – С. 8-10.

3. Алиев А. М., Сычев В. Г., Ваулина Г. И., Самойлов Л. Н. Научные основы комплексного применения средств химизации и экологические основы интенсивного земледелия. – М.: ВНИИА, 2013. – 196 с.
4. Ваулина Г. И., Алиев А. М. Баланс питательных веществ в полевом севообороте на дерново-подзолистой суглинистой почве центральных районов Нечерноземной зоны РФ // Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями в Российской Федерации. Вып. 2. – М.: ВНИИА, 2012. – С. 18-37.
5. Ваулина Г. И., Алиев А. М. Разработка эффективных блоков химизации в полевом севообороте на дерново-подзолистой суглинистой почве центральных районов Нечерноземной зоны Российской Федерации // Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями в Российской Федерации. Вып. 2. – М.: ВНИИА, 2012. – С. 68-87.
6. Завалин А. А., Благовещенская Г. Г., Кожемяков А. П. Вклад биологического азота бобовых культур в азотный баланс земледелия России. – М.: Россельхозакадемия, 2007. – 44 с.
7. Конова А. М., Гаврилова А. Ю. Баланс питательных веществ в условиях различного насыщения севооборота удобрениями // Материалы международной научной конференции Географической сети опытов с удобрениями в Российской Федерации. – М.: ВНИИА, 2018. – С. 169-174.
8. Панников В. Д., Минеев В. Г., Почва, климат, удобрения и урожай. 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
9. Нормативы выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами. – М.: ЦИНАО, 1991. – 65 с.
10. Нормативы для определения вклада биологического азота бобовых культур в баланс азота России. – М.: ВНИИА, 2013. – 44 с.

BALANCE AND PAYBACK OF FERTILIZERS DURING LONG COMPLEX APPLICATION OF CHEMISTRY MEANS IN FIELD CROP ROTATION

A.M. Aliev, L.N. Samoylov, Ye.N. Starostina, G.A. Ivashenkov
Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia

A significant change in the balance and payback of NPK by the cultural and weed components of agrocenoses has been established under the integrated use of chemicals in comparison with the control in the field crop rotation. The consumption of nutrients by weed components of cenosis without protective measures and a decrease in the share of consumption by their cultivated plants is shown. The combined use of fertilizers and chemical plant protection products markedly improved the supply of nutrients to the cultivated plant, which led to increased crop rotation and fertilizer payback.

Key words: crop rotation, weeds, fertilizer system, plant protection, balance of nutrients, fertilizer payback.

УДК:633.352:581.1

УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА ОЗИМЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.А. Арефин, Р.Б. Нурлыгаянов, д.с.-х.н.,
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт»,
ФГБОУ ВО «Байкирский государственный аграрный университет» razit2007@mail.ru.

Исследования проводили в 2015-2017 гг. в условиях лесостепи Западной Сибири (ООО «Михайловское» Прокляевского района Кемеровской области). Агрохимическая характеристика почвы в пахотном слое: содержание валового минерализованного азота (N) 77 мг/кг, P₂O₅ – 87 мг/кг, K₂O – 93,3 мг/кг. В контрольном варианте естественная урожайность зерна составила: озимой ржи ниже на 10% от расчетных и равна 1,31 т/га, озимой вики – 15% и 1,7 т/га, зерносмеси «озимая рожь+озимая вика» – 4% и 1,57 т/га соответственно. Программирование урожайности зерна на уровне 2,5 т/га в одновидовых и смешанных посевах не обеспечило расчетную продуктивность растений: озимая рожь – 86% от планируемой, озимая вика – 90% и смесь «озимая рожь + озимая вика» – 94%. При весенней прикорневой подкормке в дозе N₂₀ получена прибавка зерна озимой ржи 0,13 т/га, озимой вики – 0,12 т/га и зерносмеси – 0,10 т/га. Увеличение дозы азота до N₄₀ обеспечило урожайность зерна во всех вариантах выше 2,4 т/га. Однако, планируемая урожайность 2,5 т/га не была достигнута. Рентабельность производства зерна при планировании урожайности 2,5 т/га составила: озимой ржи – 81%, озимой вики – 44,6%, зерносмеси – 96%. При весенней прикорневой подкормке в дозе N₂₀ рентабельность равна: по озимой ржи – 12,4%, озимой вики – 40,6%, зерносмеси – 31,2%. Увеличение дозы азотной прикорневой подкормки до 40 кг д.в./га снизило рентабельность производства: озимой ржи до 8,3%, озимой вики – 24,5%, зерносмеси – 23,4%. В условиях лесостепи Западной Сибири возделывание зерносмеси озимая рожь + озимая вика экономически выгодно при планировании урожайности до 2,5 т/га с весенней прикорневой подкормкой азотом в дозе 20 кг д.в./га.

