



Результаты по рациональному внесению минеральных удобрений в Географической сети России

Vladimir ROMANENKOV

Russian Research Institute on Agrochemistry, Russia



Russian Research Institute on Agrochemistry
Pryanishnikova st., 31a, 127550 Moscow
Russia
Tel: 7 495 9764957 - Fax: 7 495 9763739
E-mail: viua@online.ru

IFA Moscow 2009
Moscow, Russia, 6-9 October 2009

**Результаты по рациональному внесению минеральных удобрений в
Географической сети России**

В.А. Романенков, М.В. Беличенко, О.В. Рухович, М.П.Листова
Всероссийский НИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова

О.Д.Сиротенко, В.Н.Павлова
Всероссийский НИИ сельскохозяйственной метеорологии
249039 Калужская обл., г. Обнинск, пр. Ленина, 82 E-mail: vnp2003@bk.ru
*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 07-05-13600

Изучение географических закономерностей действия удобрений составляет основу научно-методической и организационной деятельности института ВНИИ агрохимии. Необходимым инструментом для выполнения данной задачи является Географическая сеть опытов с удобрениями, созданная по инициативе Д.Н.Прянишникова. Официально опытная агрохимическая сеть начала свое существование с 1941 г. До 1970 г. с использованием её данных был установлен ряд закономерностей зонального действия видов и форм удобрений, определена эффективность средних доз удобрений. Обобщение материалов полевых опытов Географической сети, проведённых по единой программе и методике, позволило создать Всесоюзную картотеку полевых опытов. На основе обобщения этой информации были подготовлены практические рекомендации по определению потребности земледелия страны в удобрениях, распределению их по регионам; целесообразному ассортименту; определена эффективность действия удобрений на урожай основных сельскохозяйственных культур.

Исследование многофакторных систем «Почва-растения-удобрения-агротехника-погода-урожай» во многом остается слабо изученным вопросом, несмотря на длительный опыт и разнообразие методов расчета доз и соотношения удобрений. Задачи оптимизации доз и соотношений минеральных удобрений, несмотря на длительный опыт и обилие расчетных методов, не становятся менее актуальными. Напротив, рост цен на материально-технические ресурсы и, как следствие, повышение себестоимости сельскохозяйственной продукции делают эту проблему ещё более острой. Использование для оптимизации доз метода динамического моделирования 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 (Полуэктов, 2002). В условиях питания растений, отличных от оптимальных, для решения практических задач оценки эффективности удобрений наибольшее развитие получили исследования, основанные главным образом на моделях множественной регрессии (Перегудов, 1978). 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.

Современные расчетные методы оптимизации эффективности удобрений страдают недостатками, обусловленными трудностями трансформации растущего объема знаний в сравнительно простые доступные практикам расчетные схемы. Необходимость учета стохастического характера погодных условий – одна из основных трудностей решения рассматриваемой задачи. В последние десятилетия метеорологический аспект этой проблемы еще более усложнился. Если ранее гипотеза «постоянства» климата принималась без обсуждения, то в 21-м веке любые экологические и экономические прогнозы вряд ли будут признаны корректными без учета изменений климата, связанных с глобальным потеплением. Систематизация опытных данных Географической сети для проведения подобных расчётов в настоящее время учитывает следующие основные закономерности эффективности минеральных удобрений: зависимость их действия от различных параметров почвенного плодородия, разнообразия погодных условий, особенностей предшественника и современных агротехнических приемов.

Практический интерес представляет расчет долевого участия удобрений в формировании урожая - оно составляет для Нечерноземной зоны 30-35%, лесостепной - более 20% и 10-12% в зоне черноземов и каштановых почв. В пределах Европейской территории России эффективность удобрений снижается с северо-запада на юго-восток в 3-5 раз, примерно такое же снижение наблюдается при сравнении отзывчивости культур на внесение удобрений в дерново-подзолистых почвах по сравнению с черноземами и каштановыми (Федосеев, 1979). Долевое участие степени окультуренности оценивается в 20-23% для Нечерноземной зоны и 30-45% для зоны степи и лесостепи. Соответственно, участие погодных условий максимально в сухостепной зоне и снижается в зоне степи и лесостепи- при оптимальном соотношении осадков и испаряемости (Табл.1).

