

УДК 631.811

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ В АДАПТИВНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ**Сутягин В.П., Тюлин В.А.***Тверская государственная сельскохозяйственная академия,
Тверь, e-mail: sutiagin.victor2011@yandex.ru*

Почва является сложной биосистемой, которая состоит из подсистем более низкого порядка. Поэтому внесение минеральных удобрений оказывает многостороннее действие на почву как на биологический объект и как на физическое тело. Применение удобрений остается одним из важнейших приемов адаптивного земледелия. В Тверской ГСХА на основании регрессионного анализа установили, что действие удобрений зависит от метеорологических условий года, от содержания в почве энергии органических субстратов, гумуса, доступных соединений фосфора и калия. Установлено, что многолетние травы и озимая рожь более чувствительны к показателям плодородия почвы, чем ячмень и картофель. Ячмень в большей степени реагирует на температуру воздуха, чем на осадки и приход ФАР в апреле, мае, июне и июле месяце. Под бобово-злаковым травостоем органическое вещество сохранилось в вариантах, где № 60 вносили во второй половине лета. В почве под злаковыми травосмесями при полном минеральном удобрении отмечена тенденция подкисления почвенного раствора. Под злаковыми травостоями весной аммонийной формы азота в почве меньше при обильном минеральном питании, особенно в первый год пользования. Нитратной формы отмечено больше в варианте без удобрений. В целом содержание форм минерального азота в почве максимальное при повышенной дозе минеральных удобрений.

Ключевые слова: минеральные удобрения, почва, азот, элементы питания, плодородие почвы, гумус, фосфор, калий, севооборот, модели плодородия почвы

MINERAL NUTRITION IN ADAPTIVE AGRICULTURE**Sutyagin V.P., Tyulin V.A.***Tver State Agricultural Academy, Tver, e-mail: sutiagin.victor2011@yandex.ru*

Soil is biosystem complex, which consists of the subsystems of lower order. Therefore, application of mineral fertilizers has a multifaceted effect on the soil as a bio-logical entity and how the physical body. The use of fertilizers is one of the most important methods of Shih-adaptive agriculture. In the Tver State Agricultural Academy based on regression analysis of the month-novili that the effect of fertilizer depends on the meteorological conditions of the year, the content of soil organic substrates energy, humus, available phosphorus and potassium compounds. It was found that the perennial grasses and winter rye are most sensitive to soil fertility indicators than barley and potatoes. Barley is more responsive to the air temperature than precipitation and arrival of FAS in April, May, June and July. Under the legume-grass herbage organic substances ve preserved in embodiments where the N60 was added in the second half of the summer. The soil under cereals Vym-grass mixtures with a complete fertilizer showed a trend of soil acidification-strength solution. By cereal herbage spring ammonium forms of nitrogen in the soil is less with abundant mineral nutrition, especially in the first year of use. While noting the nitrate form but more in the variant without fertilizers. In general, the content forms of mineral nitrogen in the soil maxi mum at the elevated dose of fertilizers.

Keywords: mineral fertilizers, soil, nitrogen, elements of nutrition, soil fertility, gu-mus, phosphorus, potassium, crop rotation, soil fertility model

Почва является важным звеном биосферы. Она подвергается сложному комплексному воздействию вносимых удобрений, которые могут оказывать на нее следующее влияние: вызывать подкисление или подщелачивание среды, улучшать или ухудшать агрохимические и физические свойства, способствовать обменному поглощению ионов или вытеснять их в почвенный раствор; способствовать или препятствовать химическому поглощению катионов (биогенных и токсических элементов); способствовать минерализации или синтезу гумуса; усиливать или ослаблять действие других питательных элементов почвы или удобрений; мобилизовать или иммобилизовать питательные элементы почвы; вызывать антагонизм или синергизм питательных элементов и, следовательно, существенно влиять на их поглощение и метаболизм в растениях [4].

Применение удобрений остается одним из важнейших приемов повышения продуктивности кормовых угодий. Минеральные удобрения не должны ухудшать агрохимические показатели почвы. Однако в результате длительного применения минеральных удобрений увеличивается гидролитическая кислотность почвы, уменьшается сумма поглощенных оснований и степень насыщенности поглощающего комплекса почвы, снижается содержание обменного кальция и магния, возрастает количество подвижного алюминия.