Ключевые слова: озимая рожь, озимая вика, зерносмесь, урожайность, экономическая эффективность, Западная Сибирь.

Академик Д.Н. Прянишников много времени уделял развитию отечественного сельского хозяйства и химической промышленности в Западной Сибири. Ученый писал: «Необходимо предусмотреть создание очагов высокоинтенсивного земледелия в районах, прилегающих к крупным промышленным центрам, где вместо завоза зерна и других сельскохозяйственных продуктов издалека, следует при помощи высоких доз минеральных удобрений (включая азотные) под продовольственные и кормовые культуры, поставить задачу быстрого поднятия урожая до уровня 25-30 ц/га [2]. Высказывания ученого и сегодня актуальны, особенно, когда во многих регионах страны, в том числе в Сибирском федеральном округе, обеспеченность населения основными продуктами питания местного производства составляет 50-60% от медицинских норм [3].

Один из путей увеличения производства животноводческой продукции в Западной Сибири – создание прочной кормовой базы на основе возделывания высокопротеиновых кормовых культур на зеленый корм, сенаж и силос в полевом кормопроизводстве. Среди них ведущее место занимают озимые культуры и их смеси, как высококалорийный компонент зернофуража, в частности озимая вика в одновидовых и смешанных посевах.

В насыщенных зерновыми культурами, в частности, пшеницей, севооборотах озимая вика как в чистом виде, так и в смеси с озимыми культурами, имеет важное агротехническое значение в качестве предшественника и для биологизации земледелия. К концу вегетационного периода озимая вика оставляет в почве на 1 га свыше 34,5 ц корневых и пожнивных остатков, богатых азотом [4]. Все это позволяет при надлежащей подготовке поля получить высокие урожаи последующих сельскохозяйственных культур севооборота. Отметим, что озимая вика является единственной из озимых видов бобовой культурой.

В настоящее время площади возделывания озимой вики и её смесей в хозяйствах Западной Сибири значительно сократились, хотя культура остается высокоэффективной [8]. Озимая вика как интенсивная культура отзывчива на минеральное питание [9, 10].

Цель исследований – изучить влияние уровня азотного питания на урожайность зерна озимых культур и их смесей в условиях Западной Сибири.

Методика. Исследования проводили на опытном поле ООО «Михайловское» Прокопьевского района Кемеровской области в лесостепной зоне Западной Сибири в 2015-2017 гг.

По результатам агрохимических обследований полей содержание элементов питания в пахотном слое почвы следующее: гумус – 5,8%, P_2O_5 – 87 мг/кг, K_2O – 93,3 мг/кг. Содержание доступного азота подсчитали по методике, предложенной В.Г. Минеевым (2004), содержание валового азота в гумусе – 5%, минерализация азота – 1% [11]. Плотность почвы (d) – 1,0 г/см³, толщина пахотного слоя (h) – 0,3 м. Содержание валового минерализованного азота (N) в опытном поле составляет 77 мг/кг.

Объектами исследований были вика мохнатая озимая сорта Фортуна и рожь озимая сорта Тетра короткая.