Опыт ведущих зарубежных стран показывает, что в настоящее время распространённым подходом стала оценка уровня реализации биоклиматического потенциала (БКП) при анализе как отдельных элементов технологий сельскохозяйственного производства, так и различных уровней ведения земледелия в целом. Оценка эффективности использования минеральных удобрений в зависимости от БКП показала, что она определяется комплексом факторов, основными из которых являются почвенное плодородие, биологические особенности культур и сортов, агротехнические приемы, способы, сроки и количество вносимых удобрений, а также в значительной степени - погодные условия. Последний фактор определяет 20-60% колебания эффективности удобрений в Нечерноземной зоне и 35-70% - для черноземных почв (Биоклиматический потенциал России..., 2006).

Таблица 1. Долевое участие факторов формирования урожая сельскохозяйственных культур (по Сычеву, 2003).

Зона	Удобрение	Степень окультуренности почвы	Влияние погодных условий
Северотаежная	34.4	21.3	44.3
Среднетаежная	36.7	23.5	39.8
Южнотаежная	30.5	20.1	49.4
Лесостепная	23.3	35.8	40.9
Степная	12.6	44.3	43.1
Сухостепная	10.4	30.5	59.1

Для оценки БКП в настоящей работе использовался метод, базирующийся на имитационной системе КЛИМАТ-ПОЧВА-УРОЖАЙ, разработанный первоначально для прогнозирования урожайности в системе Госкомгидромета. Основу имитационной системы составляют динамические модели ПОГОДА-УРОЖАЙ, позволяющие на основании стандартной метеорологической информации рассчитывать (прогнозировать) динамику биомассы агроценоза с суточным шагом от всходов до созревания урожая. При этом определяются влажность почвы и суточные величины элементов водного и теплового балансов посева. Имитационная система включает базу данных, позволяющую рассчитывать динамику климатообусловленной урожайности год за годом на протяжении 20-го (ретроспективный) и 21-го столетий (прогностический режим). Оценки биоклиматического потенциала, а так же их приращения для ряда областей РФ, а также для Краснодарского края, почвенно-климатические условия которого часто принимаются за эталонные для территории России, представлены в таблице 2. Для сравнения приведем величины БКП в условиях оптимального минерального питания растений для нескольких стран Европы: Франция – 16.5, Германия – 14.5, Швеция – 9.7 т/га. Для России по нашим расчетам отношение средней урожайности к биоклиматическому потенциалу страны в среднем составляет 15 %. Для развитых стран Европы этот показатель равен: для Германии – 44 %, Швеции – 57 %, Финляндии – 36 %. Аналоговый прогноз средней урожайности при условии достижения технологического уровня сельского хозяйства Швеции конца прошлого века для регионов России, представлен в таблице 2. Средняя урожайность пшеницы при оптимизации минерального питания и при достаточном увлажнении почвы должна достигнуть 7.1–7.2 т/га в Московской, Владимирской и Нижегородской областях, 8.5 т/га в Воронежской области и 10.4 т/га в Краснодарском крае. Реальные прибавки, полученные по данным многолетних наблюдений в полевых опытах Геосети в Нечерноземной зоне, составляли в среднем 38-42% от возможного за счёт оптимизации азотного режима питания растений, достигая в Московской области 2.2 т/га, снижаясь до 1.6 т/га на юго-западе Нижегородской области и до 1.4 т/га во Владимирской области.

Таблица 2. Оценки составляющих и возможных приращений биоклиматического потенциала за счет оптимизации водного режима и минерального питания

Регион	Оценки БКП, т/га·год				Приращения БКП, т/га		
	БКП ₀	БКП _W	БКП _N	БКП _{WN}	Δ _W	Δ _N	Δ _{WN}
Московская область	5,2	5,6	12,6	12,6	0,4	7,4	7,4
Владимирская область	6,0	6,9	12,3	12,5	0,9	6,3	6,5
Нижегородская область	5,0	5,8	12,3	12,7	0,8	7,3	7,7
Воронежская область	7,0	10,9	11,7	14,9	3,9	4,7	7,9
Краснодарский край	10,1	15,9	11,9	18,3	5,8	1,8	8,2