Модели плодородия почвы, предложенные рядом учёных [2, 3], ценны в теоретическом понимании влияния свойств почв на урожайность полевых культур. В наших исследованиях прослеживается чёткое влияние погодных условий не только на рост и развитие растений, но и на показатели плодородия почвы, биохимический состав

растений. Поэтому без учёта климатических факторов и данных о поступлении энергетического материала в почву модель плодородия почвы не будет корректна при переносе её в другой регион с другими климатическими параметрами.

Влажные годы в Нечерноземной зоне могут вызвать обеднение почв вследствие чрезмерного вымывания питательных веществ. Азот вымывается в основном в виде нитратов. Нитраты теряются при первом отрастании растений весной (май) и осенью (сентябрь-октябрь). Следовательно, азот вымывается на злаковых травостоях в незначительных количествах даже при внесении повышенных норм азотных удобрений. Что касается калия, то на дерново-подзолистой почве он теряется в основном в осеннее время, если предшествующий вегетационный период отличался недостаточной влажностью, и летом, если оно было избыточно влажным. Тем не менее общие потери калия незначительны [5]. В условиях избыточного увлажнения резко уменьшается поступление в растения азота, как из почвы, так и из внесённого удобрения [1]. На супесчаных и суглинистых почвах не происходит существенного вымывания питательных веществ из зоны основного расположения корней многолетних трав [6].

В Тверской ГСХА в течение 15 лет изучали изменение плодородия почвы в зависимости от доз, соотношения минеральных удобрений и в зависимости от климатических условий и вида севооборота.

Множественный корреляционный анализ зависимости урожайности полевых культур от агрохимических показателей почвы показал достаточно высокую тесноту связи (табл. 1). В данных расчётах в качестве независимых переменных были взяты результаты почвенных анализов по содержанию органического вещества в % (гумус) (x_1), содержанию доступного фосфора в мг/кг (x_2), содержанию доступного калия в мг/кг (x_3).

Интересные данные получены по клеверу, где на фоне без удобрений теснота связи урожая с климатическими показателями средняя, а при внесении минеральных удобрений она возрастает до функциональной связи. Это положение показывает отрицательное действие удобрений в посевах бобовых трав. В то же время, частные коэффициенты корреляции показывали слабую тесноту связи содержания органического вещества и доступных форм фосфора и калия в почве с урожайностью полевых культур. Данные табл. 1 свидетельствуют, что урожайность ячменя и картофеля в слабой степени контролировалась агрохимическими свойствами почв.

В посевах озимой ржи степень влияния агрохимических свойств почв снижается при внесении органических удобрений, а в посевах многолетних трав 1 и 2 г.п. – при внесении минеральных удобрений. Слабое влияние агрохимических показателей на урожайность культур объясняется поступлением большого количества органического вещества в почву с пожнивно-корневыми остатками.

Ввод в функцию дополнительных переменных в виде суммы осадков и температуры воздуха или приход ФАР за период вегетации значительно повышает существенность связи урожайности полевых культур с изучаемыми факторами (табл. 2).

Данные табл. 1 и 2 позволяют оценить отношение к почвенным и климатическим условиям каждой культуры. Например, многолетние травы и озимая рожь наиболее чувствительны к показателям плодородия почвы, чем ячмень и картофель. Ячмень, при том количестве питательных веществ, которое сложилось в опыте, больше реагирует на температуру воздуха, чем на осадки и приход ФАР за апрель, май, июнь и июль месяца. Для каждой культуры севооборота можно оценить реакцию на внесение минеральных и органических удобрений на фоне отдельных параметров климатических условий.

Таблица 1

Коэффициенты детерминации зависимости урожайности культур от агрохимических свойств почвы (С1)

Культура	Независимые переменные – «гумус (x_1) – фосфор (x_2) – калий (x_3)»		
	0	НРК	навоз
Клевер	0,30	0,91	0,51
Картофель	0,15	0,22	0,08
Ячмень	0,45	0,08	0,52
Травы 1 г.п.	0,81	0,56	0,90
Травы 2 г.п.	0,79	0,19	0,93
Озимая рожь	0,85	0,78	0,20

Таблица 2

Коэффициенты детерминации зависимости урожайности культур от климатических и почвенных условий (С1)

