

УДК 631.582:633

Моделирование продуктивности севооборотов в условиях лесостепи Западной Сибири

Чибис Валерий Викторович

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им П.А.Столыпина», Омск, Россия.

Аннотация:

Чередование сельскохозяйственных культур, еще долго будет оставаться основополагающим элементом зональных технологий их возделывания. Применение методов математического моделирования позволит выйти на новый уровень в решении вопросов эффективного использования пашни, через применение моделей оптимизирующих её. Особенно будут ценны результаты исследований, в основу которых положены данные многолетних наблюдений. Ними были использованы данные длительных стационарных опытов по изучению чередования сельскохозяйственных культур в севооборотах прошедших более пяти ротаций. Стационарные опыты расположены в лесостепной зоне Западной Сибири на полях ФГБНУ «СибНИИСХ». Цель исследований заключалась в оптимизации использования пашни при применении методов математического моделирования для сохранения почвенного плодородия. В работе приведена модель позволяющая при выполнении определенных условий (баланс гумуса, затраты труда, энергетические затраты и др.) оптимизировать использование пашни на фоне сохранения почвенного плодородия почвы, получения продукции, экономической и энергетической эффективности. Показано, что в зернопаровых севооборотах формирование урожая происходит за счёт естественного плодородия почвы, о чем свидетельствует отрицательный баланс гумуса, который достигает 0,18 – 0,78 т/га. При плодосменном чередовании урожай формировался на фоне воспроизводства органического вещества почвы, за счет увеличения растительных остатков от применения удобрений, баланс гумуса был положительным – 0,15 – 0,28 т/га. Использование наряду с чистым паром, занятого пара, рапс на сидерат, а также соломы, как органического удобрения для зерновых культур, было получено 2,01 т/га товарного зерна, при доле чистого пара – 16,8 %, занятого пара – 11 %, яровых зерновых – 72,2 % от площади пашни. Увеличивая в севооборотах Западной Сибири площади с использованием в качестве органического удобрения соломы, сидеральных и занятых паров, можно добиться воспроизводства плодородия почвы с некоторым снижением выхода товарного зерна до 2 т/га.

Ключевые слова: севооборот, плодосменное чередование, математическое моделирование, гумус, оптимизация структуры посевных площадей.

Eng. Model operation of efficiency of crop rotations in the conditions of the forest-steppe of Western Siberia

Chibis Valery V.

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation

Abstract:

Alternation of crops, will remain a fundamental element of zonal technologies of their cultivation for a long time. Application of methods of mathematical model operation will allow to come to new level in the solution of the questions of effective use of an arable land, through application of models optimizing it. Results of researches which basis data of long-term observations are will be especially valuable. They used data of the long-lived stationary experiments on studying of alternation of crops in crop rotations of last more than five rotation. Stationary experiences are located in a forest-steppe zone of Western Siberia on the fields FGBNU "SIBNIISKH". The purpose of researches consisted in optimization of use of an arable land at application of methods of mathematical model operation for preservation of soil fertility. The model allowing when performing particular conditions is given in work (balance of a humus, work expense, a metabolic cost, etc.) to optimize use of an arable land against the background of preservation of soil fertility of the soil, receiving production, economic and power efficiency. It is shown that at alternation of grain crops with clear steam, formation of a harvest happens due to natural fertility of the soil what the negative balance of a humus which reaches 0,18 – 0,78 tons from hectare testifies to. At alternation of field cultures without clear steam the harvest was formed against the background of reproduction of organic matter of the soil, due to increase in vegetable oddments from use of fertilizers, the balance of a humus was positive – 0,15 – 0,28 tons from hectare. Use along with clear steam, busy steam, colza on green fertilizer, and also straw as organic fertilizer for grain crops, 2,01 tons from hectare of commodity grain were received, at a share of clear steam – 16,8%, busy steam – 11%, summer grain – 72,2% of arable land. Increasing in crop rotations of Zapadnoy Sibiri Square with use as organic fertilizer of straw, busy vapors and green udbreniye, it is possible to achieve reproduction of fertility of the soil with some decrease in an exit of commodity grain to 2 tons from hectare.