Схема полевого опыта: 1) контроль; 2) планируемая урожайность озимой ржи 2,5 т/га; 3) планируемая уро-

жайность озимой вики 2,5 т/га; 4) планируемая урожайность смеси озимая рожь + озимая вика 2,5 т/га (фон); 5) Фон + N_{20} ; 6) Фон + N_{40} .

Планируемую урожайность зерна в вариантах на уровне 2,5 т/га (фон) подсчитали балансовым методом [12]. Усвояемость растениями элементов питания из почвы составляет: азота – 50%, фосфора – 10 и калия – 25%. Наличие доступного количества калия в почве исключило внесение калийных удобрений.

Предшественник исследуемых культур – чистый пар.

Для расчета экономической эффективности в исследованиях стоимость зерна озимой ржи приняли за 8 тыс. руб/т, озимой вики – 16, зерносмеси – 12 тыс. руб/т (по среднеобластным ценам).

Результаты и их обсуждение. В условиях интенсивного ведения земледелия и дефицита органических удобрений в полевом севообороте, связанного с сокращением поголовья скота и удорожанием затрат на вывозку навоза, основным источником повышения продуктивности сельскохозяйственных культур является рациональное внесение минеральных удобрений с учетом наличия элементов минерального питания в почве.

По результатам исследований установлено, что естественная урожайность озимой ржи оказалась меньше расчетной на 10%, озимой вики – на 15%. Озимая рожь способна более интенсивно поглощать элементы питания из почвы в отличие от озимой вики. Зерносмесь озимая рожь + озимая вика обеспечила урожайность зерна 4% от возможной. Данный результат был получен за счет толерантности видовой смеси. Злаковый компонент (озимая рожь) является, как правило, опорной культурой для бобовой (озимая вика), в результате повышается фотосинтетическая активность листьев за счет снижения перекрытия поверхности их при лежающем положении. При посеве бобовых со злаковыми культурами в почве происходит перераспределение азота между растениями. Поэтому продуктивность злакового компонента повышается в агроценозе в сравнении с одновидовыми посевами (табл. 1).

1. Естественная урожайность озимых культур в полевых опытах (среднее за 2015-2017 гг.), т/га

Показатель	Озимая рожь			Озимая вика			Озимая рожь (60%) + озимая вика (40%)		
	N	P_2O_5	K_2O_5	N	P_2O_5	K_2O_5	N	P_2O_5	K_2O_5
Вынос, кг/т	27,0	11,0	22,0	60,0 20,0*	13,0	20,0	40	12	21
У ₀ прогн.	1,45	2,45	3,20	2,0	2,0	3,5	1,64	2,3	3,0
У ₀ факт.	1,31	-	-	1,7	-	-	1,57	-	-
НСР ₀₅	0,01								

*Доля минерального азота из почвы.

Таким образом, смесь озимая рожь + озимая вика обеспечила наибольшую естественную продуктивность в сравнении с одновидовыми посевами.

Планируемая урожайность зерна на уровне 2,5 т/га в одновидовых и смешанных посевах не была достигнута. Озимая рожь обеспечила 86% от планируемой урожайности зерна, озимая вика – 90 и смесь озимая рожь + озимая вика – 94%. Минеральные удобрения по-разному влияли на интенсивность роста и развитие растений. Озимая рожь оказалась самой отзывчивой на дополнительное минеральное питание. Интенсивность роста и развития растений превысили 4%, по сравне-

нию с естественными условиями. Для чистых посевов озимой вики данный показатель был на 5% ниже. Это связано, видимо, с дополнительным внесением азотных удобрений на планируемую урожайность, что снижает интенсивность работы симбиоза с клубеньковыми бактериями. Тем не менее, продуктивность озимой вики выше, чем озимой ржи, но ниже смеси озимая рожь + озимая вика. Зерновая смесь озимая рожь + озимая вика обеспечила 92% от планируемого уровня.

