

СИСТЕМА «ПОЧВА-УДОБРЕНИЯ-ПОГОДА-УРОЖАЙ» ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ЕТР

В.А. Романенков, М.П. Листова, М.В. Беличенко, О.В. Рухович, кандидаты биол. наук, ВНИИА

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 07-05-13600-офи_ц

Резюме. Созданы систематизированные электронные базы данных многолетних наблюдений в длительных и краткосрочных полевых опытах Геосети по озимой пшенице для дерново-подзолистых почв ЕТР и СНГ, а также для ЦОС ВНИИА с системой группировки для всех факторов её возделывания.

Многофакторные системы «почва-удобрения-погода-урожай» во многом остаются слабо изученными как, в силу сложности взаимодействия между показателями, так и протекающих процессов в агроэкосистеме. Решение данной задачи является важнейшим условием рационального использования земельных ресурсов, устойчивого высокопродуктивного земледелия, а также своевременной

разработки адаптационных стратегий развития сельского хозяйства с учетом изменения климата. Систематизация результатов опытов Геосети должна учитывать зависимость действия удобрений от почвенного плодородия, предшественника, агротехнических приемов и погодных условий.

Большая часть применяемых методов обработки данных не позволяет обеспечить соблюдение принципа единственного различия при изменяющихся показателях плодородия почв и погоды [3]. Необходимость в практическом использовании результатов опытов Геосети для оптимизации применения агрохимических средств с учетом специфики хозяйства и поля потребовала перехода от анализа выборок больших

объемов к применению математического моделирования. Использование динамического моделирования по данным полевых опытов сталкивается, как правило, с проблемой недостатка входных данных, а также отсутствия моделей, описывающих влияние не только отдельных факторов продуктивности, а всего комплекса показателей, лимитирующих развитие растений [11]. Для решения практических задач оценки эффективности удобрений наибольшее развитие получили исследования, основанные главным образом на моделях множественной регрессии [4, 10, 13, 16].

Развитие моделирования дало возможность изучать закономерности действия удобрений с помощью численных экспериментов. Это решало проблему репрезентативности малых выборок при одновременном изучении большого количества факторов. На основе моделирования проводился детальный анализ роли почвенных, погодных и агротехнических факторов с учетом видовой специфики зерновых и пропашных культур [2, 4-8, 12, 14, 15 и др.]. Среди показателей, определяющих эффективность минеральных удобрений, в различных погодных условиях для разных культур и зон значимыми являлись осадки, температура воздуха [1], ГТК определенных месяцев года, сумма положительных температур, влажность почвы, коэффициент континентальности климата, коэффициент засушливости Бове и другие.

Методика. Для создания математической модели продуктивности агроэкосистем собраны несколько массивов экспериментальных данных полевых опытов, проведенных в Нечерноземной зоне учреждениями Геосети и на ЦОС ВНИИА. Каждый из блоков системы «почва-удобрения-погода-урожай» представлен набором соответствующих показателей.

Наблюдения включают данные о месте проведения опыта, культуре и сорте, предшественнике. Отобраны варианты опытов по применению только минеральных удобрений. В блоке «почва» учитывается гранулометрический состав по содержанию физической глины и агрохимические показатели, контролируемые Агрохимслужбой (табл.). Блок «погода» представлен декадными значениями температуры и осадков от посева до уборки культуры. Из описаний отклика массив включает урожай зерна и величины прибавок урожая по разным вариантам внесения удобрений. Исходная информация дает возможность расширения массивов за счет показателей качества продукции. В данной статье приводим данные по озимой пшенице.