Keywords: crop rotation, alternation of field cultures without clear fallow, mathematical modeling, humus, optimization of the structure of sown areas.;

Введение

Реорганизация крупных сельскохозяйственных предприятий и появление большого количества мелких фермерских хозяйств требуют пересмотра структуры посевных площадей. Оптимизировать структуру посевных площадей необходимо на основе системно-энергетического подхода. Математическое моделирование позволяет построить модель оптимизации структуры посевных площадей для товаропроизводителя с учетом его потребностей и наличия ресурсов.

Исследования в области математического моделирования продукционного процесса растений интенсивно развивается, о чём свидетельствует множество работ в этой области. Будучи эффективным средством интеграции имеющихся знаний о процессе формирования урожая сельскохозяйственных культур, изучения динамики процесса в различных условиях внешней среды, модели продуктивности находят все более широкое применение для решения задач прогноза и управления [2,5,9,10].

При оценке агроэкосистем следует определять потенциальную продуктивность севооборотов, выявлять роль предшественников и севооборотов на использование природного потенциала, детально проанализировать структуру антропогенных энергозатрат на возделывание сельскохозяйственных культур, оценить производительность агроэкосистем. Проведение биоэнергетического анализа позволит объективно оценить энергетический потенциал агроэкосистемы и целесообразность использования антропогенной энергии при возделывании сельскохозяйственных культур.

Продуктивность севооборотов определяется продуктивностью культур, входящих в их структуру, которые по-разному реагируют на количество осадков и температуру в отдельные периоды вегетации. Исследованиями многих учёных доказано, что за ротацию севооборота продуктивность посевов достоверно зависит от природно-климатических условий и структуры посевных площадей [1,4,7].

Таким образом, цель наших исследований была в повышении продуктивности полевых севооборотов на основе оптимизации структуры использования пашни с помощью математического моделирования для совершенствования адаптивно – ландшафтных систем земледелия в лесостепи Западной Сибири.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в длительных стационарных опытах по изучению чередования сельскохозяйственных культур в севооборотах прошедших более пяти ротаций. Стационар расположен в лесостепной зоне Западной Сибири на поля ФГБНУ «СибНИИСХ». Размещение делянок в опытах рендомизированное, размер делянок 0,275 га (110×25 м) и 0,138 га (110×12,5 м), 4-х кратная повторность. Сорты полевых культур районированы

для Западной Сибири: пшеница яровая – «Омская 36», ячмень яровой – «Омский 95», соя – «Золотистая», рапс – «Юбилейный», овес – «Иртыш 21», кукуруза – «Омка 135». Почва опытного участка – чернозем слабо выщелоченный среднегумусовый среднемогущий тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в пахотном горизонте 6,5 – 7 %. Система агротехнических мероприятий строилась с учетом рекомендаций СибНИИСХ для зоны лесостепи Западной Сибири [6]. Методы регрессионного, корреляционного анализа и математического моделирования [3]. Оценка экономических и агротехнических мероприятий и севооборотов проводилась согласно методическим рекомендациям сибирского отделения ВАСХНИЛ [].

Результаты и их обсуждение

В целом введение в севооборот фуражных культур и бобовых (сои) с долей 15 – 25 % позволит увеличить выход КПЕ кормопротеиновых единиц на 0,3 – 0,7 тонны с 1 га севооборотной площади при сохранении высокого уровня урожайности зерна в сравнении с яровой пшеницей (таблица 1).