Культура	Сумма осадков (x_1) – гумус (x_2) – фосфор (x_3) – калий (x_4)			Температура (x_1) – гумус (x_2) – фосфор (x_3) – калий (x_4)			ФАР (x_1) – гумус (x_2) – фосфор (x_3) – калий (x_4)		
	0	NPК	навоз	0	NPК	навоз	0	NPК	навоз
Клевер	0,84	0,92	0,84	0,74	0,91	0,64	0,34	0,99	0,53
Картофель	0,91	0,96	0,92	0,99	0,98	0,97	0,26	0,29	0,43
Ячмень	0,60	0,30	0,80	0,97	0,68	0,83	0,45	0,15	0,63
Травы 1 г.п.	0,93	0,93	0,91	0,89	0,28	0,90	0,92	0,56	0,97
Травы 2 г.п.	0,53	0,65	0,82	0,94	0,96	0,92	0,88	0,79	0,76
Травы 3 г.п.	0,35	0,32	0,73	0,35	0,35	0,77	0,31	0,45	0,78
Озимая рожь	0,98	0,96	0,81	0,99	0,99	0,37	0,89	0,80	0,23

Если частные коэффициенты корреляции показывали снижение зависимости культур от погодных условий, то множественные коэффициенты детерминации показывают, что при определённом уровне плодородия почв культуры при внесении удобрений также зависимы от климата, как и без их применения.

На основании проведённых исследований предпринята попытка создания математической модели формирования урожайности полевых культур севооборота, на основании которой проведено определение доли участия каждого фактора в формировании урожайности культур. В уравнении регрессии в качестве независимой переменной (y) принят фактический урожай культур. Факторный анализ показал более высокую степень зависимости урожайности культур от суммы осадков, поэтому первой переменной была сумма осадков за апрель, май, июнь и июль месяц (мм) (x_1).

Для увеличения веса переменных и снижения их количества рассчитана энергетическая составляющая, которая отражает потоки энергии в севообороте и увязывает поступление энергии с растительными остатками,

семенным материалом, минеральными и органическими удобрениями, органическим веществом почвы. Сумма энергетического эквивалента перечисленных показателей (МДж/га) является второй переменной математической модели (x_2). Третьей переменной является содержание доступного фосфора (мг/кг) в почве (x_3), а четвёртой – содержание калия в почве (мг/кг) (x_4). Форма зависимости представлена полиномом $(y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4)$. Данная модель отражает связь климатических и почвенных условий формирования урожайности полевых культур. Принятая форма зависимости адекватно описывает влияние изучаемых показателей на урожайность полевых культур при уровне значимости 0,05 (табл. 3).

Анализ результатов исследований показал существенную зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от климатических условий года и показателей плодородия почвы (табл. 4). Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск путей снижения зависимости продуктивности севооборотов от погодных условий.

Таблица 3

Коэффициенты полинома формирования урожайности полевых культур в плодосменном севообороте на фоне без удобрений

$$(y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4)$$

Культура	y (факт.)	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	R^2
Клевер	82,2	69,90	-0,496	0,00025	+0,086	+0,207	0,99
Картофель	156,5	22,49	+0,398	-0,00052	+0,213	+3,527	0,99
Ячмень	21,6	24,67	-0,044	-0,00008	+0,102	+0,315	0,90
Травы 1 г.п.	85,7	-271,74	-0,614	+0,00100	+0,655	-0,051	0,98
Травы 2 г.п.	74,4	18,00	-1,193	+0,00150	-0,245	-1,809	0,99
Травы 3 г.п.	58,8	457,29	-1,903	+0,00150	-1,988	-2,243	0,98
Озимая рожь	29,0	57,37	-0,025	+0,00001	-0,065	-0,177	0,99

Таблица 4

Коэффициенты уравнения полинома формирования культур в зернотравяном (С2),
двупольном (С3) и бессменном (С4) севооборотах на фоне без удобрений

	Культура	y (факт.)	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	R^2
С2	Травы 1 г.п.	90,1	-717,03	-0,563	+0,0020	+1,070	-0,235	0,98
	Травы 2 г.п.	81,9	+73,31	-0,663	+0,0008	+0,044	-1,927	0,58
	Травы 3 г.п.	93,7	+190,71	+0,184	-0,0005	-0,329	+0,900	0,96
	Травы 4 г.п.	81,5	-1270,87	-1,100	+0,3340	+0,607	-0,692	0,88
	Ячмень	22,7	+6,77	-0,241	+0,0005	-0,547	-0,939	0,99
С3	Клевер	94,3	-303,78	-0,196	+0,0010	+0,009	+3,105	0,94
	Ячмень	24,3	+53,17	-0,027	-0,0001	-0,019	+0,401	0,91
С4	Картофель	118,5	58,08	-0,438	-0,0007	-0,119	-0,428	0,99

Одним из направлений может быть разработка структуры посевных площадей и составление на её основе коротко ротационных севооборотов, позволяющих максимально использовать фитоценотические особенности культур с целью приближения функционирования агроценоза к работе естественных биоценозов с компромиссной нормой внесения удобрений.

