РАЗДЕЛ 2.

ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИКА ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В РОССИИ

DOI: 10.33276/978-5-8211-0779-4-69-78

Е.Ф. Винокуров

ОПЫТ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В работе предпринята попытка оценить влияние на урожайность сельскохозяйственных культур двух основных факторов: погодных условий и технологического прогресса. Предложены подходы к выбору показателей, характеризующих эти факторы, и формы зависимости от них урожайности. Проведенные расчеты на примере России позволили выявить различия во влиянии совершенствования технологии на урожайность пяти рассмотренных культур. Результаты работы приводят к выводу, что заложенные в ее основу предпосылки имеют право на существование.

Ключевые слова: урожайность, погодные условия, технологический прогресс, регрессия.

JEL классификация: Q10, C51.

До России то ли докатываются последние, затухающие волны первой зеленой революции, то ли дохлестывают первые волны второй¹, но, так или иначе, официальная отечественная статистика демонстрирует очевидную тенденцию к росту урожайности сельскохозяйственных культур за последние два десятилетия. Эта тенденция невооруженным взглядом прослеживается при просмотре данных, приведенных в таблицы [5], размещенной на портале Федеральной службы государственной статистики. Данными из этой таблицы мы и будем в дальнейшем оперировать в настоящей работе.

Урожайность сельскохозяйственных культур является одним из частных показателей эффективности производства, определяемой совокупностью различных факторов – как зависящих от производителя (внутренних), так и не зависящих (внешних).

Внутренние факторы представляют собой имеющиеся в распоряжении производителя производственные ресурсы и способы их использования. В свою очередь, способы использования ресурсов сводятся к технологии производства продукции (в нашем случае агротехнологии) и к управлению производством. Агротехнология по определению, приведенному в [1], включает в себя целый набор технологических блоков, таких как севооборот, обработка почвы, выбор, подготовка посадочного материала, посев, внесение удобрений, защита растений, уборка урожая. Именно в этой сфере и происходят в последние десятилетия революционные преобразования. В дальнейших

¹ Подробнее о зеленых революциях см., напр., [2].

рассуждениях технологией будем называть всю обширную и разнообразную совокупность внутренних факторов. Из всех внешних факторов будем рассматривать один, но крайне существенный фактор – погодные условия.

Темой настоящей работы является количественный анализ влияния технологии и погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур. Такой обобщенный подход к проблеме отличает это исследование от других, посвященных влиянию на урожайность отдельных элементов агротехнологии, как, напр. [3] или [6].

Начнем с влияния технологического прогресса, тех самых «зеленых революций». Первая задача, которую нужно было решить – выбор числового показателя, который бы этот прогресс характеризовал. Принцип решения этого вопроса был позаимствован нами из исследований производственных функций. Речь пойдет об известной функции Кобба–Дугласа и предложенной Я. Тинбергеном ее модификации (см., напр., [4]). Тинберген ввел в формулу функции Кобба–Дугласа величину, отображающую рост производства по мере научно-технического прогресса. Исходное уравнение

$$Y = a K^{\alpha} L^{1-\alpha} \quad (1)$$

приобрело вид

$$Y = a e^{\gamma t} K^{\alpha} L^{1-\alpha}. \quad (2)$$

Здесь Y – объем производства, K – затраты капитала, L – затраты труда, t – номер периода, γ – относительный прирост производительности труда в периоде t по сравнению с периодом $t-1$ (показатель, характеризующий технологический прогресс), a и α – параметры².

Формулы (1) и (2), предназначенные первоначально для решения сугубо конкретной задачи,³ оказываются для экономиста (и не только) источником множества идей, относящихся к самым различным областям исследований. Если удалось выяснить, что какой-либо показатель связан с двумя другими статистической зависимостью вида (1), это зачастую означает, что исследователю крупно повезло. В этом случае он имеет дело с регрессионным уравнением с двумя переменными-аргументами, которое, будучи построенным даже на основе не слишком длинного ряда наблюдений, зачастую не вызывает претензий у строгих и придирчивых специалистов по математической статистике, поскольку коэффициенты этого уравнения соответствуют традиционно используемым критериям. Кроме того, такого рода зависимость характеризуется целым набором четко определенных и хорошо трактуемых свойств. А формула (2) прямо-таки распаивает перед экономистом безграничные просторы, открывая ему глаза на то, что технический прогресс можно рассматривать как функцию от времени.