Диапазоны изменения основных показателей в созданных массивах экспериментальных данных									
Куль тура	Выбо рка данн ых	Гумус, %	рН	Р ₂ O ₅ К ₂ O		Урожай, ц/га			
				мг/кг		б/у	РК	НРК	Прибавк а от ц/га
Озим ая	НЧЗ	1,25-2,9	4,03-6,9	19-360	44-355	5,7-40,3	8,3-43,3	12,1-56,6	-3,4-24,1
пшеница	ЦОС	1,14-1,94	4,1-6,6	11-166	79-318	3,1-38,9	17,7-36,5	9,0-52,8	-2,0-24,9

Диапазон варьирования факторов по блокам «почва-удобрения-погода-урожай» в подготовленных выборках позволяет уверенно использовать полученную информацию как для экстенсивных технологий земледелия с низкими дозами минеральных удобрений, мелиорантов и соответствующей структурой севооборотов, так и для интенсивных приемов возделывания сельскохозяйственных культур, возможных при увеличении финансовых вложений в земледелие. Востребованность моделей велика в прогнозных расчетах для обоснованного выбора адаптационных мер в растениеводстве, связанных с процессами глобального изменения климата. Их цель определение таких доз минеральных удобрений, которые обеспечивают экономически оправданный прирост урожая при различных

типах реализации погоды и сохранение почвенного плодородия.

Массив данных по озимой пшенице в Нечерноземной зоне включает 606 строк, содержит данные 20 лет наблюдений по опытам России, Беларуси и Украины, с варьированием доз НРК в диапазоне 0-320, 0-290, 0-240 кг/га, соответственно. Массив данных ЦОС по озимой пшенице включает 380 строк, содержит данные 32 лет наблюдений, с варьированием доз НРК в диапазоне 0-240, 0-180, 0-260 кг/га, соответственно.

Результаты. На первом этапе работ детально рассмотрена зависимость урожая озимой пшеницы на тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почвах ЦОС ВНИИА для дальнейшей идентификации параметров модели различных уровней продуктивности зерновых культур. Выборки сформированы на основе соответствующей методики [9].

Анализ выборки для озимой пшеницы в целом по Нечерноземной зоне и по Центральной и Смоленской ОС показывает, что с ростом окультуренности почвы происходит дополнительный прирост урожайности (рис.1) В качестве критерия окультуренности дерново-подзолистых почв использовано рекомендованное в указанной выше методике содержание в пахотном слое подвижного фосфора, имеющего наиболее тесную корреляцию с урожаем озимой пшеницы среди всех агрохимических показателей. Ранее было показано [17], что на дерново-подзолистых почвах с ростом содержания подвижного фосфора возрастает стабильность урожаев, что, подтверждает полученная нами для среднесуточных данных зависимость (рис.1).

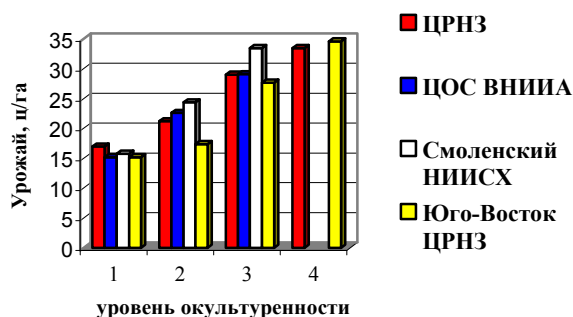


Рис. 1. Зависимость урожая озимой пшеницы от содержания подвижного фосфора в почвах Нечерноземной зоны для вариантов абсолютного контроля (уровень окультуренности оценен по содержанию подвижного фосфора, мг/кг: 1 – <50, 2 – 50-100, 3 – 100-150, 4 – >150)

Обеспеченность дерново-подзолистых почв фосфором оказывает влияние на эффективность не только фосфорных, но и азотных удобрений. В стационарном полевом опыте ЦОС ВНИИА показано, что при изменении содержания подвижного фосфора в тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве с 15 до 150 мг/кг почвы и соответствующем увеличении степени подвижности фосфатов продуктивность севооборота при средних дозах N₁₂₀P₆₀K₆₀ увеличилась почти вдвое с 24,9 до 44,0 ц/га [19].

Вместе с тем, окупаемость возрастающих доз азотных удобрений под озимую пшеницу сначала возрастает, а затем снижается, при области оптимума около N₆₀ (рис.2), что совпадает с результатами Раньковой и др. [13].

