

**Методология**

УДК 631.171: 671.3: 519.86

DOI:10.31857/S2500262721010051

**СИНТЕЗ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ АГРОЦЕНОЗОВ В СИБИРИ\*****Г.Л. Утенков<sup>1</sup>**, кандидат технических наук, **Э.О. Рапопорт<sup>2</sup>**, кандидат физико-математических наук, **А.Н. Власенко<sup>1</sup>**, академик РАН<sup>1</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, 630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск<sup>2</sup>Институт математики им. С.Л.Соболева СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. академика Коптюга, 4  
Email: utenkov1951@mail.ru

*При изучении различных технологий и их синтезе предпочтителен целостный системно-ориентированный подход, обеспечивающий решение проблемы исследуемых систем в разных условиях. В последние годы в условиях Сибири рост урожайности происходит без развития; повышение затрат в расчете на единицу площади приводит к росту урожайности, но не снижает себестоимость единицы продукции. Для увеличения урожайности необходимо усложнение – модернизация предлагаемых технологических решений путем применения агротехнологий различных уровней интенсивности на основе новых научно-технических достижений. В результате исследований разработаны методы исследования агротехнологий для управления продуктивностью агроценозов (на примере возделывания зерновых в условиях Сибири). Ограниченность используемых ресурсов зачастую не позволяет применять более эффективные технологии разных уровней интенсивности для повышения урожайности зерновых культур. Применение различных методов математического анализа, теории вероятности, методов линейного программирования на базе результатов экспериментальных исследований, проведенных в условиях орошаемого и богарного земледелия, позволило разработать алгоритмы и номограммы для поиска технологий, обеспечивающих более эффективные способы возделывания зерновых. В связи со случайной природой показателя урожайности для ее прогнозирования можно использовать различные законы распределения. Лучшие результаты обеспечило применение функций Эйлера, в частности, В-функции. Это позволило на примере экспериментальных данных для средней урожайности зерновых культур на уровне 30 ц/га (общепринятая среднемировая величина) построить эффективные алгоритмы подбора уровней интенсивности технологий для возделывания агроценозов. Определена функция затрат, величина которых хорошо согласуется с экспериментальными данными (затратами) полученными для условий орошаемого земледелия. Обычно рекомендуется рассмотреть четырех уровней интенсивности агротехнологий. Однако для условий Западной Сибири (согласно данным СибНИИЗИХ) рекомендуется рассматривать три уровня.*

**SYNTHESIS OF AGROTECHNOLOGIES FOR MANAGING THE PRODUCTIVITY OF AGROCENOSSES IN SIBERIA****Utenkov G.L.<sup>1</sup>, Rapoport E.O.<sup>2</sup>, Vlasenko A.N.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology RAS, 630501, Novosibirskayaobl., r.p. Krasnoobsk<sup>2</sup>Institute of Mathematics. S.L. Sobolev SORAS, 630090, Novosibirsk, ul. academica Koptuyuga, 4  
Email: utenkov1951@mail.ru

*When studying various technologies and their synthesis, a holistic system-oriented approach is preferable, which provides a solution to the problem of the systems under study in different conditions. It has been established that in recent years in Siberia, an increase in productivity occurs without development; an increase in costs per unit area leads to an increase in yield, but does not reduce the cost per unit of production. To increase the yield, complication is necessary – the modernization of the proposed technological solutions through the use of agricultural technologies of various levels of intensity based on new scientific and technical achievements. The results of the work made it possible to obtain research methods for agricultural technologies for managing the productivity of agroecosystems (for example, the cultivation of grain crops in Siberia). The limited resources used do not allow the use of more efficient technologies of different levels of intensity to increase the yield of grain crops. The use of various methods of mathematical analysis, probability theory, linear programming methods based on the data of experimental studies carried out in the conditions of irrigated and rainfed agriculture, made it possible to develop algorithms and nomograms to search for technologies that provide more efficient ways of cultivating grain crops. It is known that the yield is an integral indicator of the efficiency of agriculture. The random nature of this indicator requires the use of different distribution laws. The most effective, from our point of view, turned out to be the use of Euler functions, in particular, the Euler B-function. This made it possible, using the example of experimental data for the average yield of grain crops in the amount of 30 centners / ha (which is the generally accepted average world yield for grain crops), to construct effective algorithms for choosing sets of levels of intensity of technologies for cultivating agroecosystems. The cost function is determined, the value of which is in good agreement with the experimental data (costs) obtained for the conditions of irrigated agriculture. It is generally recommended to consider four levels of agricultural technology intensities. However, for the conditions of Western Siberia (according to SibNIIZIH SFNTSA RAS), it is recommended to consider three levels.*