Поверхностный обзор таблицы [5] приводит к вполне ожидаемому выводу: российское растениеводство, и до 1991 г., в период «развитого социализма», не бли-

² Заметим, что в [4] при трактовке модели Тинбергена перепутаны понятия темпа роста и темпа прироста.

³ По существу, (1) – это преобразованная степенная зависимость производительности труда от фондовооруженности: $\frac{Y}{L} = a \left(\frac{K}{L} \right)^{\alpha}$.

ставшее успехами, в результате слома общественного строя, когда планового хозяйства уже не стало, а рыночное еще не сформировалось, оказалось в глубоком кризисе. Похоже, к 1994 г. оно достигло дна, оттолкнувшись от которого, начало медленный и трудный путь вверх. Тенденция к росту урожайности после 1994 г. прослеживается для всех рассматриваемых культур, правда, в неодинаковой степени. Этот рост естественно объяснить совершенствованием технологии. Если договориться, что это совершенствование является функцией от времени, то возникает желание и возможность сравнить степень влияния НТП на урожайность различных сельскохозяйственных культур, оценив корреляцию между урожайностью и временем.

Период для проведения анализа – 1994–2017 гг., т.е. мы имеем дело с 24 точками наблюдений. В таких условиях трудно рассчитывать на то, что расчеты по формулам математической статистики дадут результаты, соответствующие строгим формальным критериям. Сразу договоримся, что не будем настаивать на абсолютной точности получаемых в результате вычислений величин, полагая, однако, что эти величины дадут основания для качественных выводов и сравнений.

Выяснить, насколько тесна связь между урожайностью и технологическим прогрессом (читай временем), можно, рассчитав коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между показателями урожайности и номером года, в котором эта урожайность была достигнута. Результаты этих расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты ранговой корреляции между урожайностью и номером года

Индексы i и j	Культура	Коэффициент корреляции
1	Овощи открытого грунта	0,97
2	Лен-долгунец (волокно)	0,95
3	Сахарная свекла	0,95
4	Рис	0,95
5	Соя	0,92
6	Гречиха	0,88
7	Подсолнечник	0,87
8	Кукуруза	0,86
9	Пшеница	0,84
10	Картофель	0,80
11	Ряпс озимый	0,77
12	Овес	0,63
13	Просо	0,61
14	Ячмень	0,60
15	Ряпс яровой (кольза)	0,56
16	Рожь	0,49
17	Горчица	0,49
18	Зернобобовые культуры	0,34

Анализ табл. 1 позволяет выделить культуры, урожайность которых наиболее чутко реагирует на технологический прогресс. Это, прежде всего, овощи, а также лен, сахарная свекла и рис. Не вызывает сомнений чувствительность к совершенствованию технологии группы из семи культур, коэффициент корреляции урожайности которых

со временем составляет величину порядка 0,8–0,9. Еще пять культур демонстрируют умеренную связь между совершенствованием технологии и урожайностью (коэффициент корреляции 0,5–0,6). Особняком стоят зернобобовые культуры, для которых коэффициент корреляции между урожайностью и прогрессом технологии близок к 0,3, т.е. значению, определяющему слабую связь между показателями.

Совместное влияние технологического прогресса и погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур автор решил попробовать учесть, используя регрессию вида (1). Первый и главный вопрос, который при этом возник – выбор показателей, характеризующих эти два вообще-то неизмеримых фактора.

Идея выразить совершенствование технологии как функцию времени открывает перед исследователем необозримый простор для фантазии и экспериментальных расчетов. В наших расчетах годам t , в которых была зафиксирована величина урожайности, были присвоены порядковые номера: мы положили для 1994 г. $t = 1$, для 1995 г. $t = 2$ и т. д. Форма зависимости технологического прогресса от t выбиралась после перебора нескольких ее вариантов. Важно отметить, что, если при макроэкономическом анализе, применительно к которому использовалась модель вида (2), где рассматривается единственный агрегированный продукт, подразумевается один, общий для народного хозяйства показатель технологического прогресса, то в нашем случае, на микроуровне, каждому продукту должен соответствовать свой показатель совершенствования технологии. Значение этого показателя для культуры i в году t будем обозначать через D_{it} .

