

УДК 631.452(470.34)

ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ВЯТСКО-КАМСКОЙ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

© 2019 г. И. Г. Юлушев

Вятская государственная сельскохозяйственная академия
610017 Киров, Октябрьский просп., 133, Россия

E-mail: igyulushev@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.02.2018 г.

После доработки 05.04.2018 г.

Принята к публикации 12.11.2018 г.

Обсуждены способы реализации продуктивного потенциала почв, удобрений и известки на основе концепции агрогруппировки пахотных угодий с учетом свойств генетических горизонтов дерново-подзолистых почв Вятско-Камской земледельческой провинции.

Ключевые слова: плодородие почв, Вятско-Камская земледельческая провинция.

DOI: 10.1134/S0002188119020169

ВВЕДЕНИЕ

Существенным недостатком всех агрономических наук – особенно почвоведения, земледелия, агрохимии – является общий, без учета специфических локальных природных условий, подход к элементам технологического регламента возделывания сельскохозяйственных культур. Вероятно, это следствие некорректного определения самого понятия “система земледелия”. Под системой земледелия понимались разрозненные ее составляющие: системы отдельных элементов технологии (например, почвозащитные), состава культур (пропашные) и др. Так называемые зональные системы земледелия были привязаны к экономическим (например, Волго-Вятский) или природно-географическим (например, Предуралье) районам. Д.Н. Прянишников [1] указывал: “Не может существовать одной системы [земледелия], одинаково пригодной повсюду... необходимо помнить ... о географическом размещении разных систем и связанных с ними севооборотов в соответствии с общегосударственными интересами и учетом местных естественно-исторических и хозяйственных условий”. Наиболее логичным и объективным представляется выделение земледельческих провинций согласно “Природно-сельскохозяйственному районированию” [2], в которые объединяются территории с однотипными почвенно-климатическими условиями.

В настоящей работе рассмотрены проблемы земледелия (почвенно-агрохимические) Вятско-

Камской земледельческой провинции (ВКЗП). Использованы результаты 55-летних исследований автора и коллективов, которыми он руководил: Фаленская ГСС (1960–1962), Кировский ЗАЛ (современный ФГУГЦА “Кировский”) (1964–1966), НИИСХ СВ (1967–1990), кафедра агрохимии и почвоведения ВГСХ (1990–2008).

НЕИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ВЯТСКО-КАМСКОЙ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Земледелие ведется в сложной, многопараметрической, динамической системе “почва–растение–удобрения–технологии”, которая находится в определенных локальных почвенно-климатических условиях каждого пахотного контура (ПК). Эта система нормально функционирует только в рамках общебиологических законов, главные из которых:

- закон минимума, оптимума и максимума факторов роста и развития растений;
- закон незаменимости и равнозначности этих факторов;
- закон возврата (баланса) элементов, веществ и энергии в агроценозах.

В силу этих законов недостаток влияния какого-либо фактора в рамках ПК может снизить или свести к нулю весь урожайный потенциал других. В каждой земледельческой провинции направление и интенсивность воздействия этих факторов на урожай проявляются своеобразно. Факторы могут лимитировать продуктивность севооборот-

ного поля, но не могут быть приоритетными (например, сорт, удобрения и т.п.), все они равнозначны.

По данным Росземпроекта, худшие земли Черноземья РФ сосредоточены в субъектах Вятско-Камской земледельческой провинции [3]. Почвенный покров этой провинции даже в пределах обособленного контура характеризуется большим разнообразием типов, подтипов, видов и разновидностей почв, мозаично сочетающихся друг с другом. Для пахотных угодий типична большая пестрота по степени увлажненности, а по гранулометрическому и литологическому составу – не только территориально, но и по вертикали, т.е. в пределах почвенного профиля [4–7]. При этом азональные и интразональные почвы, а также почвы одной таксонометрической единицы в зависимости от условий генезиса различаются по эффективности удобрений, приемов и способов обработки почвы. Это требует разработки локальных технологических регламентов возделывания сельскохозяйственных культур в хозяйствах, севооборотах, даже на отдельных полях и контурах [8]. В рассматриваемой земледельческой провинции набор сельскохозяйственных культур и сортов, свет, температурный режим, состав атмосферного воздуха не являются факторами, ограничивающими урожай ($\approx 6\text{--}7$ т зерна/га). Продуктивность севооборотного поля в основном определяется количеством продуктивной влаги и элементов питания, которые не всегда и не везде могут быть достаточными для формирования урожая желаемого уровня. Общепринятое мнение о повышении засухоустойчивости растений на фоне, в частности, фосфорно-калийных удобрений подтверждено только при своевременном проведении всех полевых работ. При запаздывании, например, с посевом, посадкой сельскохозяйственных культур удобрения резко снижают устойчивость растений к засухе. В этом случае продуктивность поля в основном определяется количеством атмосферных осадков в течение вегетации растений [9]. На конкретном поле период спелости почвы для механической обработки – не более 3-х сут. Период достаточного увлажнения для появления всходов в слое почвы, где располагаются семена: на песках – 2 сут, на связных – до 5–6 сут. Запаздывание с посевными работами на 1 сут приводит к потере не менее 10% урожая, на 3-е сут – уже до 20% и более.