Весенняя прикорневая подкормка в дозе 20 кг д.в/га усвояемого азота повысила интенсивность роста и развития растений во всех вариантах исследований. Получена прибавка зерна озимой ржи – 0,13 т/га, озимой вики – 0,12 и зерносмеси – 0,10 т/га. Наибольшей прибавкой отличалась озимая рожь в одновидовом посеве. Это связано, прежде всего, с интенсивной ранневесенней вегетацией растений, хотя планируемая урожайность 2,5 т/га не была обеспечена. В данном варианте исследований наибольшая агрономическая эффективность отмечена у смеси озимых культур – 2,40 т/га (96%).

Увеличение дозы азота до 40 кг д.в/га обеспечило урожайность зерна во всех вариантах более 2,4 т/га, однако планируемая урожайность на уровне 2,5 т/га (фон) не была достигнута. Это означает, что азотные удобрения, эффективно влияя на рост и развитие растений, не полностью обеспечивают поступление остальных элементов питания из почвы, в частности фосфора, находящегося в минимуме. Азот усиливает поглощение фосфора для фотосинтеза, но не полностью. Здесь ограничивающее действие оказывают другие факторы. Кратное увеличение дозы азота (+20 кг д.в/га) обеспечило прирост урожайности зерна озимой ржи на 0,12 т/га, озимой вики – 0,7, зерносмеси – 0,8 т/га (табл. 2).

2. Урожайность зерна озимых и их зерносмеси в зависимости от уровня минерального питания (среднее за 2015-2017 гг.), т/га

Вариант опыта	Озимая рожь	Озимая вика	Озимая рожь (60%) + озимая вика (40%)
1. Контроль	1,31	1,70	1,57
2. Планируемая урожайность 2,5 т/га (фон)	2,15	2,25	2,30
Фон + N ₂₀	2,28	2,37	2,40
Фон + N ₄₀	2,40	2,44	2,48
НСР ₀₅	0,11		

Как было отмечено, в настоящее время минеральные удобрения являются основными источниками повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Однако повышение стоимости минеральных удобрений, затрат на их внесение не всегда экономически оп-

равдывает увеличение урожайности возделываемых культур. Об этом свидетельствуют результаты экономической оценки исследований. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна обеспечило рентабельность производства: озимой ржи – 81%, озимой вики – 44,6, зерносмеси – 96%. Чистый посев озимой вики имел наименьшую рентабельность. Дополнительная прикорневая подкормка полевых культур в дозе азота 20 кг д.в/га обеспечила рентабельность производства зерна: озимой ржи – 12,4%, озимой вики – 40,6, зерносмеси – 31,2%. Доза азотной прикорневой подкормки 40 кг д.в./га снизила рентабельность производства зерна: по озимой ржи до 8,3%, озимой вики – 24,5, зерносмеси – 23,4%.

Выводы. 1. Возделывание озимой вики в смеси с озимой рожью на зерно в лесостепи Западной Сибири агрономически и экономически выгодно. 2. При планировании урожайности озимых зерновых культур и их смеси на уровне 2,5 т/га необходимо дополнительно проводить прикорневую подкормку азотом в дозе 20 кг д.в/га. 3. При увеличении при прикорневой подкормке дозы азота до 40 кг д.в/га эффективность минерального удобрения снижается, что экономически невыгодно.