Таблица 1- Продуктивность полевых севооборотов в зависимости от длины ротации и насыщенности полевыми культурами в 2010-2016гг. В тоннах

Севообороты	Урожайность зерновых	Выход на 1 га пашни			
		зерна	кормовых единиц	переваримого протеина	КПЕ
Зернопаровые севообороты (Контроль)					
Пар – пшеница – пшеница - овес	2,17	2,01	2,43	0,19	3,21
Занятый пар – пшеница – пшеница – овес (без химизац.)	1,65	1,31	2,54	0,12	3,91
Занятый пар – пшеница – пшеница - овес (с химизац.)	2,32	1,95	3,87	0,31	6,78
Плодосменные севообороты.					
Соя – пшеница – ячмень – овес	1,99	2,06	2,55	0,23	4,00
Занятый пар – пшеница – ячмень – овес (без химизац.)	1,87	1,4	2,87	0,28	5,42
Занятый пар – пшеница – ячмень - овес (с химизац.)	2,36	2,11	4,18	0,38	9,75
Бессменные посевы					
Бессменная пшеница	1,10	1,10	1,92	0,15	2,24
Бессменный ячмень	1,37	1,37	3,36	0,25	5,49

К показателям эффективности севооборотов так же относят выход зерна, КПЕ, кормовых единиц и переваримого протеина с одного гектара пашни. Эти показатели напрямую зависели от набора культур в севообороте и числа полей. Эффективными в условиях 2010-2016 годов оказались плодосменные севообороты, в основном за счёт насыщения их бобовыми и зернофуражными культурами.

Для повышения эффективного использования пашни при развитии животноводства возможно увеличение ротации севооборотов и введение в структуру площадей культур увеличивающих сбор кормовых единиц и переваримого протеина (соя и зернофуражные культуры). Введение этих культур в севообороты увеличивает продуктивность одного гектара пашни на 20 – 25 % [8].

В целом введение в севооборот зернобобовых и зернофуражных культур приводит к увеличению выхода зерна на 0,3 – 0,5 т/га, а КПЕ на 0,5 – 0,8 тонны с гектара севооборотной площади в сравнении с яровой пшеницей. Применение средств интенсификации способствовало увеличению продуктивности как зернопаровых, так и плодосменных севооборотов. В плодосменных севооборотах прибавка от их применения составила 0,15 – 0,22 т/га зерна, 2,5 – 3,8 т/га переваримого протеина.

На основе данных по изучаемым севооборотам и их звеньям разработана математическая модель оптимизации структуры посевных площадей. В модель включены данные о семи сельскохозяйственных культурах, возделываемых в различных звеньях севооборотов на фоне N30P30 + солома и сидераты. Разработанная модель содержит 178 переменных и 282 ограничения.

В качестве переменных определены площади отдельных культур в севооборотах (x_{ik} , - площадь i -ой культуры в k -ом севообороте или звене), площади севооборотов (x_k), общая площадь пашни, объемы выхода продукции (P_j - объем j -го вида продукции), издержек производства, чистого дохода (Y_j - объем j -го стоимостного показателя; Q_j - объем j -го вида ресурса), энергозатрат, приращения энергии и другие.

Критерием оптимальности служит максимум производства продукции j -го вида:

$$Z = \sum_{i \in N_1} \sum_{k \in N_2} b_{jik} * x_{ik} \rightarrow \max \quad (1)$$

где N_1 - множество возделываемых культур; N_2 - множество севооборотов и их звеньев; b_{jik} - выход продукции j -го вида с единицы площади i -ой культуры k -го севооборота или звена.

Достижение цели возможно при выполнении определенных условий, описываемых системой ограничений. Основными являются ограничения: по балансу гумуса, издержкам производства, затратам труда, энергетическим затратам, приращению энергии с учетом и без учета гумуса. В систему также входят ограничения:

- по площади пашни:

$$\sum_{k \in N_2} x_k = Q_j \quad j \in M_4; \quad (2)$$

- по площади севооборотов:

$$\sum_{i \in N_1} x_{ik} \leq x_k \quad k \in N_2; \quad (3)$$

- по площади отдельных сельскохозяйственных культур внутри севооборотов:

$$\sum_{i \in N_1} x_{ik} = c_{ik} * x_k \quad k \in N_2; \quad (4)$$

- по производственным ресурсам:

$$\sum_{i \in N_1} \sum_{k \in N_2} a_{jik} * x_{ik} \leq Q_j \quad j \in M_4; \quad (5)$$