Одним из основных, лимитирующий урожай факторов в ВКЗП является повышенная кислотность почв, сопровождаемая высоким содержанием обменного алюминия и недостатком кальция (и магния). Сквозное промачивание почвен-

ного профиля весной и осенью, иногда и летом, а на переувлажненных участках – постоянно создает условия для перманентной декальцинации корнеобитаемой толщи почвенного профиля. Кардинальный способ устранения этих явлений (известкование – временная мера) – насыщение почвы органическим веществом, создание постоянного, хорошо развитого растительного покрова, который через транспирацию резко уменьшает нисходящий ток почвенной влаги, в составе которой выносятся кальций и другие подвижные соединения биофильных элементов и веществ.

Содержание гумуса в почвах провинции редко превышает 3%, поскольку >95% азотного пула находится в гумусовых веществах, повсеместно отмечается недостаток азота. При этом даже в условиях нормального увлажнения ежегодно с каждого гектара пашни вымывается до 30–35 кг нитратного азота, несмотря на низкую микробиологическую активность в почвах значительные газообразные его потери (до 25% внесенного в удобрениях). Максимальные потери азота происходят в отсутствие растительности (чистый пар), при низких урожаях зерновых, из-под пропашных культур. Способ уменьшения потерь азота также единственный – хорошо развитый растительный покров: по мере появления нитратный азот и влага используются растениями, поэтому уменьшается нисходящий ток почвенного растора [10].

Мозаичность почвенного покрова сельскохозяйственных угодий в зависимости от многих важнейших свойств почв в плане признается всеми, а наличие такой пестроты в профиле почв, однородных по составу и свойствам пахотного слоя, ускользает от внимания исследователей и практиков. Между тем именно в силу пестроты почвенного покрова в плане и по вертикали особую остроту приобретает необходимость учета локальных его особенностей на каждом агроэкологическом (АЭК) и пахотном контуре. Пока земледелец работает с учетом некоторых свойств (содержание гумуса, фосфора и калия, pH) только пахотного слоя.

“Если слову земледелие придается более широкий смысл, то система земледелия характеризуется тем или иным соотношением различных угодий”, – писал Д.Н. Прянишников [11]. В ВКЗП пашня стала ведущим элементом агроландшафтов, хотя не всякое угодье, числящееся как пахотное, пригодно для прибыльной работы на земле. Это следствие прошлого опыта, когда увеличение производства земледельческой продукции в России в основном происходило за счет расширения посевных площадей (колонизация

черноземов Сибири и Поволжья, освоение целины). Была и “малая целина”, не замеченная многими: под пашню распахивали мелкоконтурные участки, в том числе в почво- и водоохранных зонах. Еще в 1992 г. в Рио-де-Жанейро комиссия ООН по окружающей среде с участием глав государств более 130 стран приняла программу “За устойчивое развитие в XXI веке”, одна из рекомендаций которой – предложить правительствам стран разработать меры по отвлечению крестьян от занятий земледелием на маргинальных землях. Что это за маргинальные земли? Это площади пашни, где при современном уровне развития техники и технологии невозможно производство экономически целесообразной растениеводческой продукции. Применительно к условиям ВК-ЗП – это переувлажненные земли, песчаные почвы и пашня на эрозионно-опасных элементах рельефа (удаленные от хозяйственных центров мелкоконтурные участки также следует признать маргинальными).

Гидроморфные почвы (длительного или постоянного переувлажнения) без больших капитальных вложений для мелиоративного регулирования водно-физических свойств почвы не пригодны под пашню. Проектирование гидромелиоративных объектов редко сопровождается оценкой их действия на состояние сопредельных территорий (ОВОС). Создание осушительной сети усиливает внутрпочвенный сток влаги (это характерно и для песчаных почв), в составе которого ежегодно с каждого гектара пашни выносятся до 30–35 кг азота, до 1000 кг CaCO_3 и целый ряд других элементов питания, взвешенные коллоидные частицы, лабильный гумус [9]. В результате снижается поглотительная способность почвы, содержание усвояемого фосфора и обменного калия, повышается кислотность, часто с появлением подвижного алюминия [12, 13].

Песчаные почвы для обеспечения рентабельных урожаев требуют предварительного окультуривания сидерацией, применением органических и минеральных удобрений. В силу малой емкости поглощения таких почв удобрения приходится вносить часто в небольших дозах.

Статистическая обработка массива аналитических данных почвенных профилей (366 разрезов на дерново-подзолистых почвах, маргинальные почвы исключены) показала наличие достоверных модификаций основных агрохимических свойств генетических горизонтов почвенного профиля. Цель работы – обоснование теоретической базы для создания адаптивных, ресурсо- и энергосберегающих, экологически безопасных систем земледелия на локальном уровне.