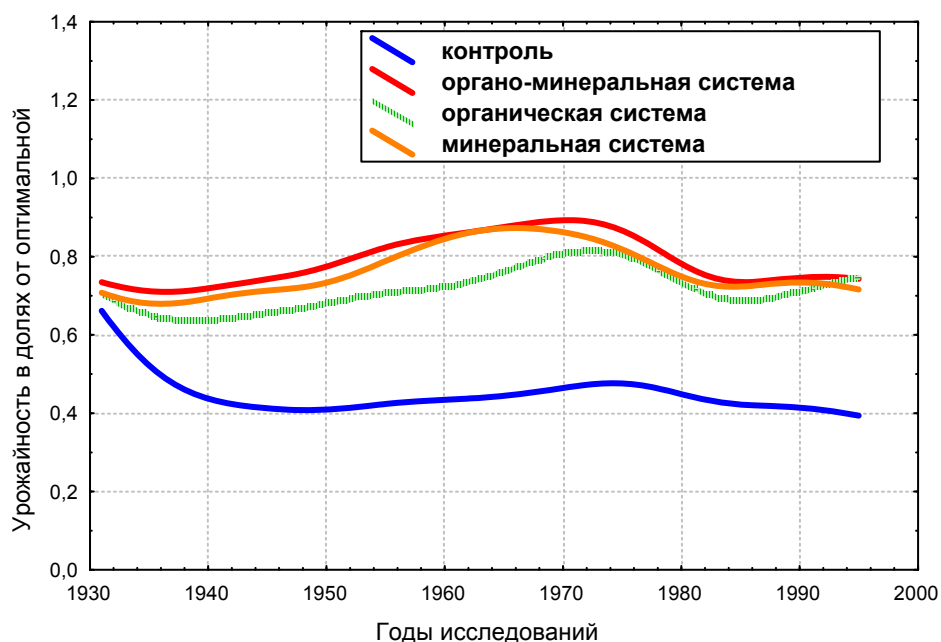
БКП₀ соответствует малозатратной системе земледелия, БКП_W - малозатратной с орошением, БКП_N - интенсивной на базе химизации, БКП_{WN} - интенсивной на базе химизации и орошения. $\Delta_W = \text{БКП}_{W} - \text{БКП}_0$ – приращение за счет оптимизации водного режима, $\Delta_N = \text{БКП}_N - \text{БКП}_0$ – приращение за счет оптимизации минерального питания, $\Delta_{WN} = \text{БКП}_{WN} - \text{БКП}_0$ – приращение за счет оптимизации водного режима и минерального питания в комплексе.

По нашим данным, наблюдаемые с середины 1970-х годов изменения климатических условий по большинству показателей были благоприятны для земледельческих регионов России, обеспечивающих производство порядка 85% товарного зерна, хотя их потенциальные положительные эффекты не использовались. Положительные тренды урожайности за 1975–2005 гг. для 70% субъектов Российской Федерации, несмотря на провалы, связанные с перестройкой ее экономики, подтверждают или, по крайней мере, не противоречат этому заключению.

Объединение многолетних агроклиматических данных и уравнений регрессии, описывающих эффективность применения минеральных удобрений, позволило провести ретроспективный анализ изменения средней эффективности применения азотных удобрений для зерновых культур за период с 1975 по 2004 г. за счет наблюдаемых изменений климата, базирующиеся на учете гидрометеорологических и почвенных показателей. Расчеты выполнены с использованием информации, входящей в состав базы данных по 455 гидрометеорологическим станциям на территории СНГ. Эффективность удобрений для большинства важных в сельскохозяйственном отношении регионов нашей страны за последние 30 лет возросла или сохранилась на прежнем уровне, потенциальный выигрыш при этом составил от 0.5 до 3 ц/га. Этот вывод относится, прежде всего, к территории Северо-Кавказского, Поволжского и Уральского экономических районов. Вместе с тем, как результат увеличения засушливости климата в отдельных районах Сибири (Алтайский край, Забайкалье), а также на Дальнем Востоке и в некоторых районах Нечерноземья (Смоленская, Тверская, Ярославская, Вологодская, Новгородская) потенциальная эффективность удобрений снизилась на 0.5 -2 ц/га.