По нашему мнению, данное уравнение регрессии имеет многофункциональное значение. Во-первых, теоретически увязаны метеоусловия, поступление органического вещества в почву с растительными остатками, семенами и органическими удобрениями, почвенные факторы формирования урожайности полевых культур. Во-вторых, возможность использования в программировании урожайности культур математической модели. В-третьих, есть возможность определить долю участия каждого фактора в накоплении биологической массы растений, хозяйственном выносе элементов питания с урожаем. Продолжительность наших исследований не позволяет корректно использовать предложенные коэффициенты регрессии во всём регионе. Очевидна перспектива исследований в этом направлении для получения банка данных, необходимых в мотивированном математическом моделировании взаимного влияния факторов формирования урожайности полевых культур.

Возделывание многолетних трав, особенно злаковых, при интенсивном использовании и удобрении сопровождается изменением агрохимических показателей почвы. Под бобово-злаковым травостоем к 4-му году использования органическое вещество сохранилось в вариантах, где N60 вносили во второй половине лета или при перераспределении в первые два года большей дозы азота к осени. Содержание подвижных форм калия во всех вариантах упа-

ло, количество подвижного фосфора почти не изменилось. В опыте с травосмесями, где удобрения вносили фоном N60P60K130 (в т.ч. N60K65 после первого укоса) содержание органического вещества в почве к пятому году исследований снизилось при трех скашиваниях, особенно под травосмесью: тимофеевка луговая + овсяница красная + клевер луговой. Суммы обменных оснований, подвижных форм калия стало меньше, подвижного фосфора – больше.

В почве под злаковыми травосмесями при полном минеральном удобрении отмечена тенденция подкисления среды. Только за первый год опыта установленная закономерность аппроксимируется следующим уравнением:

$$Y = 6,696 - 0,013N^{0,5} + 0,0013K; \\ R = 0,754. \quad (1)$$

Сопряженность изменений содержания подвижных форм калия под влиянием минеральных удобрений выражается функцией

$$Y = 108,356 - 0,402P + 1,942K^{0,5} - \\ - 0,22(NK)^{0,5} + 0,053(NPK)^{0,5}; \quad (2) \\ R = 0,949.$$

К шестому году исследований с распределением азотных удобрений при многократном скашивании, где разовая норма азота меньше, запасы органического вещества, кислотность почвы сохранились на исходном уровне. Содержание подвижных форм калия во всех вариантах снизилось, подвижного фосфора в почве некоторых вариантов даже возросло.

Аммиачных форм азота почвы под бобово-злаковым травостоем к весне 4-го года пользования накапливалось больше там, где азотные удобрения или совсем не вносили, или начали вносить с весны первого года

пользования. Аммонийный азот в большей степени задерживался в верхних слоях почвы. В варианте с убывающими дозами азота к осени он равномерно распределялся по профилю. Концентрация нитратного азота по слоям почвы одинаковая.

В опыте с травосмесями к весне 5-го года жизни аммонийный азот концентрировался в основном в слоях 0–20; 20–40 см; при трех скашиваниях его больше, чем при двух. Нитратный азот находился во всем профиле 0–60 см, в слое 40–60 см его, как правило, больше, чем в предыдущих.