При выработке показателя погодных условий ход мысли автора свелся к следующему. Погода на какой-то территории благоприятно или неблагоприятно влияет на урожайность не только рассматриваемой сельскохозяйственной культуры, но и других культур, выращиваемых на этой территории. Поэтому динамика урожайности некоторой культуры-соседа j может выступать в качестве индикатора изменения погодных условий, определяющих продуктивность выращивания культуры i .

Назовем теоретическим значение урожайности некоторой культуры j , определяемое трендом, т.е. из регрессионного уравнения

$$Y_{jt}^* = k_j \times t + b_j, \quad (3)$$

где Y_{jt}^* – теоретическая урожайность культуры j в году t ,

k_j и b_j – параметры.

Была опробована и, как оказалось, неплохо оправдала себя идея, заключающаяся в том, что показателем погодных условий года t для культуры i может выступить отношение наблюдаемой в том же году фактической урожайности культуры j (эту урожайность мы обозначим через Y_{jt}) к теоретической. Будем обозначать данное отношение через W_{jt} (т.е. $W_{jt} = \frac{Y_{jt}}{Y_{jt}^*}$).

Итак, оценивались параметры a , α , b и β регрессий вида

$$Y_{it} = a(W_{jt})^\alpha (D_{it})^{1-\alpha} \quad (4)$$

и $Y_{jt} = b(W_{jt})^\beta (D_{it})^{1-\beta}. \quad (5)$

Культуры i и j будем в дальнейшем называть соседствующими.

Свидетельством того, что правомерны выбранные форма зависимости, набор показателей и пара культур i и j , можно, думается, считать ситуацию, когда соответствующие обоим уравнениям регрессии – (4) и (5) – коэффициенты детерминации R^2 близки к единице.

Сложность выбора соседствующих культур заключается, прежде всего, в том, что нами рассматривалась статистика, относящаяся ко всей огромной территории России, где в разных ее частях погодные условия складываются совершенно по-разному. Нужно было подобрать такие пары, а лучше – группы культур, ареалы выращивания которых в существенной степени совпадают.

Вначале была выбрана пара культур, которые выращиваются на очень больших территориях, но, как представляется, сходным образом реагируют на погоду. Речь идет о картофеле и овощах.

Затем был опробован вариант расчетов по группе из трех соседствующих культур. Этот вариант позволяет с большей надежностью определить, насколько удачен выбранный подход к проблеме. При количестве рассматриваемых соседствующих культур, превышающем два, критерием достоверности результатов проведенных расчетов выступают не только коэффициенты детерминации, характеризующих рассчитанные уравнения регрессии вида (4) и (5). В качестве такого критерия тогда можно рассматривать и близость показателей степени α в уравнениях регрессии для двух или нескольких культур, где в качестве соседствующей рассматривается одна и та же культура j . Вопрос о том, какие значения коэффициентов детерминации, какую степень близости показателей степени считать приемлемыми, можно будет, вероятно, решить, когда накопится достаточно большой опыт проведения расчетов рассматриваемого вида.

В тройку «соседей» были включены три южных культуры: сахарная свекла, подсолнечник и кукуруза. Исходная информация, использованная при расчетах, приведена в табл. 2.

График, представленный на рис. 1, достаточно наглядно демонстрирует как схожую реакцию картофеля и овощей на изменения погоды, так и общую для них тенденцию к росту урожайности по ходу времени.

Схожая картина наблюдается и при рассмотрении приведенных для иллюстрации графиков динамики урожайности сахарной свеклы и подсолнечника (рис. 2).

Пробные расчеты показали, что приемлемыми вариантами показателей совершенствования технологии – функций D_{it} – оказались: для четырех культур из пяти – картофеля, овощей, подсолнечника и кукурузы – простейшая из возможных функций – $D_{it}=t$, а для сахарной свеклы была выбрана функция $D_{it} = 1,12^t$.