Для нескольких длительных опытов Геосети сопоставлены полученные с помощью имитационной системы КЛИМАТ-ПОЧВА-УРОЖАЙ величины урожайности, достигаемой при оптимальном азотном питании и реально наблюдаемой в различных вариантах с отсутствием внесения удобрений, средних дозах минеральных удобрений, эквивалентного внесения органических удобрений, внесения удобрений совместно с химическими средствами защиты. Установлено, что при естественном плодородии почвы (без внесения удобрений) потенциал продуктивности реализуется на 40-50% от оптимального азотного питания. Для варианта с внесением органических удобрений он был выше на 10-15%. Органо-минеральный и минеральный (эквивалентные по дозам NPK) варианты оказались близкими в реализации потенциала продуктивности яровых зерновых культур, составлявшего в среднем 80-85% от оптимального. (Рисунок 1). Таким образом, органо-минеральная система удобрений позволяет поддерживать в течение длительного времени потенциал продуктивности, равный эквивалентному количеству вносимых минеральных удобрений. Внесение гербицидов на этом фоне позволило достичь в тот же период величины оптимальной продуктивности. Исключение конкуренции за минеральное питание с сорняками позволило достичь устойчивого увеличения продуктивности, а использование на этом фоне дополнительных средств защиты давало нестабильный эффект. Достижение нового уровня плодородия при оптимизации минерального питания растений в Нечерноземной зоне требует не менее 10-20 лет.

Рисунок 1. Динамика реализации потенциала продуктивности яровых зерновых культур при внесении органических и минеральных удобрений. Московская область, опыт ДАОС с чистым паром, овес.



С повышением культуры земледелия и ростом окультуренности почв относительный вклад погодных условий в изменчивость урожайности зерновых культур в Нечерноземной зоне практически не снижается. Мы проанализировали возможность ведения прибыльного земледелия при возделывании озимой пшеницы в условиях Московской области на основе управления дозами минеральных удобрений с учётом их окупаемости при изменении погодных условий и плодородия почвы, сортовой специфики, а также цен на удобрения. Для построения различных сценариев использованы функции урожайности, окупаемости удобрений и прибыли от продаж зерна, рассчитанные на основе моделей продуктивности с учётом почвенных показателей, доз удобрений, температуры и осадков вегетационного периода, а также взаимодействия перечисленных выше показателей. В качестве критерия прибыльности использован стандартный условный показатель – валовая прибыль от продажи зерна за вычетом цен на азотные удобрения (the gross return over fertilizer cost, GRF), без учёта затрат на внесение удобрений и уборку дополнительно полученной продукции. Реальный доход будет, естественно, ниже, чем использованный в расчётах, тем не менее, он является важным сравнительным показателем, позволяющим сравнивать экономическую эффективность предлагаемых агротехнических мер.

Результаты расчётов представлены в таблице 3. Как видно из таблицы, при расчёте оптимальной дозы удобрений, исходя из среднесноголетних погодных условий, доза N, обеспечивающая максимальную прибыль, составляет 100-140 кг/га. В ценах 2007 г. она обеспечивала получение 2.8 т/га зерна на хорошо окультуренных почвах и 2.1 т/га на почвах с низким плодородием. Окупаемость при этом не превышала 10 кг зерна/кг удобрений. За счет роста плодородия доза N может быть сокращена на 10 кг/га. Применение новых сортов пшеницы на высоком агротехническом фоне позволяет повысить окупаемость удобрений до 15 кг/кг, но требует увеличения дозы N до 100 кг/га, урожай возрастает до 3.2 т/га (или 57% от максимального). Валовая прибыль при повышении окультуренности почвы возрастала на 80 долл./га, а при применении новых сортов – ещё на 30 долл./га.