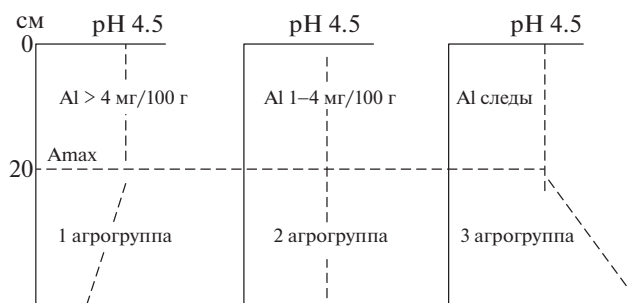


Рис. 1. Схема агрогруппировки пахотных почв с учетом кислотных характеристик почвенного профиля.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Предложена концепция объединения выделенных почвоведом почвенных таксонов в 3 агрогруппы; параметры основных агрохимических свойств профиля этих таксонов, укладываются в лимиты одной из этих агрогрупп (табл. 1, рис. 1).

1-я агрогруппа (16 разрезов – 4.4% от общего количества). Показатель pH_{KCl} в подгумусных горизонтах почвенного профиля смещен в сторону кислого интервала. В этих горизонтах содержание подвижного алюминия достигает значительных величин (до 30 и более мг/100 г).

2-я агрогруппа (203 разреза – 55.4%). Показатель pH_{KCl} сохраняется по всему профилю на уровне пахотного слоя или смещается в сторону кислого интервала. Содержание подвижного алюминия в $A_{\text{пах}}$ – <4.0 мг/100 г почвы, в аллювиальных горизонтах почвенного профиля может быть больше.

3-я агрогруппа (147 разрезов – 40.2%). Почвы, где показатель pH_{KCl} подпахотных генетических горизонтов смещается в сторону щелочного интервала (при синхронном повышении насыщенности основаниями), подвижного алюминия нет.

Индексы почвенных таксонов по классификации 1977 г. [14], которые могут быть отнесены к той или другой агрогруппе, определены [15]; закономерности территориального их распределения не установлены. Если принять площадь пахотопригодных угодий Кировской обл. равной 1.4 млн га (за вычетом обозначенных выше маргинальных почв), ориентировочное распределение пашни по агрогруппам может иметь следующий вид, тыс. га: 1-я агрогруппа – 70, 2-я агрогруппа – 770, 3-я агрогруппа – 560.

В естественных условиях выделенные агрогруппы почв пространственно разобщены. Опыты, например с удобрениями, в однотипных стационарных полевых условиях на этих почвах ор-

Таблица 1. Показатели агрохимических свойств генетических горизонтов профиля почв выделенных агрогрупп

Показатель		Агрогруппа, число опыто-лет	Апах	B1	B2	C
pH _{KCl}		1, n – 16	4.11	3.89	3.73	Не опр.*
		2, n – 203	4.56	4.15	4.10	4.38
		3, n – 147	4.70	4.74	5.83	6.58
H _г , мЭКВ/100		1	5.31	7.83	8.68	Не опр.
		2	4.75	5.09	4.95	4.07
		3	3.78	3.13	1.46	0.76
		t ₀₅	0.43	0.43	0.33	0.29
Al _{подв} , мг/100 г		1	3.9	18.9	22.6	Не опр.
		2	1.3	5.6	9.3	
		3		Следы		
Ca ⁺² + Mg ⁺² , мЭКВ/100 г		1	8.5	10.0	20.6	21.6
		2	13.9	20.2	24.1	26.0
		3	16.2	26.7	28.8	35.1
		t ₀₅	1.61	1.72	1.88	1.82
P ₂ O ₅	мг/кг	2	92	125	168	188
		3	66	82	153	173
K ₂ O		2	120	86	90	86
		3	105	90	77	41

Примечания. 1. n – число почвенных разрезов, свойства которых укладываются в лимиты показателей данной агрогруппы. 2. Средние величины pH рассчитаны по концентрации H⁺ (мг/л), поскольку с логарифмами (pH) арифметические действия не допустимы. 3. t₀₅ – достоверный интервал при 95%-ной вероятности средней разности показателей соответствующих генетических горизонтов групп почв (нулевая гипотеза отвергается). *Не опр. – не определяли.

ганизовать невозможно. Поэтому действие удобрений и извести изучали при одинаковых погодно-климатических условиях (1972–2012 гг.) в вегетационных (1-я агрогруппа, 21 опыт), лизиметрическом (2-я агрогруппа) и стационарных полевых опытах (3-я агрогруппа, 5 опытов) по методикам, принятым в стране [16, 17]. Стационарные опыты проводили в 2-х закладках, повторность вариантов четырехкратная, в лизиметрическом опыте – пятикратная, в вегетационных опытах – шестикратная.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В почвах 1-й агрогруппы эффективность азота (а также фосфора) проявлялась только на фоне извести и калия, применение одних азотных удобрений приводило даже к гибели растений (табл. 2).

Подобное действие азота В.Н. Прокошев [18] объяснял физиологической кислотностью сульфата аммония. Автор данной статьи считает это утверждение неубедительным: в его опытах использование N_{аа} привело к аналогичному результату.

Для 1-й культуры эффект калийных удобрений отмечен только на фоне извести. Подвижный алюминий является антагонистом калия в биохимических процессах. Возможно, без извести его потребление растениями в силу “калий-кальциевого” закона Эрнберга [19] подавляется. На продуктивности последующих культур четко прослежено возрастание эффективности калия за исключением последней культуры звена севооборота – клевера. Возможно, для этой чувствительной к наличию подвижного алюминия культуры требуется другое соотношение Al⁺³ : K⁺ : Ca⁺².