**Ключевые слова:** агротехнология, интенсификация, эффективность, параметрический синтез, линейное программирование  
**Key words:** agricultural technology, intensification, efficiency, parametric synthesis, linear programming

\* Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН № 1.5.1, проект № 0314-2019-0018 и гранта РФФИ № 19-010-00910.

Стратегическим направлением научно-технического развития зернового производства должны стать зональные интенсивные технологии, учитывающие требования систем ландшафтного земледелия и экологической безопасности. Эффективный инструмент принятия решений по управлению системами – математические модели [1]. Главным вопросом, требующим «модельного» обоснования, остается оценка уровня урожая на каждом поле, на который должна быть ориентирована технология. Управление продуктивностью агроценозов в земледелии осуществляется путем применения различных агротехнологий, обеспечивающих требуемые выходные показатели их эффективности. Оно заключается в выборе оптимального числа операций, определении их параметров и времени выполнения. Однако эта задача до сих пор не решена даже в самых современных системах точного земледелия [2]. Рациональная структура технологий синтезируется из различных операций, направленных на создание благоприятных условий для возделываемых агроценозов. Для конкретных погодных условий в пределах заданных финансовых средств можно подобрать наилучшую приспособленную технологию, обеспечивающую получение требуемой урожайности [3]. Однако урожайность – случайная величина, требующая корректного сравнения. Это не противоречит результатам исследований других авторов [4]. Причем известно [5], что реальную урожайность культур определяют многие, в том числе организационно-хозяйственные факторы, и она не всегда зависит, например, от бонитета почв. В рамках операционного анализа выявляют безубыточность зернового производства (точку безубыточности) – уровень урожайности, при котором доход от реализации продукции равен общим затратам. Если фактическая урожайность ниже минимальной, то производство становится нерентабельным [6].

Цель исследования – разработка метода, позволяющего управлять продуктивностью агроценозов (на примере зерновых культур в условиях Сибири).

**Методика.** В основу методики проведения исследований положены методы математического анализа, теории вероятности и линейного программирования. Учитывая ограниченность используемых ресурсов, наиболее удобно описание входящих случайных величин (урожайности при технологиях различных интенсивностей) в виде В-плотности распределения.

**Результаты и обсуждение.** Цель деятельности любого предприятия – получение прибыли, а один из основных способов ее достижения – интенсификация производства. Для этого необходимо экономическое обоснование затратного механизма проектируемых агротехнологий и адаптация установленных взаимосвязей и параметров к конкретным хозяйственным условиям. В целом для выбора технологических приоритетов необходимо единство технических, социальных, экологических, организационно-технологических и других требований. Предпочтителен целостный системно-ориентированный подход, обеспечивающий решение проблемы исследуемых систем в разных условиях [7]. Известно [8], что в последние годы в условиях Сибири рост урожайности происходит без развития; повышение затрат в расчете на единицу площади приводит к росту урожайности, но не снижает себестоимость единицы продукции. Повышение урожайности, как критерия, характеризующего эффективность земледелия, требует усложнения, что достигается путем реализации инновационных технологических решений – применения технологий различных

уровней интенсивности. Для обеспечения воспроизводства основных структурообразующих элементов агроландшафтов обычно ориентируются на три уровня технологий возделывания культур: экстенсивные, нормальные и интенсивные [9]. Однако независимо от вида интенсификации удельные затраты и энергозатраты на получение дополнительной единицы продукции возрастают [10]. Рост эффективности зернового производства путем увеличения урожайности как случайной величины можно представить в следующем виде:

$$Z_n = \int (A_o + B/Y) V_B(p, q, y) dy, \quad (1)$$

где  $A_o$  – удельные условно-переменные затраты, руб./т;  $B$  – условно-постоянные затраты, руб./га;  $Y$  – урожайность, т/га;  $V_B(p, q, y)$  – плотность распределения случайной величины.