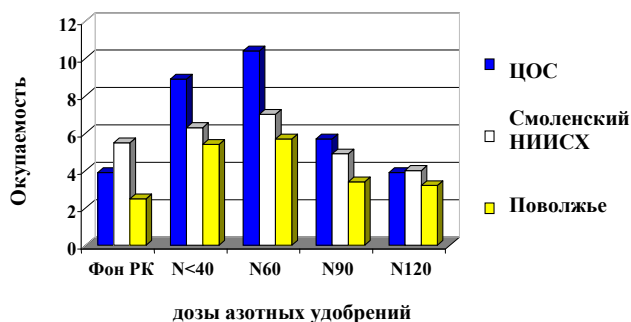


Рис. 2. Оплата 1 кг NPK кг урожая озимой пшеницы в различных районах Нечерноземной зоны

Существование оптимума устойчиво обнаруживается для различных опытов, при этом наименьшая окупаемость наблюдается для юго-восточной, наиболее континентальной части Нечерноземной зоны. Это соответствует данным Федосеева [18], установившего, что в пределах Европейской территории России (ЕТР) эффективность удобрений падает с северо-запада на юго-восток с ростом засушливости климата: например, для озимых зерновых прибавка урожая для доз $N_{40-60}P_{40-60}K_{40-60}$ снижается с 8 до 2 ц/га. Большая степень окультуренности (за счет известкования в дозах $CaCO_3$ по 0,75 г.к. и запасного внесения фосфатов в дозах до 1200 кг/га в севообороте за 6 лет) почв ЦОС по сравнению с почвами Смоленского НИИСХ объясняет максимальную окупаемость для почв ЦОС. При более детальном анализе выборки по ЦОС ВНИИА найдено, что при низкой обеспеченности подвижным фосфором эффективность средних доз N — удобрений (60-90 кг/га) подвержена значительным колебаниям, обусловленным зависимостью от погодных условий (рис.3).

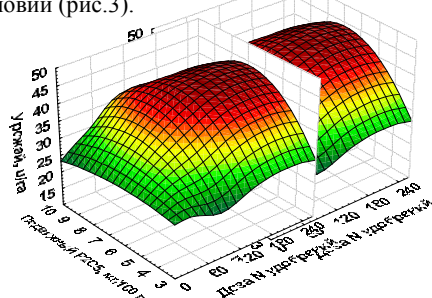


Рис. 3. Влияние окультуренности почвы на эффективность доз азотных удобрений под озимую пшеницу на примере ЦОС ВНИИА

При средней обеспеченности подвижным фосфором наибольшие прибавки урожая озимой пшеницы достигаются при использовании доз N_{60-90} , позволяя в особо благоприятные годы достичь прибавки 20-24 ц зерна/га. При более высоких дозах эффективность N удобрений снижается, особенно заметно для доз $N_{120-150}$, что согласуется с ранее полученными [17] зависимостями при среднем уровне обеспеченности почв подвижным фосфором. При низкой окультуренности почвы рост урожайности остается существенным при дозах $N_{120-150}$, но абсолютная величина прибавки не превышает 10-12 ц /га.

Если представить полученный график в виде трехмерной зависимости окупаемости N-удобрений от доз N и содержания подвижного фосфора, то видно, что для обеспечения окупаемости около 15 кг/кг необходим уровень обеспеченности фосфором не менее 70-80 мг/кг, при дозах N не более 100 кг/га (рис.4). Снижение окупаемости менее выражено при увеличении доз N на слабоокультуренных почвах, но на них не удастся достичь окупаемости более 6 кг/кг.

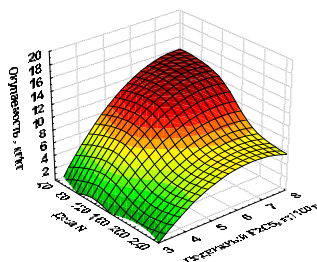


Рис. 4. Изменение окупаемости азотных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от содержания подвижного фосфора и доз азотных удобрений (ЦОС ВНИИА)

Рисунок 5 иллюстрирует обратную зависимость между эффективностью азотных удобрений и их окупаемостью на

различном фосфорно-калийном фоне по среднегодовым данным. Практически линейная зависимость изменения эффективности удобрений при дозах N_{45-120} указывает, что в данном диапазоне доз азот остается основным лимитирующим фактором.