- по производству продукции:

$$\sum_{i \in N_1} \sum_{k \in N_2} b_{jik} * x_{ik} \leq B_j \quad j \in M_5; \quad (6)$$

- по суммированию производственных затрат:

$$\sum_{i \in N_1} \sum_{k \in N_2} a_{jik} * x_{ik} = Y_j \quad j \in M_6; \quad (7)$$

- по суммированию валовой продукции:

$$\sum_{i \in N_1} \sum_{k \in N_2} d_{jik} * x_{ik} = Y_j \quad j \in M_7; \quad (8)$$

где M_4 - множество производственных ресурсов; c_{ik} - доля i -ой сельскохозяйственной культуры в k -ом севообороте; d_{ik} - выход валовой продукции с единицы площади i -ой культуры в k -м севообороте; a_{jik} - затраты j -го ресурса на единицу площади i -ой культуры в k -ом севообороте или звене; M_5 - множество видов продукции; M_6 - множество производственных затрат; M_7 - множество валовой продукции; B_j - гарантированный объем производства продукции j -го вида.

В настоящее время основной интерес сельскохозяйственного товаропроизводителя - получение продовольственного зерна высокого качества. В результате решения задачи с помощью разработанной модели получены варианты структуры посевных площадей, обеспечивающие наибольший выход продовольственного зерна.

Зернопаровые севообороты и плодосменное возделывание зерновых позволяют получить от 2,11 до 1,10 т/га товарного зерна (табл.1, 2).

Таблица 2 - Структура севооборотов для получения товарного зерна на ($N_{30}P_{30}$ и солома) в среднем за 2010 – 2016 гг.

Севообороты	Выход продовольственного зерна, т/га	Рентабельность по зерну, %	Энергетический коэффициент	Производительность агроэкосистемы, МДж/дн/ГДж	Баланс гумуса, т/га
Зернопаровые севообороты					
Пар – пшеница – пшеница - овес	2,01	87,6	1,84	0,086	-0,78
Пар – пшеница – пшеница	1,95	94,9	1,72	0,098	- 0,21

Плодосменные севообороты					
Соя – пшеница – ячмень – овес	2,06	91,0	2,01	0,123	+ 0,28
Рапс–пшеница – ячмень – соя - овес	2,11	94,9	2,14	0,127	+ 0,15
Бессменный посев					
Бессменная пшеница	1,10	-12,6	1,34	0,040	- 0,18

При этом доля зерновых культур составляет 67-100% (таблица 3). На производство требуется затратить материально-денежных средств от 1094 до 1636,5 тыс.руб/га, совокупной энергии – 23,0-44,6 ГДж/га и эксплуатационной – 5,8-10,4 ГДж/га. Рентабельность производства по кормовым единицам с учетом побочной продукции варьирует от 17,0 до 43,9%, по зерну от 87,6 до 94,9 %. Только бессменное возделывание пшеницы оказывается нерентабельным. Коэффициент энергетической эффективности составляет 1,34-2,14 показатель производительности агроэкосистемы – 0,040 – 0,127 МДж/дн./ГДж. В зернопаровых севооборотах формирование урожая происходит за счёт естественного плодородия почвы, о чем свидетельствует отрицательный баланс гумуса, который достигает 0,18 – 0,78 т/га. При плодосменном чередовании урожай формировался на фоне воспроизводства органического вещества почвы, за счет увеличения растительных остатков от применения удобрений, баланс гумуса был положительным – 0,15 – 0,28 т/га.