Таблица 2

**Урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации
(в хозяйствах всех категорий; центнеров с одного гектара убранной площади)**

Годы	Культуры				
	Картофель	Овощи	Сахарная свекла	Подсолнечник	Кукуруза
1994	103	134	136	8,4	19,4
1995	118	148	188	10,6	28,7
1996	114	143	174	8,1	23,5
1997	111	147	186	8,6	31,3
1998	97	141	153	8,4	16,3
1999	97	147	185	8,3	19,7
2000	105	143	188	9,0	21,2
2001	108	151	199	7,8	18,0
2002	103	148	219	9,7	28,5
2003	117	163	227	10,0	32,0
2004	116	162	277	10,2	40,3
2005	124	170	282	11,9	38,5
2006	133	173	325	11,4	36,2
2007	132	179	292	11,3	29,3
2008	138	196	362	12,3	38,6
2009	143	199	323	11,5	35,3
2010	100	180	241	9,6	30,0
2011	148	208	392	12,5	43,4
2012	134	211	409	12,2	42,4
2013	145	214	442	14,5	50,1
2014	150	218	370	13,1	43,6
2015	159	225	386	14,2	49,3
2016	153	227	470	15,1	55,1
2017	156	236	442	14,5	49,0

Рис. 1. Динамика урожайности картофеля и овощей, ц/га

Рис. 2. Динамика урожайности сахарной свеклы и подсолнечника, % к 1994 г.

Окончательные результаты проведенных расчетов представлены в табл. 3 и 4. Первая из них содержит информацию о промежуточной для нашего исследования процедуре – определении трендов урожайности, а во второй приведена информация о полученных уравнениях регрессии вида (4) и (5), связывающих урожайность с погодными условиями и технологическим прогрессом.

Как иллюстрация к табл. 3 на рис. 3 представлены поле корреляции и линия тренда урожайности для овощей. Индексы, приведенные в табл. 3, используются на рис. 3 и в табл. 4.

Таблица 3

Уравнения тренда урожайности

Культура	Индексы i и j	Уравнения тренда	R^2
Картофель	1	$Y_{1t} = 2,41t + 95,1$	0,70
Овощи	2	$Y_{2t} = 4,45t + 121,9$	0,94
Сахарная свекла	3	$Y_{3t} = 13,71t + 114,9$	0,88
Подсолнечник	4	$Y_{4t} = 0,28t + 7,43$	0,79
Кукуруза	5	$Y_{5t} = 1,36t + 17,12$	0,74

Рис. 3. Поле корреляции и линия тренда урожайности для овощей

Таблица 4

Уравнения регрессии для урожайности сельскохозяйственных культур

Культура	Соседствующая культура	Уравнение регрессии	R^2
Картофель	Овощи	$Y_{1t} = 88,4(W_{2t})^{0,85} (D_{1t})^{0,15}$	0,986
Овощи	Картофель	$Y_{2t} = 110,5(W_{1t})^{0,80} (D_{2t})^{0,20}$	0,989
Сахарная свекла	Подсолнечник	$Y_{3t} = 143,9(W_{4t})^{0,56} (D_{3t})^{0,44}$	0,956
	Кукуруза	$Y_{3t} = 140(W_{5t})^{0,54} (D_{3t})^{0,46}$	0,948
Подсолнечник	Сахарная свекла	$Y_{4t} = 6,67(W_{3t})^{0,80} (D_{4t})^{0,20}$	0,971
	Кукуруза	$Y_{4t} = 6,44(W_{5t})^{0,77} (D_{4t})^{0,23}$	0,965
Кукуруза	Сахарная свекла	$Y_{5t} = 15,51(W_{3t})^{0,68} (D_{5t})^{0,32}$	0,904
	Подсолнечник	$Y_{5t} = 15,76(W_{4t})^{0,68} (D_{5t})^{0,32}$	0,903

Подведем итоги проделанной работы.

Анализируя данные табл. 4, можно прийти к выводу, что опробованный метод оценки влияния погодных условий и технологического прогресса на урожайность сельскохозяйственных культур себя, на первый взгляд, оправдал. Для всех полученных уравнений регрессии коэффициент детерминации оказался выше 0,9, а для пары картофель-овощи – близким к 0,99. Незначительно различаются и показатели степени в уравнениях для одной культуры с использованием данных об урожайности двух других в тройке сахарная свекла-подсолнечник-кукуруза. Будем считать, что такие результаты являются удовлетворительными.