Литература

1. Прянишников Д.Н. Химизация земледелия в Западной Сибири. – Л.: Изд-во АН СССР, 1933. – 15 с.
2. Прянишников Д.Н. Пути повышения урожайности и увеличения продуктивности сельского хозяйства Молотовской области // Изб. соч. в 4-х томах. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – Т.4. – С. 170-185.
3. Нурлыгаянов Р.Б. Академик Д.Н. Прянишников о развитии химической промышленности и сельскохозяйственного производства в Западной Сибири / Р.Б. Нурлыгаянов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей в 3 кн. / XI Международная научно-практическая конференция (4-5 февраля 2016 г.). – Барнаул: РИО АГАУ, 2016. – Кн. 1. – С.35-38.
4. Торгашева А.П. Озимая вика / А.П. Торгашева, Б.П. Гончаров. – М.: Россельхозиздат, 1970. – 48 с.
5. Гарипов А.А. Минеральные удобрения повышают урожай и качество зерна озимой ржи / А.А. Гарипов, Р.Б. Нулыгаянов // Плодородие. – 2006. – №1. – С.7.
6. Нурлыгаянов Р.Б. Двадцать пять лет на страже плодородия / Р.Б. Нурлыгаянов, Д.С. Давлетшин // Плодородие. – 2005. – № 3. – С.5-7.
7. Нурлыгаянов Р.Б. Минеральное питание ярового рапса / Р.Б. Нурлыгаянов, А.Л. Филимонов // Плодородие. – 2019. – № 2. – С.18.
8. Нурлыгаянов Р.Б. Мохнатая вика поможет / Р.Б. Нурлыгаянов, А.А. Арефин, А.Л. Филимонов // Территория Агро. – 2015. – №6. – С.22-24.
9. Золотарев В.Н. Рекомендации по возделыванию и использованию вики мохнатой (озимой) на корм и семена. – М.: ФГУ РЦСХК, 2007. – 46 с.
10. Парахин Н.В. Вика мохнатая (*Vicia villosa* Roth.) в кормопроизводстве России / Н.В. Парахин, В.Н. Золотарев, А.П. Лаханов, Ю.С. Тюрин. – Орел: Изд-во орел ГАУ, 2010. – 508 с.
11. Минеев В.Г. Агрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, КолосС, 2004. – 720 с.
12. Каюмов М.К. Программирование урожаев / М.К. Каюмов. – М.: Московский рабочий, 1986. – 182 с.

YIELD OF GRAIN OF WINTER CROPS DEPENDING ON THE NITROGEN NUTRITION LEVEL IN THE CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

A.A. Arefin¹, R.B. Nurlygayanov²

¹ Kemerovo State Agricultural Institute, Markovceva ul. 5, 650056 Kemerovo, Russia

² Bashkir state agrarian University, 50-letiya Oktyabrya ul. 34, 450001 Ufa, Russia, e-mail: razit2007@mail.ru.

The studies were conducted in 2015-2017 in the forest-steppe of Western Siberia (Mikhailovskoye LLC, Prokopyevsk district, Kemerovo region). Agrochemical characteristics of the soil in the arable layer: the content of gross mineralized nitrogen (N) 77 mg/kg, P₂O₅ – 87 mg/kg, K₂O – 93.3 mg/kg. In the control version, the natural grain yield was: winter rye lower by 10% of the calculated and amounted to 1.31 t/ha, winter vetch – 15% and 1.7 t/ha, grain mixture "winter rye+winter vetch" – 4% and 1.57 t/ha, respectively. Programming of grain yield at the level of 2.5 t/ha in single-species and mixed crops did not provide the estimated productivity of plants: winter rye – 86% of the planned, winter vetch – 90% and a mixture of "winter rye + winter vetch" – 94%, respectively. With spring basal feeding at a dose of N₂₀, an increase in winter rye grain of 0.13 t/ha, winter vetch – 0.12 t/ha and grain mixture – 0.10 t/ha was obtained. An increase in the dose of nitrogen up to N₄₀ ensured grain yield in all variants above 2.4 t/ha. However, the planned yield at the level

of 2.5 was not achieved. The profitability of grain production in the planning of yield by 2.5 t/ha was: winter rye – 81%, winter vetch – 44.6%, grain mixtures – 96%. When spring feeding a basal dose of N20 profitability made: winter rye – by 12.4%, winter vetch – 40.6%, grain mixture – of 31.2%. The increase in the dose of nitrogen basal feeding to 40 kg/ha reduced the profitability of production: winter rye to 8.3%, winter vetch – 24.5%, grain mixtures – 23.4%, respectively. In the forest-steppe of Western Siberia, the cultivation of grain mixture "winter rye + winter vetch" is economically advantageous when planning yields up to 2.5 t/ha with spring basal fertilizing with nitrogen at the level of 20 kg/ha.

Key words: winter rye, winter Vica, grain mix, productivity, economic efficiency.