Полученные зависимости могут также быть представлены в виде двухмерного графика, при этом обнаруживается достаточно сильное увеличение неопределенности окупаемости удобрений при дозах N менее 120 кг/га. Например, для дозы N_{40} разброс окупаемости возрастает в 1,7 раз по сравнению с N_{120} (рис. 6).

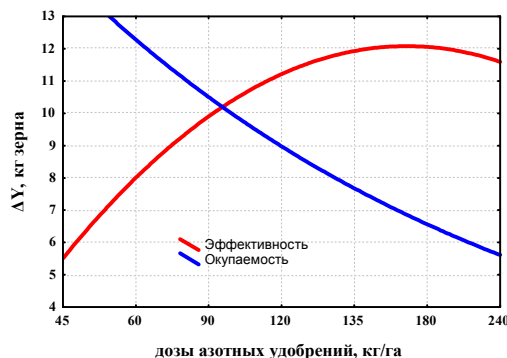


Рис. 5. Взаимосвязь эффективности и окупаемости азотных удобрений под озимую пшеницу на различном фоне РК на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве (ЦОС ВНИИА, 1964-1994 гг.)

Значимым фактором, влияющим на эффективность малых доз азота, являются погодные условия. Рисунок 7 иллюстрирует прирост урожайности при использовании средних доз NPK по сравнению с абсолютным контролем.

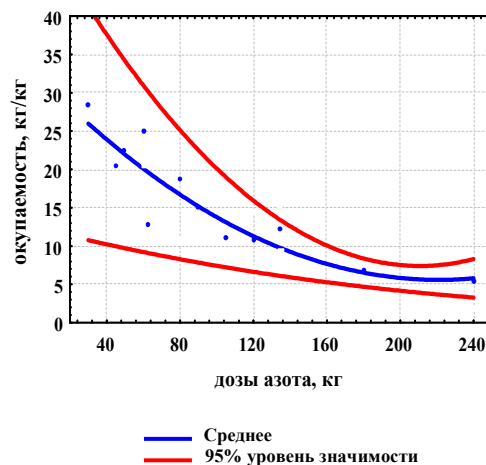


Рис. 6. Снижение окупаемости возрастающих доз азотных удобрений. Выборка ЦОС ВНИИА

Из динамики многолетней урожайности озимой пшеницы видно, что в неблагоприятные годы, когда при внесении удобрений не обеспечивалось увеличение урожайности выше 6-7 ц/га, влияние удобрений оказывалось недостоверным. Напротив, в благоприятные годы, когда урожайность при дозах $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ достигает 35-40 ц/га и выше, эффективность оказывается достаточно высокой и именно в эти годы окупаемость азотных удобрений максимальна.

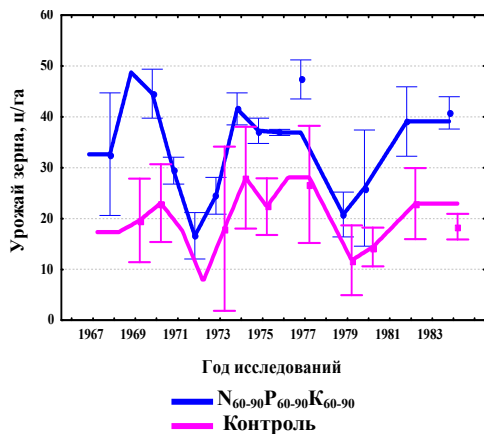


Рис. 7. Динамика урожайности озимой пшеницы на опытах ЦОС ВНИИА. Отрезками обозначен диапазон 95% уровня значимости