Ценовая ситуация 2009 г., гораздо более благоприятная для сельхозпроизводителей по соотношению цена зерна/цена удобрений, позволяет увеличить оптимальную дозу до 140 кг/га, при этом заметен выигрыш в окупаемости на окультуренных почвах, которая возрастает с 8 до 13 кг/кг. Урожай при оптимальной дозе удобрения возрастает до 3.1 т/га, приближаясь к максимальному. Введение новых сортов позволяет снизить оптимальную дозу N до 110 кг/га с одновременным увеличением окупаемости до 14 кг/кг. При этом достигается урожайность 3.2 т/га. Экономическая эффективность мероприятий по повышению плодородия в ценах 2009 г. может оцениваться как 110 долл./га, применение новых сортов увеличивает ее до 40 долл./га.

Учёт реальных погодных условий позволяет в значительной степени скорректировать оптимальную дозу применяемых удобрений. Так, при ценах 2009 г. оптимальная доза N может быть увеличена до 210 кг/га, обеспечивая получение 4.9 т/га зерна при окупаемости 10 кг/кг, при этом валовая прибыль составит более 250 долл./га по сравнению со среднемноголетними условиями. В ценах 2007 г. оптимальная доза N составит 150 кг/га, при окупаемости 13 кг/кг, обеспечивая урожай 4.6 т/га (или 90% от оптимального). В неблагоприятный год оптимальная доза снижается до 100 кг/га при ценах 2009 г. и 40 кг/га при ценах 2009 г. как для окультуренных, так и слабо окультуренных почв. При этом обеспечивается урожайность 1.2-2.3 т/га (80-85% от оптимального при ценах 2007 г.) при окупаемости, соответственно, 6 и 9 кг/кг. Потери в прибыли по сравнению со среднемноголетним годом составят 65-110 долл./га. Как видно из данного примера, ценовая ситуация в значительной степени влияет на оптимальную дозу N удобрений и должна обязательно корректироваться с учётом складывающихся погодных условий, что позволит избежать применения излишка удобрений. Каким образом может производиться такая корректировка?

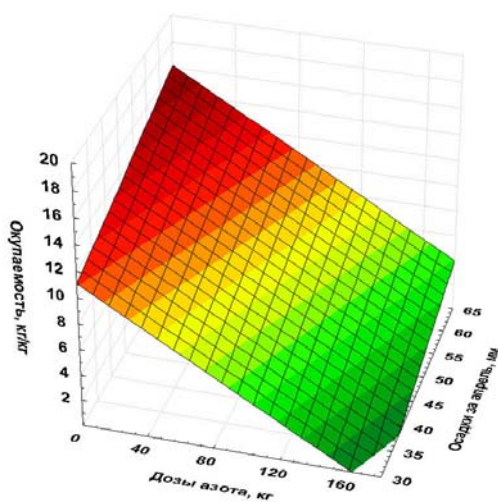
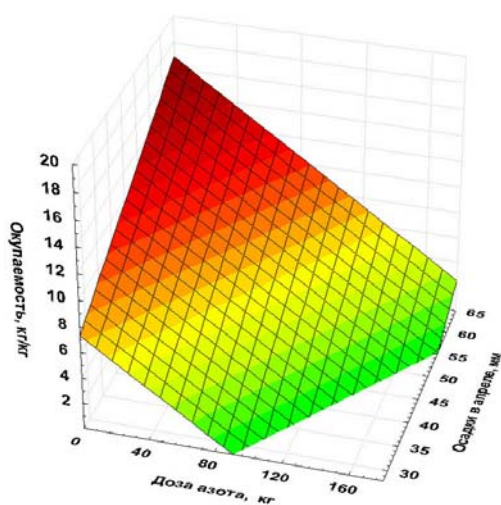
В результате проведённых исследований установлено, что возможность устойчивого управления прибавками урожая и окупаемостью удобрений реализуются для зерновых культур на территории Нечернозёмной зоны в диапазоне доз азотных удобрений 60-90 кг/га, при этом варьирование, связанное с изменением окультуренности почвы, сопоставимо с влиянием погодных условий. Оптимальная доза удобрений возрастает до 120-180 кг/га в годы с благоприятными климатическими условиями, и её ежегодная корректировка требует обязательного учёта степени окультуренности почв. При использовании доз менее 60 кг/га погодные условия способны увеличивать неопределённость эффективности удобрений, повышая риск корректной оценки окупаемости более чем вдвое.