УДК 631.8

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ИДЕНТИФИКАЦИИ АЗОТА ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

*Р.А. Афанасьев, д.с.-х.н., В.В. Носиков, к.б.н., В.А. Литвинский, к.б.н., И.Н. Ворончихина,
ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» им. Д.Н. Прянишникова
127434, Москва, ул. Прянишникова, д. 31А, e-mail: vl.litvinskiy@gmail.com*

Работа выполнена по государственному заданию № 0572-2019-0013

Показано, что современные спектральные методы диагностики питания растений, как дистанционные, так полевые и лабораторные аналитические, позволяют оценить потребность сельскохозяйственных культур в азотном питании и отследить поступление в растения азота органических и минеральных удобрений.

Ключевые слова: растительная диагностика, фотометрия, изотопная масс-спектрометрия, беспилотные летательные аппараты, точное земледелие, изотопы азота, минеральные удобрения, органические удобрения.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.09

Определение нужд посевов сельскохозяйственных культур в азотной подкормке в режиме on-line стало возможным только с появлением наземных механизированных агрегатов, авиакосмических объектов (самолетов, вертолетов, космических спутников) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных мультиспектральными фотокамерами. До этого, как известно, предпочтение отдавалось химическим методам диагностики азотного питания растений, основанным или на полуколичественном определении нитратного азота в выжатом соке растений 1%-ным раствором дифениламина в крепкой серной кислоте, или на определении общего азота в их биомассе путем кислотного сжигания по Кьельдалю [1]. Эти методы химической диагностики азотного питания растений не получили широкого распространения из-за сложности, недостаточной производительности и небезопасности. Если для определения нужд растений в таких элементах питания как фосфор и калий допускается временной интервал в 4-5 лет ввиду относительной стабильности содержания данных элементов в почвенной среде, то обеспеченность растений азотом требует постоянного контроля в течение каждого вегетационного периода. Достаточную обеспеченность растений фосфором и калием можно достичь заблаговременным применением удобрений, но с азотом дело обстоит несколько иначе. Азотные удобрения вносят в почву, как правило, ранней весной непосредственно перед посевом яровых культур или поверхностно в начале вегетации озимых зерновых, реже – осенью до посева озимых культур. В критические периоды вегетации (кущение – ветвление, трубкование – стебление, колошение – цветение, формирование семян, других репродуктивных органов) для оптимизации азотного питания зерновых и других сельскохозяйственных культур проводят вегетацион-

ные подкормки азотными удобрениями по данным различных методов растительной диагностики.

В последние десятилетия все большее значение, особенно за рубежом, приобретают физические, преимущественно фотометрические, методы диагностики азотного питания посевов, основанные на связи интенсивности зеленой окраски растений с обеспеченностью их азотом. С помощью фотоприемников диагностических приборов определяют концентрацию хлорофилла в индикаторных органах или во всей биомассе растений. В результате тематической обработки данных контактного или дистанционного определения этих показателей рассчитывают потребность определенных сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях в конкретный период их вегетации. При этом наибольшее распространение получило определение так называемого вегетационного индекса (NDVI), представляющего собой отношение разности величин инфракрасного и красного спектров электромагнитного отражения солнечного или искусственного света от растений к их сумме: $NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}}$ (рис. 1). В зависимости от обеспеченности растений азотным питанием значение вегетационного индекса в период активной вегетации может колебаться от 0,3 до 0,9.

В настоящее время в агрохимии и физиологии растений для решения широкого круга исследовательских задач используют отношение $^{15}N/^{14}N$. Это отношение в воздухе, почвах, водах и удобрениях практически одинаково. Однако в конкретных условиях выращивания растений наблюдаются значительные отклонения, которые следует учитывать в пересчете экспериментальных значений. Для расчета состава изотопов азота в почвах и удобрениях в качестве стандарта принимают отношение $^{15}N/^{14}N$ в атмосфере. Однако азот органического вещества почв по сравнению с азотом атмосферы может быть обогащен тяжелым изотопом ^{15}N макси-