Урожайные данные культур, последовательно возделываемых на почве 2-й агрогруппы в лизиметрическом опыте, представлены в табл. 3. На почвах этой агрогруппы химическая мелиорация подтвердила классическое положение – повышение продуктивности бобовых культур. Урожайность других культур звена севооборота определяло внесение азотно-фосфорно-калийных удобрений – продуктивность растений возрастала в 2–4 раза.

Почвы 3-й агрогруппы, как правило, сформированы (или подстилаются) на мергелизованных

Таблица 2. Влияние удобрений и извести на урожайность культур звена севооборота на почве 1-й агрогруппы, г/сосуд

Культура	Варианты удобрения					НСР ₀₅	
	000	N00	NP0	NPK	NPKCa		
Яровая пшеница	4.8	4.6	7.2	7.2	7.5	1.8	
Горох	5.2	6.9	11.2	14.8	18.3	2.0	
Ячмень	3.4	6.8	6.5	20.7	31.7	3.3	
Лен	семена	2.0	0.4	0.8	7.1	7.9	1.0
	соломка	5.4	1.6	21.1	20.5	21.7	2.1
Яровая пшеница	1.7	Гибель	3.8	28.9	26.5	1.3	
Клевер (сено)	7.8	1.1	4.4	3.3	84.0	1.9	

Примечание. Известь (Са) внесена под первую культуру.

Таблица 3. Влияние удобрений и извести на урожайность культур звена севооборота на почве 2-й агрогруппы, г/сосуд

Культура	0000	NPK0	NPK + ККС	NPK+ ИМ	НСР ₀₅	
Ячмень	10.3	32.5	32.6	30.3	3.5	
Горох	14.7	20.9	30.6	27.8	3.1	
Лен	соломка	12.0	37.9	38.4	38.7	2.3
	семена	4.1	17.5	17.5	17.0	0.8
Пшеница	7.5	24.5	25.4	27.9	3.6	
Клевер (а.с.в.)	104	115	143	137	17	

Примечания. 1. Химические мелиоранты: ККС – карбонат Са химического синтеза [20], ИМ – известняковая мука из природных известняков (внесены под первую культуру). 2. а.с.в. – абсолютно сухое вещество.

породах. В отличие от северо-западных субъектов Нечерноземья, где подобные почвы характерны для карбонатных морен, в ВКЗП эти породы более разнообразны: элювий пермских мергелизованных глин, известняков, фосфоритов, карбонатные покровные суглинки. Характерные особенности этих почв – слабая прочерченность подзолистого горизонта, высокая насыщенность основаниями, значительные валовые запасы фосфора в иллювиальных горизонтах в отсутствии подвижного алюминия. Пахотный слой этих почв в ходе длительного почвообразовательного процесса в условиях промывного режима в большинстве случаев теряет свою первоначальную карбонатность.

В подгумусных горизонтах почвенного профиля (до 1 м, табл. 1) содержание усвояемого растениями фосфора (по Кирсанову) низкое, тогда как количество фракции минеральных фосфатов, потенциально доступных растениям (Са-Р_I, Са-Р_{II}), значительное. Вероятно, из этих насыщенных основаниями горизонтов профиля логичнее было бы извлекать усвояемые растениями соединения фосфора раствором (NH₄)₂CO₃ (по Мачигину).

В табл. 4 представлены результаты (урожайность сельскохозяйственных культур) стационарного полевого опыта, заложенного на этой почве, которые показали, что прибавка урожая, в основном обеспечивалась азотными удобрениями. При сравнительно низком содержании фосфора в Апах удобрения на этой почве обеспечили достоверную прибавку урожая только картофеля, корневая система которого в основном располагается в пахотном слое. Очевидно, для других культур был доступен фосфор иллювиальных горизонтов профиля. Положительное действие калийных удобрений не отмечено.

Несмотря на кислый характер пахотного слоя, положительное действие извести не проявлялось даже на продуктивности бобовой культуры – клевера, поскольку с глубиной в профиле отмечен сдвиг реакции среды в сторону щелочного интервала в отсутствие подвижного алюминия.

В табл. 5 показано, как изменялась относительная продуктивность сельскохозяйственных культур под влиянием удобрений и извести на почвах выделенных агрогрупп. Установлено, что максимальный прирост относительного урожая

Таблица 4. Влияние удобрений и извести на урожайность сельскохозяйственных культур (3-я агрогруппа, среднее для 2-х закладок опыта), т/га

Вариант	Картофель	Овес (+ клевер) на		Клевер после овса на		Озимая рожь
		зерно	зеленую массу	зерно	зеленую массу	
Контроль	9.2	1.46	1.6	6.27	8.9	2.94
N	15.9	3.48	4.3	5.76	9.0	4.39
NP	15.9	3.47	5.0	5.37	9.2	4.55
NK	14.6	3.55	5.2	5.56	7.9	4.36
NPK	16.6	3.84	5.4	5.40	7.9	4.61
Ca + NPK	17.1	3.87	6.3	5.35	8.2	4.37
Прибавка от						
Ca	0.5	0.03	0.9	–	0.3	–
Азота	6.7	2.02	2.8	–0.51	0.1	1.45
Фосфора	2.0	0.29	0.3	–0.16	–0.03	0.25
Калия	0.7	0.37	0.5	0.03	–1.3	0.06
<i>HCP</i> ₀₅ , т/га	1.9	0.34	1.3	0.93	1.4	0.38

рассматриваемых групп сельскохозяйственных культур под влиянием извести и удобрений зафиксирован на почвах 1-й агрогруппы: более чем 10-кратное увеличение у зерновых и клевера. Абсолютные урожаи всех культур были больше на почвах 2-й и 3-й агрогрупп.