Учитывая ограниченность используемых ресурсов, наиболее удобно описание случайных величин в виде В-плотности распределения, стандартно характеризуемой параметрами  $p$  и  $q$ . По данным [11], полученным в условиях орошаемого земледелия, можно рассчитать среднее значение функции затрат. Предположим, что интервал изменения урожайностей лежит в диапазоне от  $a$  до  $b$ , т/га.

Подберем параметры  $p$  и  $q$  так, чтобы средняя урожайность ( $Y$ ) была равна 3 т/га.

Если исходить из среднего значения В-распределения, то имеем:

$$Y = \frac{ap + bq}{p + q}.$$

Будем считать, что математическое ожидание  $Mс$  случайной величины урожайности, определено выражением:  $Mсy = p/(p+q) = 1/3$ .

Нормирующий коэффициент В-распределения:

$$\frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)},$$

где  $\Gamma$  – стандартная гамма-функция Эйлера.

Тогда математическое ожидание затрат  $Mсз$  определяется по формуле:

$$Mсз = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^1 t^{p-1} (1-t)^{q-1} \left( A_o + \frac{B}{t - \frac{ap+bq}{p+q}} \right) dt, \quad (2)$$

где  $t$  – переменная интегрирования.

Наиболее удобен случай, когда  $p = 2, q = 4$ : при  $a = 2$  т/га,  $b = 5$  т/га;  $A_o = 2600$  руб./т,  $B = 4100$  руб./га.

Выражение математического ожидания (2), при указанных конкретных значениях введенных параметров, примет вид:

$$Mсз = 60 \int_0^1 t^{2-1} (1-t)^{4-1} \left( 2600 + \frac{4100}{3t-2} \right) dt. \quad (3)$$

В итоге имеем величину средних затрат  $Mсз = 12500$  руб./га (что согласуется с данными из [11]).

Основное управляющее воздействие на растение осуществляется через почву. Выбор наилучших технологий, обеспечивающих формирование заданного конечного результата – статическая задача, при решении которой достигается компромисс между продуктивностью посевов и устойчивостью агроэкосистемы, а выходом становятся системы технологических процессов по климатическим зонам и культурам [2]. Поэтому задачу определения и применения технологических ресурсов целесообразно решать в несколько этапов, а

структуру технологического управления задавать тремя ступенями его реализации. Причем на первой ступени решения задачи технологического управления следует определить общую величину используемого технологического ресурса, необходимого для достижения цели управления, при допущении абсолютной однородности сельскохозяйственного поля. Это обеспечивает средний уровень продуктивности поля и общий баланс требуемого ресурса [12], чему в основном и посвящена наша работа. Для каждой отрасли сельскохозяйственного производства необходимо обосновать соответствующие индикаторы, определяющие показатели развития базовых обобщенных целей. Например, для растениеводства – это достижение средних мировых параметров урожайности зерновых культур,  $Y = 3,0 - 3,2$  т/га [13]. Такая постановка научной задачи для Новосибирской области обоснована результатами экспериментальных исследований, достигнутыми в ООО «Соколово» академиком РАН А.Н. Власенко и Н.Г. Власенко в 2019 г.: при средней урожайности яровой пшеницы по Кольванскому району 23,7 ц/га, в ООО «Соколово» она составила 40,4 ц/га. Причем у сорта Обская-2 величина этого показателя достигала 76,0 ц/га с окупаемостью 1 кг удобрений – 22 кг зерна.