Сознательно выбранные нами и оправдавшие этот выбор функции вида (4) и (5), связывающие урожайность с двумя основными определяющими ее факторами, обладают определенными существенными свойствами.

Прежде всего, как известно из анализа функции Кобба-Дугласа, коэффициенты α и β являются значениями эластичности урожайности соответственно культур i и j по характеризующим погодные условия переменным W_{it} и W_{jt} , а $(\alpha - 1)$ и $(\beta - 1)$ – зна-

чениями эластичности урожайности этих культур по характеризующей совершенствование технологии переменной t .

Второе, что необходимо отметить, – это то, что если процесс описывается функциями выбранного нами вида, то для него справедлив закон уменьшения отдачи. Применительно к нашему случаю это означает, что на сегодняшней стадии технологической волны очередное усовершенствование технологии в среднем приносит меньший эффект (дает меньший прирост урожайности), чем предыдущее. Может быть, такая ситуация и приводит к зеленым революциям – единственному варианту «цветных» революций, который идет на пользу народам.

Рассмотрим теперь, как различается реакция на изменения погоды и технологический прогресс пяти культур, по которым были рассчитаны уравнения регрессии, а также показатели корреляции их урожайности со временем (т.е. с технологическим прогрессом). Анализ данных, приведенных в табл. 1, 3 и 4, приводит к следующим выводам. В наибольшей степени определяется технологическим прогрессом урожайность сахарной свеклы. И тут приходится признать, что, когда дело касается растениеводства, природа пока что сильнее человека: постоянная эластичность урожайности этой культуры по погодным условиям составляет около 0,55 против эластичности по технологическому прогрессу, равной 0,45. Овощи на технологические усовершенствования реагируют очень чутко, но довольно слабо. Напротив, кукуруза дает по мере совершенствования технологии значительный прирост урожайности, но неблагоприятные погодные условия нередко сводят эффект усилий аграриев на «нет». Влияние технологии на урожайность подсолнечника относительно невелико, а на урожайность картофеля и вовсе незначительно – для этих культур почти всё определяется погодой (для картофеля эластичность урожайности по погодным условиям равна 0,85).

Завершая статью, наметим пути возможного дальнейшего развития исследований в заданном в ней направлении. Вероятно, более надежные и содержательные результаты можно получить, используя предложенный в настоящей работе подход применительно к сравнительно компактным территориям, например, субъектам Федерации – территориям, на которых обычно складываются практически одинаковые погодные условия. И, конечно, возможны разнообразные эксперименты с целью подбора наиболее удачных показателей технологического прогресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агротехнологии (статья) (http://agroprognoz.ru/crop_technology/).
- Валова В.Д. Основы экологии: Учеб. пособие. 2 изд., перераб. и доп. М.: Дашков и Ко, 2001. 211 с.
- Моргун В., Швартау В., Киризий Д. Потенциал сорта как основа урожайности пшеницы. 2010. URL: <https://www.zerno-ua.com/journals/2010/may-2010-god/potencial-sorta-kak-osnova-urozhaynosti-pshenicy>.
- Ультриванов И.П. Математические модели и методы исследования экономических систем: Учебное пособие для студентов экономического факультета. Казань: Изд-во Казанского государственного технологического университета, 2006. 155 с.

Урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации (в хозяйствах всех категорий; центнеров с одного гектара убранной площади) URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#.
Урожайность сои в зависимости от агроприемов. 2014. URL: <http://agro-archive.ru/soya/1272-urozhaynost-soi-v-zavisimosti-ot-agropriemov.html>.

Vinokurov E.F.

**EXPERIENCE OF STATISTICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF
WEATHER CONDITIONS AND TECHNOLOGICAL PROGRESS ON THE YIELD
OF AGRICULTURAL CROPS**

The paper attempts to assess the impact on crop yields of two main factors: weather conditions and technological progress. Approaches to the choice of indicators characterizing these factors, and the forms of yield dependence on them, are proposed. The calculations carried out on the example of Russia made it possible to identify differences in the effect of technology improvement on the yield of the five crops examined. The results of the work lead to the conclusion that the prerequisites laid in its foundation have the right to exist.

Keywords: productivity, weather conditions, technological progress, regression.

JEL Classification: Q10, C51.