На почвах выделенных агрогрупп четко проявлялась различная эффективность извести и удобрений, которая определялась наличием подвижного алюминия, реакцией среды, распределением фосфатного пула в почвенном профиле, связью водного режима с миграционной способностью соединений азота. Следовательно, необходима коррекция методических и методологических подходов к некоторым аспектам применения извести и удобрений в рассматриваемой земледельческой провинции.

Необходимость известкования почв следует определять, исходя из принадлежности почвы к

Таблица 5. Относительная продуктивность сельскохозяйственных культур

Агрогруппа	Вариант	Зерновые	Горох	Клевер
1	NPK	609	285	42
	Ca + NPK	1030	371	1140
2	NPK	316	142	111
	Ca + NPK	314	208	137
3	NPK	240	Нет данных	99
	Ca + NPK	248		109

определенной агрогруппе. Показано, что на почвах 1-й агрогруппы на фоне извести возрастала урожайность всех культур севооборота (не только бобовых). Эти почвы – фонд первоочередного известкования, без извести применение минеральных удобрений на этих почвах не имеет смысла. На почвах 2-й агрогруппы химическая мелиорация подтверждала классическое положение – повышала продуктивность бобовых культур. На почвах 3-й агрогруппы даже при рН пахотного слоя <4.5 известкование не обеспечивало агрономического (тем более – экономического) эффекта. Площадь подобных почв в Кировской обл. – примерно 500 тыс. га. Следовательно, при установлении необходимости известкования существующими методами на каждом 3-м гектаре выполняют бесполезную работу.

Утверждается, что “в севооборотах с клевером объектом первоочередного известкования является покровная культура. В пропашных севооборотах известь в первую очередь необходимо вносить под кукурузу и корнеплоды...” [21]. Авторы не учитывают, что для взаимодействия почвы с мелиорантом и существенной, имеющей реальное значение нейтрализации почвенной кислотности требуется определенное время, исчисляемое годами. Поэтому известкование следует проводить с таким расчетом, чтобы максимальный сдвиг рН в сторону щелочного интервала совпал по времени с размещением на этом поле культуры, наиболее чувствительной к почвенной кислотности и отзывчивой на химическую мелиорацию (например, бобовых). И наоборот, культуры

(например, картофель, лен), на которые известкование оказывает негативное влияние (снижение урожая, ухудшение качества продукции или то и другое), следует размещать до внесения извести или в период уменьшения ее действия на почву. Земледелец располагает мелиорантами (известняковая мука из природных известняков и карбонат кальция химического синтеза (**ККС**) [18]) с различной скоростью взаимодействия с почвой и продолжительностью последствия. Подбором мелиоранта он может оперативно регулировать реакцию почвенной среды во времени и в пространстве:

Показатели	ККС	Мука известняковая
Время после действия	3–4 года	>7 лет
Максимальный сдвиг рН после внесения мелиоранта	На 1-й (при внесении весной) или 2-й год	На 5–7-й год

При традиционном внесении азотного удобрения (под зябь или предпосевную культивацию) до появления всходов проходит целый месяц. За это время часть нитратного и нитритного азота вымывается из корнеобитаемого слоя почвы, а аммонийный азот улетучивается – потери могут достигать до 50–70% от внесенного в удобрениях. Эти потери азота исключаются при внесении азотного удобрения в период появления всходов, т.е. синхронизации времени внесения азота с началом фазы потребления элемента растениями (САУ). Внесение удобрений после посева, посадки сельскохозяйственных культур в агрономической практике известно как подкормка. В учебниках утверждается, что “в большинстве случаев на почвах среднего и тяжелого механического состава, где малая вероятность вымывания питательных веществ, перенесение части даже азотных удобрений, не говоря уже о калийных и фосфорных, из основного удобрения в подкормку сопровождается снижением урожая” [22]. Это утверждение, безусловно, справедливо для фосфорно-калийных удобрений в полеводстве, для азотных – в засушливой зоне. В многочисленных опытах Всероссийского общества сахарозаводчиков внесение селитры по всходам было менее эффективным (удобрения оставались в пересыхающем верхнем слое), чем при предпосевном внесении [23]. Эффективность внесения азота по всходам (подкормки) может быть слабой на плодородных пойменных почвах за счет подъема нитратов из нижних горизонтов восходящим то-

Таблица 6. Влияние доз, времени внесения азотных удобрений на продуктивность ячменя (1984 г.) и яровой пшеницы (1996–1997 гг.)