Под злаковыми травостоями весной аммонийной формы азота в почве меньше, чем при обильном минеральном питании, особенно в первый год пользования. Нитратной формы отмечено больше в варианте без удобрений. В целом содержание форм минерального азота в почве максимальное при повышенной дозе минеральных удобрений. Сбалансированное N:P:K сопровождается увеличением содержания N–NO₃ и N–NH₄ в вариантах азота со средним уровнем удобрения азотом. В начале сезона их содержание в слое почвы 0–60 см зависит от доз и соотношений минеральных удобрений.

$$Y = 50,968 - 5,062P^{0,5} + 0,535(NP)^{0,5};$$

$$R = 0,744. \quad (3)$$

Установлена обратная связь между эффективностью азота удобрений (Y) и содержанием N–NO₃ в почве (X) в слое 0–60 см. Выражается эта связь степенной функцией

$$Y = \log 4,07 \cdot X^{-0,46}. \quad (4)$$

В опыте с распределением доз азотного удобрения по укосам аммиачных форм азота к весне 7-го года опыта накапливалось больше при трех укосах (табл. 5). Заметим, что варианты контрольные и фосфорно-калийные при всех режимах использования не уступали (при 2-х укосах превосходили) по содержанию N–NH₄ вариантам с внесением аммиачной селитры. Аммонийный азот в большей степени задерживался в верхних слоях почвы. В варианте N96 + 72 + 48 + 24 + на фоне P₈₀K₁₅₀ равномерно распределяется по профилю.

Концентрация нитратного азота была выше, чем аммиачного при двух укосах, при трех и четырех наоборот. В контрольных вариантах N–NO₃ вообще не обнаружено за исключением верхнего слоя почвы при трех укосах, где нитратный азот не опускается ниже слоя 20 см.

Заключение

Множественный корреляционный анализ зависимости урожайности полевых культур от агрохимических показателей почвы показал достаточно высокую тесноту связи. На фоне без удобрений теснота связи средняя, а при внесении минеральных удобрений она возрастает до функциональной связи. Частные коэффициенты корреляции показывали слабую тесноту связи содержания органического вещества и доступных форм фосфора и калия в почве с урожайностью полевых культур. Форма зависимости

Таблица 5

Содержание минерального азота под злаковым травостоем 7-го года пользования в мг на 1 кг почвы

Вариант	N–NH ₄ в слое, см			N–NO ₃ в слое, см		
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
Двухукосное использование						
Без удобрений	10,5	14,8	1,0	–	–	–
P80K75 + 75-фон	5,0	1,3	1,3	–	–	–
Фон + N240	3,4	2,4	2,3	7,38	34,17	2,67
Фон + N144 + 96	–	2,4	–	9,52	4,24	2,18
Трехукосное использование						
Без удобрений (контроль)	26,2	20,1	19,0	3,87	–	–
P80K75 + 0 + 75-фон	22,0	4,6	10,4	–	–	–
Фон + N240	22,4	9,8	11,7	6,55	–	–
Фон + N120 + 80 + 40	26,5	9,5	11,7	6,78	–	–
Четырехукосное использование						
Без удобрений (контроль)	7,5	2,5	2,4	–	–	–
P80K75 + 0 + 0 + 75-фон	9,7	4,8	2,8	–	–	–
Фон + N240	7,4	2,9	2,7	2,43	–	2,69
Фон + N96 + 72 + 48 + 24	6,0	6,1	6,2	2,87	2,24	2,04

$(y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4)$ отражает связь климатических и почвенных условий формирования урожайности полевых культур.

Под бобово-злаковым травостоем органическое вещество сохранилось в вариантах, где N60 вносили во второй половине лета. В почве под злаковыми травосмесями при полном минеральном удобрении отмечена тенденция подкисления почвенного раствора. Под злаковыми травостоями весной аммонийной формы азота в почве меньше при обильном минеральном питании, особенно в первый год пользования. Нитратной формы отмечено больше в варианте без удобрений. В целом содержание форм минерального азота в почве максимальное при повышенной

дозе минеральных удобрений. Предложена модель связи климатических, почвенных условий и формирования урожайности полевых культур.

Список литературы

1. Азот в земледелии нечерноземной полосы. – Л.: Колос, 1973. – 329 с.
2. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
3. Лыков А.М. Гумус и плодородие почв. – М.: Московский рабочий, 1985. – 200 с.
4. Минеев В.Г. Агрохимия и биосфера. – М.: Колос, 1984. – 245 с.
5. Орошаемые пастбища и сенокосы в Нечерноземье. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 191 с.
6. Сау Л., Ольдер Х., Вийралт Р. Содержание и динамика подвижных питательных веществ в поймах культурных пастбищ // Сборник трудов ЭСХА. Труды по луговодству. – 1974. – Т. 95. – С. 31–36.