Освоение эффективных технологий производства продукции в хозяйствах с различным уровнем интенсивности – главное средство преобразований в инженерно-технологической сфере. Поэтому считают [14], что каждому товаропроизводителю в каждой зоне необходимо переходить на проектирование технологий по общей схеме бизнес-планирования производства продукции с заданными параметрами. Однако, как следует из работы [10], главная проблема, с которой связаны многие негативные тенденции, напрямую обусловлены низкой доходностью аграрного производства, вследствие чего основная часть сельхозпроизводителей неспособна в полной мере использовать научно-технические достижения для повышения эффективности и конкурентоспособности производимой продукции. В сельском хозяйстве преобладают экстенсивные технологии [15], которые основаны на отсталых технологических укладах [16]. Поэтому главными аспектами на современном этапе остаются биологизация, точность и качество выполняемых технологических операций [15]. Считается [17], что последний из перечисленных факторов, а также затратный механизм, определяет техника.

Недостаток финансирования обуславливает необходимость применения экстенсивных технологий, но они не обеспечивают требуемого роста урожайности. Интенсивные технологии обеспечивают увеличение урожайности, но требуют повышенного вклада финансовых средств на единицу площади посева. Возможность формирования рационального уровня урожайности заложена в реализации параметрического синтеза рекомендуемых для условий Сибири трех уровней интенсивности технологий [9]. Зная среднюю урожайность при каждом уровне интенсивности технологии и затраты на их реализацию, можно найти оптимальные уровни использования каждой технологии с наименьшими затратами для достижения нужного уровня урожайности. В итоге имеем простую задачу линейного программирования – найти вектор  $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k)$ , минимизирующий функцию:

$$\Phi(\rho) = \sum_{i=1}^n z_i \rho_i \quad (4)$$

при ограничениях  $y_0 \leq \sum_{i=1}^n y_i \rho_i$ ,  $a_i \leq \rho_i \leq b_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ . (5) где вектор  $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k)$  описывает уровни использования каждой технологии.

Для решения таких задач обычно используются методы линейного программирования, но, учитывая ее простоту, можно предложить упрощенный алгоритм нахождения оптимальных уровней агротехнологий разной интенсивности. Введем следующие обозначения  $t_i = y_i \rho_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ . Тогда задача принимает следующий вид: найти вектор  $t = (t_1, t_2, \dots, t_k)$ , минимизирующий функцию:

$$\Phi(t) = \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{y_i} t_i \quad \text{при ограничениях: } y_0 \leq \sum_{i=1}^n t_i, a_i y_i \leq t_i \leq b_i y_i, i = 1, 2, \dots, k.$$

Не ограничивая общности, считаем, что коэффициенты  $z_i/y_i$  упорядочены по убыванию:  $z_1/y_1 \geq z_2/y_2 \geq \dots \geq z_k/y_k$  (если это не так, то нумерацию можно изменить). Задача решается за  $n$  шагов последовательным подключением технологий. Рассмотрим три технологии: экстенсивная со средней урожайностью 1,66 т/га и затратами  $z_1 = 9700$  руб./га; нормальная с величинами этих показателей соответственно 3,1 т/га и  $z_2 = 17800$  руб./га; интенсивная – 4,84 т/га и  $z_3 = 27500$  руб./га. Возникает задача экстремума: найти неотрицательные коэффициенты  $x, y, z$  в сумме равные 1, которые минимизируют средние затраты  $Z = 9600x + 17800y + 27600z$ , при условии, что средняя урожайность  $y_0 = 1,66x + 3,10y + 4,84z \geq 3,0$ . При этом  $x$  (доля экстенсивной технологии)  $\geq 0,3$ ;  $y$  (доля нормальной технологии)  $\geq 0,2$ ;  $z$  (доля интенсивной технологии)  $\leq 0,2$ . Себестоимости указанных агротехнологий будут равны:  $z_1/y_1 = 5780$  руб./т,  $z_2/y_2 = 5740$  руб./т,  $z_3/y_3 = 5680$  руб./т.