Вариант	Ячмень		Пшеница	
	т/га	1	т/га	2
Контроль – фон РК	2.44	70	3.97	93.7
Фон + N60 до посева	2.98	64	4.82	85.9
Фон + N60 по всходам	2.96	69	5.24	88.1
Фон + N30 по всходам	3.03	75	4.99	87.0
<i>HCP</i> ₀₅	0.45		0.31	

Примечание. В графе 1 – полевая всхожесть, %; 2 – число сохранившихся к уборке растений, %.

ком влаги в засушливых условиях. Локальные исследования показали, что на суглинистых автоморфных почвах в ВКЗП до 70% атмосферных осадков на чистых парах и 30–35% под растительностью просачивается ниже 0–60 см. Соответственно, 60–80% выноса нитратного азота приходится на весенне-летний период [24]. Вероятность засушливой погоды в отдельные периоды (декады) не отвергается, однако гигроскопическая точка азотных удобрений достаточно низка – ≈60%. Исследования [15] показали высокую эффективность внесения азотного удобрения по всходам зерновых культур (табл. 6).

При использовании азотных удобрений по системе САУ повышается коэффициент использования азота удобрения до 95%, вследствие чего возможно уменьшение дозы азота на 40–50%; исключается контакт части высеванных семян с удобрениями с потерей их всхожести, поэтому возможно уменьшение нормы высева семян на 10–15%; прибавка урожая зерна обеспечивается за счет повышения числа продуктивных стеблей, числа и массы зерен с одного колоса; – улучшаются некоторые показатели качества зерна (содержание в зерне сырого протеина, клейковины), элементный состав продукции; резко возрастает окупаемость единицы азота удобрения урожаями: до 16 кг зерна на 1 кг д.в. элемента в удобрениях (реальные величины этого показателя в рассматриваемой земледельческой провинции – не более 3.0–3.5).

Экологическое значение САУ: уменьшается выделение в атмосферу газообразных соединений азота из удобрений, разрушающих озоновый слой, устраняется загрязнение нитратами инфильтрационных и грунтовых вод.

В целом условия эффективного применения азотных удобрений на почвах разных агрогрупп можно предоставить в виде схемы:

1-я агрогруппа	2-я агрогруппа	3-я агрогруппа
Условия применения азотных удобрений		
Только на фоне извести, калийных (и фосфорных) туков	Для оптимизации соотношения NPK в соответствии с биологическими особенностями минерального питания культуры	
Повышения эффективности – применение по системе САУ		

Необходимо внести коррективы в методику расчета доз фосфорных удобрений с учетом фосфатного пула всего почвенного профиля (не только Апах). Можно считать установленными: возможность глубокого проникновения корней в почву [26], однако вызывает озабоченность отсутствие учета и контроля уплотняющего почву действия ходовых органов тракторов и сельскохозяйственных машин, особенно завозимых в страну из-за границы; способность части корневой системы обеспечить потребность всего растения элементом питания из очагов его концентрации [27]; доступность элементов питания подпахотных горизонтов растениям [15].

В условиях полевых опытов основная прибавка урожая зерна на почвах, где достаточно фосфора в подгумусных горизонтах профиля, обеспечивалась азотными удобрениями (табл. 4). Обосновано можно предполагать, что растения потребляют фосфор из всей корнеобитаемой толщи профиля. Следовательно, необходимо внести коррективы в методику расчета доз фосфорных удобрений. Например, по данным табл. 1, содержание усвояемого фосфора в почвах 2-й агрогруппы в среднем составляет 304 кг/га в Апах, а в слое 0–60 см, где происходит активный влагооборот и поглощение элементов питания [28], почти в 4 раза больше – 1200 кг/га (табл. 7)

Необходимо обосновать особенности применения в качестве источника фосфора фосфоритной муки. Наиболее эффективный способ ис-

пользования фосфоритной муки – компостирование с органическими субстратами (навозом, торфом, соломой, опилками и др.), т.к. в любом органическом источнике удобрений (как и в растительных кормах) относительное содержание фосфора низкое. Фосфоритную муку на почвах 1-й агрогруппы можно применять только после известкования (возможно образование $AlPO_4$), на почвах 2-й агрогруппы – до известкования (чтобы сохранить кислую среду), на почвах 2-й и 3-й агрогрупп – с учетом запасов элемента в подгумусных горизонтах почвенного профиля. В целом применение фосфорных удобрений показано в следующей схеме:

1-я агрогруппа	2-я агрогруппа	3-я агрогруппа
Условия применения фосфорных удобрений		
Фосфоритная мука		
На фоне извести	До известкования	Нет эффекта
На всех почвах – в составе компостов		
Растворимые фосфорные удобрения		
Припосевное удобрение (для всех культур и на всех почвах)		
В качестве основного	После известкования	С учетом фосфатного пула в профиле
На всех почвах – в составе компостов		
Повышение эффективности – доведение содержания усвояемого фосфора до 150 мг/кг почвы в полевых, до 250 – в овощных и кормовых севооборотах, на плантациях картофеля, плодово-ягодных насаждений		

Во всех учебниках решающая роль в окультуривании кислых почв отводится известкованию. Вероятно, на кислых почвах с высоким содержанием подвижного алюминия этого не достаточно. Известкование без калийных удобрений, например, в экспериментах автора сопровождалось повышением урожая сухого вещества отзывчивой на известкование культуры (клевера) на 360%, в сочетании с калием – на 2500%.