Оптимальная доза азотных удобрений может быть рассчитана, исходя из набора факторов, определяющих взаимодействие внесённых доз с количеством осадков в период возобновления вегетации озимой пшеницы и начала вегетации ярового ячменя. Максимум приращения урожайности на единицу действующего вещества азотных удобрений для озимой пшеницы пропорционален сумме апрельских осадкам, которые определяют условия увлажнения после возобновления вегетации, способствуют повышению окупаемости удобрений прибавкой урожая озимых на 0,6-1,5 кг зерна/кг азота на каждые 10 мм осадков (Рисунок 2). Для ярового ячменя прибавка составляет 0,5-0,9 кг зерна/кг азота на каждые 10 мм осадков мая, т.е. в период начала интенсивного роста культуры. Таким образом, зная условия увлажнения весеннего периода, можно корректировать дозу N удобрений на ранних этапах вегетации.

Выводы. До настоящего времени основой для расчетов эффективности применения удобрений, нормативов зависимости урожаев от показателей окультуренности почв, а также оптимальных показателей плодородия почв служат обобщения выборок с одинаковыми или очень близкими дозами внесения удобрений, в которых не учитывается взаимодействие климатических факторов, почвенных условий и минеральных удобрений. Предлагаемый подход уточняет закономерности формирования урожая зерновых для уровня отдельных сельскохозяйственных предприятий, позволяет осуществить прогноз эффективности минеральных удобрений с обязательным включением в нормативные расчёты погодных показателей.

Показана возможность формализации задачи расчета потенциальной урожайности для различных уровней продуктивности, управления объемами минеральных удобрений на основе учета эффективности и окупаемости удобрений в условиях одновременного изменения климатических условий и плодородия почвы. Обоснована возможность оперативной корректировки оптимальных доз удобрений на ранних этапах начала вегетации яровых и продолжения вегетации озимых культур. Коммерческий выход складывается из реализации стратегии использования отдельных полей для получения максимально возможной прибыли в условиях определенного климатического года, уровня плодородия и агротехники и максимально подходящей культуры.

Рисунок 2. Изменение окупаемости азотных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от суммы апрельских атмосферных осадков и доз азотных удобрений. а) Нижегородская область, серые лесные почвы, 16 лет наблюдений б) Московская область, дерново-подзолистые почвы, 32 года наблюдений.



Литература

1. 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.
2. Перегудов В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. 184 с.
3. Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. М.: Изд-во ЦИНАО, 2003. 228 с.
4. Федосеев А.П. Агротехника и погода. Л.:Гидрометеоздат, 1979. 240 с.
5. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев [и др.] ; Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. метеорологии. - М. : Т-во науч. изданий КМК, 2006. - 508 с.

Таблица 3. Урожай озимой пшеницы, дозы удобрений, их окупаемость и валовая прибыль при различных сценариях сельскохозяйственного производства в Московской области.

Показатель		Единица измерений	Низкое плодородие	Высокое плодородие	Высокое плодородие новые сорта	Высокое плодородие		Низкое плодородие
						Наилучшая	Неблагоприятная	
Погода			Среднепогодная					
Урожай без удобрений	Y_0	т/га	1,28	2,01	1,67	2,76	1,63	0,90
Максимальный урожай	Y_{max}	т/га	2,40	3,16	5,61	4,98	2,33	1,6
Цены на зерно и удобрения 2007 г.*								
Урожай при max прибыли	Y	т/га	2,15	2,81	3,17	4,63	1,97	1,25
Доза азота при max прибыли	F_N	кг/га	90	80	100	150	40	40
Окупаемость N при max прибыли	AE_N	кг/кг	10	10	15	13	9	9
Изменение прибыли	Δ GRF	US \$/ha	-	+81	+110	+162	-67	-67
Цены на зерно и удобрения 2009 г.*								
Урожай при max прибыли	Y	т/га	2,38	3,11	3,22	4,92	2,27	1,55
Доза азота при max прибыли	F_N	кг/га	140	140	110	210	100	100
Окупаемость N при max прибыли	AE_N	кг/кг	8	13	14	10	6	6
Изменение прибыли	Δ GRF	US \$/ha	- (+175 к 2007)	+113	+149	+258	-115	-115

* при ценах на продовольственное зерно 3 класса и аммиачную селитру