Таким образом, база данных ЦОС ВНИИА по озимой пшенице составила основу для оценки влияния содержания подвижного фосфора дерново-подзолистой почвы на урожай. При низкой обеспеченности подвижным фосфором эффективность доз N_{60-90} подвержена значительным колебаниям, обусловленным зависимостью от погодных условий. При средней обеспеченности подвижным фосфором доза N_{60-90} обеспечивала наибольшие прибавки урожая озимой пшеницы. Окупаемость около 15 кг зерна /кг N требует уровня обеспеченности фосфором не менее 70-80 мг/кг, при дозах N, не превышающих 100 кг/га. Значимым фактором, влияющим на эффективность малых доз N, оказываются погодные условия. В благоприятные метеорологические годы, когда урожайность при дозах $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ достигает 35-40 ц/га и выше, окупаемость азотных удобрений максимальна. Обобщение результатов исследований по ЦОС ВНИИА демонстрирует возможность планирования применения удобрений с учетом корректировки нормативной базы для уровня отдельного хозяйства.

Литература

1. Аникст Д.М. О принципах эколого-агрохимического районирования земель сельскохозяйственной территории РСФСР // Агрохимия.

1991. № 6. С.3-8. 2. Богдевич И.М. Модель учета влияния агрохимических свойств почв на урожай озимой ржи / Бюллетень Почвенного института им.В.В.Докучаева. - М., 1985. - Вып. XXXVI. - С.14-15. 3. Заброда О.К., Матухно В.Н., Ранькова Э.Я. Регрессионные модели для оценки урожайности озимой пшеницы по данным о погоде, почве и вносимом удобрении // Труды Института экспериментальной метеорологии. - М.: Гидрометеоиздат, 1976.- Вып.9(68). С.40-56. 4. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. М.: Агропромиздат, 1989. 234 с. 5. Кирикой Я.Т., Листова М.П., Аникст Д.М., Платонова Л.С. Использование системного анализа при изучении географических закономерностей действия удобрений и разработке нормативной базы химизации // Труды ВИАУ, 1989. С.74-82. 6. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: ВО "Агропромиздат", 1990. 220 с. 7. Листова М.П. Экономико-математическая модель оптимизации норм внесения минеральных удобрений на примере озимой пшеницы // Бюллетень ВИАУ.- М., 1988.- Вып.87. С.10-14. 8. Листова М.П. Моделирование агроэкосистем по данным Агрохимслужбы и Геосети // Плодородие. 2007. № 1. С.2-4. 9. Методика разработки нормативов зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от показателей плодородия почв. М.: ВИАУ, 1990. 50 с. 10. Перегудов В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. 184 с. 11. Полуэктов Р.А., Опарина И.В., Семенова Н.Н., Терлеев В.В. Моделирование почвенных процессов в агроэкосистемах: учеб.пособие. СПб. : Изд-во С.-Петерб. гос. ун-та, 2002. 144 с. 12. Прохорова З.А., Фрид А.С. Исследование и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта. М.: Наука, 1993. 189 с. 13. Ранькова Э.Я. Объективная типизация метеорологических условий вегетационного периода озимых культур // Труды Института экспериментальной метеорологии. - М.: Гидрометеоиздат, 1976.- Вып.9(68). С.20-39. 14. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных. М.: Агроконсалт, 2003. 218 с. 15. Стребков И.М. Основные закономерности взаимодействия векторов почвенного плодородия, удобрений и погоды в условиях дерново-подзолистых почв Центрального района НЧЗ РСФСР // Агрохимия. 1989. № 2. С.36-41. 16. Стребков И.М., Кирикой Я.Т. Оптимизация параметров плодородия почв с помощью методов математического моделирования // Сб. науч. тр. Пушкино, 1985. С.135-145. 17. Стребков И.М., Кирикой Я.Т., Халанская Т.П. Методическое руководство по использованию принципов системного анализа в агрохимических исследованиях закономерности действия удобрений. М.: ВИАУ, 1988. 72 с. 18. Федосеев А.П. Агротехника и погода. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 240 с. 19. Эффективное применение удобрений в Нечерноземной зоне. М. Россельхозиздат, 1983. 270с.