Поскольку при интенсивной агротехнологии себестоимость наименьшая ( $z_3/y_3$ ), подключаем сначала эту агротехнологию. Имеющиеся ограничения дают долевое участие,  $z = 0,2$ . Поэтому имеем:

$$4,84 z = 0,97. \text{ Остаются ограничения: } 1,66x + 3,10y \geq 2,03, x + y = 0,8.$$

Минимальная величина достигается при равенстве, поэтому, сделав подстановку, получим:  $1,66x + 3,10(0,8 - x) = 2,03$ .

Решение этого уравнения позволяет определить долевое участие экстенсивных технологий,  $x = 0,31$ .

В целом структура долевого участия в рациональной технологии, обеспечивающей получение заданной урожайности, с учетом рекомендуемых трех уровней агротехнологий, будет равна:  $x = 0,31$ ;  $y = 0,49$ ;  $z = 0,2$ .

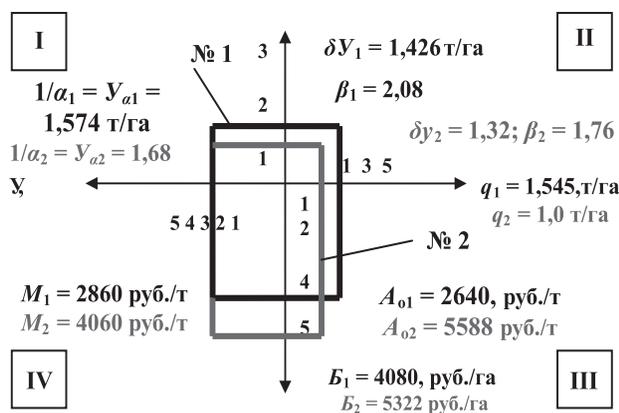
Общее решение задачи параметрического синтеза агротехнологии для условий богарного земледелия, обеспечивающей формирование среднемирового уровня урожайности, при минимизации затрат на производство будет иметь следующий вид:

$$Z = 9600 \cdot 0,31 + 17800 \cdot 0,49 + 27500 \cdot 0,2 = 17200 \text{ руб./га.}$$

Универсальный обобщающий критерий эффективности производства вообще и эффективности применения техники в частности в условиях товарно-денежных отношений выражается в денежной форме. Невозможно создать универсальную математическую модель пригодную в широком временном и пространственном масштабе. Поэтому правильная стратегия заключается не в постоянном совершенствовании какой-то одной модельной платформы с целью получения универсального расчетного инструмента, а в создании специфических узкоориентированных решений для каждой конкретной проблемы – моделирования для конкретного случая [18]. Для обеспечения условий

расширенного воспроизводства необходимо оценивать эффективность применяемых механико-технологических решений по экономическим показателям, учитывающими уровень цен на сельскохозяйственную продукцию, производимую с помощью техники, и уровень рентабельности, величина которого должна составлять 25-30 % [19].

С учетом изложенного, мы разработали алгоритм проектирования, выбора, оценки и адаптации агромашиных технологий как целого для возделывания зерновых культур. Предложенные зависимости и их графическая интерпретация в квадрантах номограммы (см. рисунок), позволяет назвать такой метод графо-аналитическим. Разработанный алгоритм включает проведение следующих процедур:



Графо-аналитический метод синтеза агротехнологии: № 1 – данные [11]; № 2 – по алгоритму.

обосновывается глобальный критерий эффективности зернового производства – прибыль. Решение на экстремум функционала прибыли позволяет получить функцию урожайности, как сумму, состоящую из функции, отражающей безубыточное производство продукции (например, безубыточность земледелия в Сибири обеспечивается урожайностью пшеницы не менее 20 ц/га зерна ( $\delta Y \geq 20$  ц/га) [16];

определяется структура вклада составляющих функции урожайности – безубыточности зернового производства ( $\delta Y/V \leq 0,44$ ) и почвенно-климатических условий ( $Y\alpha/V \geq 0,56$ ), обеспечивающих получение прибыли [20];