Установлена исключительная роль калия и извести на почвах 1-й агрогруппы в проявлении про-

Таблица 7. Содержание усвояемых форм фосфора в профиле почвы 2-й агрогруппы

Показатель (средние данные)	Генетические горизонты			
	Апах	В1	В2	С
Глубина, см	0–22	23–31	32–87	88–105
P_2O_5 , мг/кг	92	125	168	188
P_2O_5 , кг/га	в горизонте	162	731 (в слое 32–60 см)	
	в слое 0–60 см	1200		

Примечание. Масса почвы Апах (0–20 см) – 3000 т/га, слоя 1 см – 150 т.

дуктивного потенциала азотно-фосфорных удобрений: только на фоне калия и извести они проявляют свой урожайный потенциал на всех культурах полевого севооборота. Условия эффективного использования калийных удобрений на почвах выделенных агрогрупп имеют следующий вид:

1-я агрогруппа	2-я агрогруппа	3-я агрогруппа
Условия применения калийных удобрений		
На фоне извести в сочетании с NP	При низком содержании в почве; под картофель, кормовые, овощные и плодово-ягодные культуры	
Повышение эффективности – доведение содержания обменного калия до 150 мг/кг почвы в полевых, до 250 – в овощных и кормовых севооборотах, на плантациях картофеля, плодово-ягодных насаждений		

Теоретически обоснована и проверена на практике необходимость и возможность доведения содержания фосфора и калия до уровня 150 мг/кг в полевых севооборотах, до 250 мг/кг – на плантациях плодовоовощных, картофеля, кормовых культур, т.е. внесение “в запас” (табл. 8).

При внесении удобрений “в запас” за счет уменьшения затрат на внесение удобрений достигается экономический эффект, поскольку потери фосфора и калия из почвы и удобрений незначительны [15], допустимо некоторое уменьшение доз удобрений.

При освоении рекомендуемой стратегии работы с агрохимикатами в земледелии только Кировской обл. возможен экономический эффект в следующих масштабах.

Известкование. В Кировской обл. площадь кислых почв, где известкование не обеспечивает агрономического (тем более – экономического) эффекта, может составить >500 тыс. га. Их исключение из категории требующих известкования может уменьшить затраты до 50 млн руб.

Азотные удобрения. При использовании азотных удобрений по системе САУ возможна экономия семян и удобрений в посевах зерновых, картофеля, кормовых культур (примерно на 400 тыс. га) на сумму не менее 60 млн руб.

Фосфатный потенциал почв. Примерно на 400–500 тыс. га при низком содержании в пахотном слое установлена высокая концентрация фосфора в подгумусных горизонтах почвенного профиля. На этих почвах (временно) можно ограничиться использованием припосевного фосфорного удобрения, т.е. потребуется меньше удобрений примерно на 50 млн руб.

При устранении нарушения оптимального соотношения NPK на почвах 1-й агрогруппы

Таблица 8. Периодичность внесения РК-удобрений и продуктивность звена севооборота [15]

Культура	Без NPK	NPK ежегодно	PK в запас + N ежегодно
Озимая рожь	2.70	2.85	3.98
Ячмень	2.66	4.28	4.31
Клевер	7.02	4.58	4.68
Озимая рожь	2.57	3.30	3.39
Ячмень	1.63	2.64	2.31

Примечание. Фосфоритная мука и хлористый калий в запас внесены под парозанимающую культуру. Доза РК-удобрений за ротацию звена севооборота – по 410 кг д.в./га. Содержание P₂O₅ и K₂O (мг/кг) в исходной почве – 98.0 и 110, в конце опыта – 199 и 180 соответственно.

(использование азотно-фосфорных удобрений только на фоне калия и извести) возможен прирост урожая зерна на 1.5–2.0 т/га (или другой эквивалентной продукции) на сумму не менее 75–100 млн руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, грамотно используя потенциал плодородия почв, без дополнительных затрат земледелие Кировской обл. может повысить продуктивность полей до уровня 2.0–2.5 т зерна/га (это реально: в пяти ОПХ НИИСХ СВ в 1980-е гг. на площади ≈25 тыс. га получали >3.5 т зерна/га) с экономической эффективностью более 250 млн руб. в год. Для этого требуется, используя результаты почвенных обследований землепользователей, выделить площади агрогрупп пахотных угодий согласно предлагаемой концепции, уточнить площади пашни с высоким содержанием фосфора в иллювиальных горизонтах почвенного профиля, разработать методики расчета доз фосфорных удобрений с учетом запасов элемента в корнеобитаемой толще [17].

В развитых странах мира свойства ПП контролируют по 20–25 показателям (в нашей стране – только по 5-ти показателям Апах). Считается, что на хорошей почве не может быть продукции плохого качества, поэтому меньше всего занимаются анализом кормов. Мы же определяем класс заготовленного сена, силоса, даже соломы. Пока анализируем, корма скормлены или сгнили, если даже они самого худшего качества у фермера нет возможности найти замену. Необходима корректировка программы работ всех служб, занятых в этой сфере.