Таблица 3 – Оценка структуры посевных площадей для получения продовольственного зерна на фоне $N_{30}P_{30}$ + солома (по результатам решения модели)

Показатели	Структура посевных площадей				
	Пар25%- зерновые 75%	Пар33% - зерновые 67%	Плодосмен (соя) 100%	Плодосмен (рапс) 100%	Бессмен ный посев 100%
Валовая энергия, Гдж/га					
зерно	31,8	29,4	31,9	36,7	18,4
продукции	84,9	74,3	94,3	93,2	49,5
Выход кормовых единиц, т к.ед./га					
продукции	2,43	2,26	2,55	3,01	1,92
Содержание протеина, т прот. ед./га					
продукции	0,19	0,17	0,23	0,27	0,15
Затраты на производство, тыс.руб./га	1424,0	1279,4	1589,3	1636,5	1094,8
Чистый доход по к.ед., тыс.руб./га	588,7	578,3	696,2	709,7	-186,2
Рентабельность по к.ед., %	41,3	42,5	43,9	43,4	17,0
Затраты на зерно тыс.руб./га	1299,0	1154,6	1589,3	1636,5	1094,8
Чистый доход от зерна, тыс.руб./га	1138,5	1095,2	1446,3	1553,0	-137,9
Энергозатраты, Гдж/га					
эксплуатационные	8,9	8,5	9,5	10,4	5,8
овеществлённые	27,4	26,2	28,6	34,2	17,2

совокупные	36,3	34,8	38,1	44,6	23,0
Приращение валовой энергии, Гдж/га					
без учёта	86,8	78,8	96,2	105,3	58,5
с учётом гумуса	66,9	60,0	75,6	87,2	54,6
Энергопотенциал, Гдж/га	11228,6	9982,4	12563,8	13475	7493,2
Удобрения					
N, ц.д.в./га	0,26	0,20	0,30	0,3	0,2
P, ц.д.в./га	0,26	0,20	0,30	0,3	0,2
Пестициды, кг д.в./га	1,0	0,67	2,00	2,00	0,67

Введение условия, не допускающего отрицательный баланс гумуса, исключает возможность использования на фоне $N_{30}P_{30}$ + солома зернопаровых севооборотов, включающих пар и одну-три пшеницы, так как они сопровождаются значительными потерями гумуса. Воспроизводство плодородия почв при максимальном выходе 2,11—2,06 т/га продовольственного зерна возможно при следующей структуре посевных площадей: Соя и рапс на масло семена 25 – 40 %, зерновые – 60 – 75 %. При этом рентабельность производства товарного зерна составила более 90 %.

Заключение

Для расширенного воспроизводства плодородия черноземных почв лесостепи Западной Сибири, по решению модели следует увеличить в структуре посевных площадей зернобобовые (soя, горох) и масличные культуры (рапс, подсолнечник) до 40%, при этом доля зерновых снижается до 65,5—78,0 %, а выход товарного зерна – до 2,06—2,11 т/га.

Товаропроизводитель может выбирать различные варианты структуры посевных площадей, например, снижение доли чистого пара до 14,3 % и пшеницы до 43,2 %, увеличение доли озимой ржи и технических культур (рапс, соя) до 21,3 %, позволяет получать 2,15 т/га продовольственного зерна. При использовании наряду с чистым паром занятого, сурепицу на сидерат, а также органическое удобрение солому зерновых культур, получено 2,01 т/га товарного зерна, при условии что, под чистый пар отведено 16,8 %, под занятый – 11 %, под яровые зерновые – 72,2 % площади пашни. Увеличивая в севооборотах площадь с использованием в качестве органического удобрения соломы и сурепицы на сидерат, можно добиться воспроизводства плодородия почвы с некоторым снижением выхода товарного зерна до 2 т/га.

Список литературы

1. Абрамов Н.В., Селюкова Г.П. Оптимизация структуры посевных площадей на биоэнергетической основе // Екатеринбург: Изд-во УрГСХА, 2001. 143 с.
2. Блавский В. А., Вирченко М. И., Шестакова Н. В. Экономико-математические модели в сельском хозяйстве // Экономика. 2011. № 7. С.118—123.