строится замкнутая номограмма с четырьмя квадрантами, в первом из них отражается взаимосвязь требуемой урожайности ( $Y$ ) с безубыточностью зернового производства (точкой безубыточности,  $\delta Y$ ). В этом квадранте оценивается эффективность зонирования (использования почвенно-климатических условий) при возделывании зерновых культур, так как для достижения намеченных результатов необходимо выбрать из предлагаемых вариантов наиболее подходящие для конкретных условий технические, организационные, управленческие и другие решения, выстраивая из них алгоритм оптимального построения производства [21];

во втором квадранте раскрывается взаимосвязь безубыточности зернового производства (точки безубыточности) с относительным показателем затрат ( $q$ ) через показатель относительной стоимости ( $\beta$ ) с учетом уровня рентабельности ( $Re$ ) [19] и полученного нами выражения полных затрат [22]. В нем отражается взаимосвязь технологических и экономических факторов:

экономически эффективны технологические решения, минимизирующие потребляемые ресурсы, а качество выполняемых процессов и формирование затратного механизма обеспечивает применяемая техника [17] –  $\beta = 0,56[(1/(1+Re)) - 0,44]^{-1}$ ;

в третьем квадранте раскрывается относительный показатель затрат ( $q$ ). Удельные условно-переменные затраты ( $A_j$ ) определяются по выражению  $A_j = 1,786 C[(1/(1+Re)) - 0,44]$ , где  $C$  – цена реализуемой продукции, руб./т. Оно позволяет выбирать более совершенные ресурсы, так как сельхозтоваропроизводители не всегда рассматривают альтернативные варианты технологического обеспечения [7]. В отношении технологий, как следует из работы [21], сегодня царит если не хаос, то бессистемность. Каждый сельхозтоваропроизводитель выбирает те из них, которые ему кажутся наиболее приемлемыми. Хотя на проверку оказывается, что они далеко не всегда оптимальны, вследствие чего не могут принести максимально возможного экономического эффекта. В этом квадранте, отражающем отношение ( $q = B/A_j$ ) условно-постоянных затрат к удельным условно-переменным затратам, непосредственно влияющим на рост урожайности возделываемой культуры, появляется возможность оценки формы организации сельхозпроизводства. Так, у крупных сельскохозяйственных организаций (СХО), обрабатывающих десятки тысяч сельхозугодий, величина  $q$  имеет большое значение, что позволяет им вести крупнотоварное производство. Малые СХО с небольшой площадью производят небольшие объемы продукции и с меньшими затратами, а значит, характеризуются малой величиной  $q$ ;

в четвертом квадранте отражается взаимосвязь величин урожайности ( $Y$ ) и условно-постоянных затрат ( $B$ ). У крупных СХО, имеющих большие условно-постоянные затраты, связанные с наличием более мощного парка сельхозмашин и тракторов, инженерно-технического и управленческого персонала, позволяющими планировать производство продукции, своевременно выполнять технологические процессы, качественнее обрабатывать большие объемы площадей, а значит, добиваться высокой урожайности. В этом квадранте можно выбирать производство той или иной зерновой продукции в условиях рыночных отношений, что оценивается возможной величиной маржинального дохода (маржой),  $M = (C - A_j)$ ; взаимосвязь урожайности возделываемой культуры с условно-постоянными затратами выражается через маржинальный доход:  $B = 0,44Y(C - A_j) = 0,44YM$ .

Таким образом, применение экстенсивных технологий не обеспечивает требуемого уровня урожайности агроценозов. Поэтому возникает потребность в использовании технологий более высокого уровня интенсивности. Одновременно в связи с ограниченностью имеющихся ресурсов необходимо их рациональное использование, что возможно в случае применения математических методов моделирования.

В работе предложен алгоритм, основанный на методах линейного программирования, реализация которого открывает возможности для параметрического синтеза агротехнологий с заданным параметрами эффективности. Для условий богарного земледелия получены оптимальные параметры сочетания трех рекомендуемых уровней интенсивности агротехнологий для формирования среднемирового уровня урожайности, соответствующего 30-32 ц/га.