Разработки, приведенные в рамках данной темы, являются теоретической базой создания адаптивных, ресурсо- и энергосберегающих, эко-

логически безопасных систем земледелия на локальном уровне. Теоретические положения (некоторые из них имеют патентную защиту [29, 30]) и практические рекомендации должны найти отражение в программах, учебно-методических пособиях для сельскохозяйственных учебных заведений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прянишников Д.Н.* Травополье и агрохимия // Химизация соц. земледелия. 1937. № 9. С. 11.
2. Природно-сельскохозяйственное районирование. М.: Почв. ин-т АН СССР им. В.В. Докучаева, 1983. 350 с.
3. Методика комплексной агрономической характеристики почв / Под. ред. Шишова Л.Л., Карманова И.И. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1985. 74 с.
4. *Гаврилов К.А., Карпинский Н.П.* Агрохимическая характеристика почв СССР. Центральные области Нечерноземной зоны РСФСР. М.: Наука, 1972. С. 5–156.
5. *Кортаев Н.Я.* Почвы Пермской области. Пермь, 1962. 278 с.
6. *Тюлин В.В.* Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, 1976. 283 с.
7. *Розанов Б.Г.* Расширенное воспроизводство почвенного плодородия (некоторые теоретические аспекты) // Почвоведение. 1987. № 2. С. 5–15.
8. *Соколов А.В.* О применении минеральных удобрений в Нечерноземной зоне РСФСР // Агрохимия. 1974. № 8. С. 3–6.
9. *Юлушев И.Г.* Почвенно-агрохимические основы адаптивно-ландшафтной организации систем земледелия ВКЗП. М.: Академ. проект, 2005. 366 с.
10. *Юлушев И.Г.* Прогнозирование эффективности известкования и применения фосфорных удобрений с учетом строения и свойств профиля дерново-подзолистых почв северо-востока Нечерноземной зоны РСФСР: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Л.–Пушкин, 1989. 37 с.
11. *Прянишников Д.Н.* Растения полевой культуры. 7-е, перераб. изд. М.–Л.: Новая деревня, 1929. С. 9.
12. *Ковда В.А.* Научные основы мелиорации почв. М.: Наука, 1967. 350 с.
13. *Копысов И.Я.* Изменение качества почв Северо-Востока Нечерноземья под влиянием антропогенного воздействия. Киров, 2002. 239 с.
14. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 277 с.
15. *Юлушев И.Г.* Агрохимия Вятско-Камской земледельческой провинции. Киров, 2014. 154 с.
16. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 416 с.
17. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
18. *Прокошев В.Н.* Повышение плодородия песчаных и супесчаных почв дерново-подзолистого типа. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 342 с.
19. *Авдонин Н.С.* Алюминий в дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 1971. № 7. С. 94–103.
20. *Юлушев И.Г.* Рекомендации по использованию карбоната кальция химического синтеза в системе удобрения севооборота. Киров, 1987. 50 с.
21. *Смирнов П.М., Муравин Э.А.* Агрохимия (учебник). М.: Колос, 1984. С. 91.
22. Агрохимия / Под ред. Ягодина Б.А. М.: Агропромиздат, 1989. С. 95.
23. *Найдин П.Г.* Географические закономерности эффективности минеральных удобрений в СССР // Агрохимия. 1967. № 1. С. 3–12.
24. *Юлушев И.Г.* Лизиметрические исследования НИИСХ северо-востока // Лизиметрические исследования в России. М., 2004. С. 148–158.
25. *Burns I.G.* Influence of the spatial distribution of nitrate on the N by plants: A review and a model for rooting depth // J. Soil Sci. Oxford, 1980. V. 34. № 1. P. 13–17.
26. *Станков Н.З., Ладонина Т.П., Ахмадеева А.К., Осинова Е.В.* Распределение в почве корней и удобрений // Химия в сел. хоз-ве. 1974. № 5. С. 20–22.
27. *Сабинин Д.А.* О значении корневой системы в жизнедеятельности растений // IX Тимирязевские чтения. М.: Изд. АН СССР, 1949. 35 с.
28. *Тюлин В.В., Кузнецов Н.К.* Севообороты, мелиорация, обработка и удобрение почв в условиях северо-востока Нечерноземной зоны РСФСР // Тр. Киров. СХИ. Пермь, 1974. С. 62–68.
29. *Юлушев И.Г.* Способ трехъярусной обработки почвы и орудие для его осуществления // Пат. СССР № 1436291. 1987. Бюл. № 3.
30. *Юлушев И.Г.* Способ прогнозирования необходимости химической мелиорации кислых почв // Пат. СССР № 1511267. 1989. Бюл. № 36.

Methods of Improving Soil Fertility in the Vyatka-Kama Agricultural Province

I. G. Yulushev

*Vyatka State Agricultural Academy
Oktyabrsky prosp. 133, Kirov 610017, Russia*

E-mail: igyulushev@yandex.ru

The ways of realizing the productive potential of soils, fertilizers and lime are discussed on the basis of the agro-grouping concept of arable lands and taking into account the properties of the genetic horizons of the sod-podzolic soils of the Vyatka-Kama agricultural province.

Keywords: soil fertility, Vyatka-Kama agricultural province.