3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Гилев С.Д., Цимбаленко И.Н., Суркова Ю.В. Продуктивность и экономическая эффективность короткоротационных зернопаровых севооборотов в центральной лесостепной зоне Зауралья // Земледелие. 2016. № 6. С. 8—11.
5. Строганова М.А. Математическое моделирование формирования качества урожая // Ленинград. Гидрометеоиздат, 1986. 150 с.
6. Технологические системы возделывания зерновых и зернобобовых культур : рекомендации/ М-во сел. хоз-ва и продовольствия Омской обл., Сиб. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва; [сост. Л. В. Юшкевич и др.; под общ. ред. И. Ф. Храмцова, Н. П. Дранковича]. Омск: ЛИТЕРА, 2014. 105 с.
7. Чибис В.В. Эффективность средств интенсификации и предшественников при возделывании яровой в условиях южной лесостепи Омской области // Омский научный вестник. 2014. № 1 (128). С. 87—89.
8. Чибис В.В., Чибис С.П. Формирование элементов плодородия почвы при плодосменном чередовании полевых культур в лесостепной зоне Западной Сибири // Земледелие. 2015. № 7. С. 20—22.
9. Penning de Vries F. W. T., Laar van H. H. Simulation of growth processes and the model BACROS // In: Simulation of plant growth and crop production/Ed. F. W. T. Penning de Vries. Wageningen, PUDOC, 1982, p. 114—135.
10. Wit de C. T. et al. Simulation of assimilation and transpiration of crops. – Wageningen, PUDOC, 1978. 141 p.

Spisok literatury

1. Abramov N.V., Selyukova G.P. Optimizaciya struktury posevnyx ploshhadej na bioe'nergeticheskoj osnove // Ekaterinburg: Izd-vo UrGSXA, 2001 – 143 s.
2. Blavskij V. A., Virchenko M. I., Shestakova N. V. E'konomiko-matematicheskie modeli v sel'skom hozyajstve // E'konomika. 2011. № 7. - S.118 – 123.
3. Dospexov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij). – 5-e izd., dop. i pererab. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 s.
4. Gilev S.D., Cimbaleiko I.N., Surkova Yu.V. Produktivnost' i e'konomicheskaya e'ffektivnost' korotkorotacionnyx zernoparovyx sevooborotov v central'noj lesostepnoj zone Zaural'ya // Zemledelie. 2016. № 6. S. 8 – 11.

5. Stroganova M.A. Matematicheskoe modelirovanie formirovaniya kachestva urozhaya // Leningrad. Gidrometioizdat, 1986 – 150 s.
6. Texnologicheskie sistemy vozdeleyvaniya zernovykh i zernobobovykh kul'tur : rekomendacii/ M–vo sel. xoz–va i prodovol'stviya Omskoj obl., Sib. nauch. –issled. in t sel. xoz–va; [sost. L. V. Yushkevich i dr.; pod obshh. red. I. F Xramcova, N. P. Drankovicha]. – Omsk: [LITERA], 2014. – 105 s.
7. Chibis V.V. E'ffektivnost' sredstv intensivifikacii i predshestvennikov pri vozdeleyvanii yarovoj v usloviyax yuzhnoj lesostepi Omskoj oblasti // Omskij nauchnyj vestnik. 2014. № 1 (128). S. 87–89.
8. Chibis V.V., Chibis S.P. Formirovanie e'lementov plodorodiya pochvy pri plodosmennom cheredovanii polevykh kul'tur v lesostepnoj zone Zapadnoj Sibiri // Zemledelie. 2015. № 7. S. 20 – 22.
9. Penning de Vries F. W. T., Laar van H. H. Simulation of growth processes and the model BACROS. – In: Simulation of plant growth and crop production/Ed. F. W. T. Penning de Vries. Wageningen, PUDOC, 1982, p. 114 – 135.
10. Wit de C. T. et al. Simulation of assimilation and transpiration of crops. – Wageningen, PUDOC, 1978. – 141.