Решение задачи проектирования, выбора и адаптации агротехнологий как целого с использованием разработанного графо-аналитического метода позволя-

ет более целенаправленно выбирать технологические процессы, обеспечивающих повышение эффективности возделывания сельскохозяйственных культур, на основе построения номограмм.

#### Литература.

1. Арефьев Н.В., Бреусов В.П., Осипов Г.К. Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 532 с.
2. Михайленко И.М. Теоретические основы и техническая реализация управления агротехнологиями. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 252 с.
3. Кардаш В.А., Рапопорт Э.О. Модель соотношения темпов экстенсивного и интенсивного развития сельскохозяйственного производства при стохастических колебаниях урожайности // ЭММ. 1979. Т. XV. Вып. 3. С. 539–546.
4. Вероятностная модель определения возможного уровня урожая / В.П. Якушев, В.М. Буре, В.В. Якушев и др. // Доклады РАСХН. 2014. № 6. С. 59–62.
5. Проблемы сельскохозяйственной экологии / А.Т. Незавитин, В.Л. Петухов, А.Н. Власенко и др. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 255 с.
6. Мазлов В.Р., Сапогова Г.В. Управление технологическими процессами и системами в растениеводстве: Монография. М.: Изд-во РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2010. 241 с.
7. Рунов Б.А., Пильникова Н.В. Основы технологии точного земледелия. Зарубежный и отечественный опыт. 2-е изд. исправ. и дополн. СПб.: АФИ, 2012. 130 с.
8. Утенков Г.Л., Рапопорт Э.О. Метод оценки параметров машинных технологий возделывания зерновых культур // Вестник РАСХН. 2017. № 6. С. 22–27.
9. Власенко А.Н. Совершенствование научных основ сибирского земледелия // Сиб. вестн. с.х. науки. 2009. № 10. С. 27–35.
10. Лачуга Ю.Ф. Сельскохозяйственному производству – новые знания // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 3. С. 3–8.
11. Черняев А.А., Ярославский В.А., Несмысленков А.П. Проблемы сохранения и развития оросительной мелиорации в Поволжье // АПК: Экономика, управление. 2014. № 5. С. 3–16.
12. Михайленко И.М. Управление системами точного земледелия. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. 234 с.
13. Краснощеков Н.В., Малышев А.В. Оценка машиноиспользования в отраслях сельского хозяйства // Техника в сельском хозяйстве. 2010. № 2. С. 34–38.
14. Лачуга Ю.Ф. Перспективные технологии и техника для сельскохозяйственного производства России // Перспективное машинно-технологическое обеспечение агроинженерной системы: юбилейный сборник научных трудов. Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2004. С. 5–26.
15. Кирюшин В.И. Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия // Земледелие. 2019. № 3. С. 3–7.
16. Першукевич П.М., Тю Л.В., Стенкина М.В. Основные направления социально – экономических исследований в аграрном секторе Сибири: настоящее будущее // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 4. С. 9–13.
17. Попов В.Д., Максимов Д.А., Морозов Ю.Л. Технологическая модернизация – основа инновационного развития АПК северо-западного региона России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 4. С. 19–22.
18. Имитационная модель агроэкосистемы как инструмент теоретических исследований / В.Л. Баденко, А.Г. Топаж, В.В. Якушев и др. // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 437–445.
19. Водяников В.Т. Научно-технический прогресс и проблемы экономической оценки технических средств производства // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 3. С. 30–35.
20. Утенков Г.Л. К оценке эффективности машинных технологий возделывания зерновых культур // Фундаментальные исследования. 2017. № 12-1. С. 229–233.
21. Голубев А.В. Тенденции аграрной динамики России: монография. М.: Изд-во РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. 226 с.
22. Утенков Г.Л. Улучшение материального положения сельского населения Сибири путем совершенствования затратного механизма зернового производства / Сельские территории в пространственном развитии страны: потенциал, проблемы, перспективы: материалы XXIV международной научно-практической конференции. М., 2019. С. 78–81.

Поступила в редакцию 02.09.20  
 После доработки 25.10.20  
 Принята к публикации 20.12.20