

УДК 004.94: 504:631.1:045

DOI:10.38028/ESI.2022.27.3.013

Модуль «Планирование в условиях рисков» программного комплекса «Эколого-математическое моделирование аграрного производства»

Ковалева Евгения Александровна, Иваньо Ярослав Михайлович

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,

Россия, Иркутский район, п. Молодежный, *zhenia-93com@ya.ru*

Аннотация. Предложено специальное информационное, математическое и алгоритмическое обеспечение для модуля «Планирование в условиях рисков» в составе программного комплекса «Эколого-математическое моделирование аграрного производства» – АГРЭКО. Описана параметрическая эколого-математическая модель для оптимизации производства аграрной продукции с учетом рисков, связанных с климатическими событиями. С помощью алгоритма выделения аномальных уровней путем построения многоуровневых трендов и стохастического анализа оценены производственные риски в будущем с определением ущербов от потери урожая. Реализованы тестовые задачи на примере сельскохозяйственной организации Иркутской области СХЗАО «Приморский» Нукутского района, деятельность которой подвержена значительному влиянию рисков, связанных с экстремальными климатическими явлениями, прежде всего, засухами. Многоуровневые тренды построены на примере временного ряда урожайности зерновых культур.

Ключевые слова: программный комплекс, эколого-математическая модель, оптимизация, аграрная продукция, риски

Цитирование: Ковалева Е.А. Модуль «Планирование в условиях рисков» программного комплекса «Эколого-математическое моделирование аграрного производства» / Е.А. Ковалева, Я.М. Иваньо // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 3(27). – С. 135-147. – DOI: 10.38028/ESI.2022.27.3.013.

Введение. Эколого-математические модели с критерием оптимальности в виде минимизации ущерба окружающей среде или максимизации доходов с учетом минимизации отрицательного воздействия на природную систему представляют собой научно-практический интерес в решении задач планирования производства аграрной продукции. На практике апробированы подобные модели с интервальными и вероятностными коэффициентами при неизвестных целевой функции и ограничениях. Вместе с тем сельское хозяйство в значительной степени подвержено воздействию экстремальных климатических явлений, которые увеличивают риски производства сельскохозяйственной продукции. Поэтому, помимо эколого-математических моделей, позволяющих оптимизировать деятельность сельскохозяйственного производителя для некоторых усредненных природно-климатических условий, в работе [1] предлагается модель, учитывающая производство продукции при формировании экстремальных событий.

В условиях резко континентального климата возрастает влияние агрометеорологических явлений на производство сельскохозяйственной продукции. В последние годы на урожай сельскохозяйственных культур сильно влияют засушливые условия, которые проявляют себя в увеличении температур и уменьшении осадков в начальный период вегетации. В связи с этим актуальна разработка модуля для решения эколого-математических моделей оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в условиях риска с минимизацией ущерба окружающей среде.

Целью статьи является описание модуля «Планирование в условиях рисков» программного комплекса АГРЭКО, который позволяет оптимизировать производство аграрной продукции в условиях климатических рисков с минимальными ущербами водным и земельным ресурсам. Для достижения цели решались следующие задачи:

- 1) рассмотрение математического и алгоритмического обеспечения для минимизации ущербов окружающей среде при производстве аграрной продукции в условиях климатических рисков;
- 2) реализация модели минимизации ущербов окружающей среде при производстве продукции с учетом климатических рисков на реальном объекте с помощью разработанного программного комплекса АГРЭКО.

Материалы и методы. При построении и реализации эколого-математических моделей для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с помощью программного комплекса использованы следующие данные: производственно-экономические, природно-климатические и экологические, характеризующие загрязнение и эрозию почвы. К производственно-экономическим показателям относятся: площади сельскохозяйственных угодий, урожайность сельскохозяйственных культур, поголовье и продуктивность животных, затраты на производство по статьям расходов, прибыль с единицы площади и головы, объемы воды для нужд сельского хозяйства. Природно-климатические показатели включают в себя: температуру воздуха, количество осадков, гидрометеорологические явления, характеристики рельефа, качество почвы. Показатели загрязнения и эрозии почв характеризуются фоновым и фактическим содержанием вредных веществ в почве и воде, концентрациями загрязнителей, площадью эрозионных процессов, потерями плодородного слоя.

Источниками информации являются многолетние данные бухгалтерской отчетности сельскохозяйственной организации, сведения регионального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, материалы государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области», карты состояния почвенного покрова сельскохозяйственных угодий региона, сведения территориального органа Федеральной службы государственной статистики.

Для оценки свойств изменчивости показателей, входящих в эколого-математические модели оптимизации производства аграрной продукции, применены методы теории вероятностей и математической статистики [2-6]. В частности, к ним относятся способы построения законов распределения вероятностей, корреляционно-регрессионный, автокорреляционный анализ, метод статистических испытаний. При определении потерь плодородного слоя почвы использован метод оценки потенциальной опасности эрозии почв под воздействием дождей и расчетная формула интенсивности выноса почвы от ветровой эрозии [7-8]. Решение прикладных экстремальных задач основано на методах математического программирования в условиях неопределенности [9-11]. Кроме того, для построения модуля «Планирование в условиях рисков» использованы методы проектирования программных комплексов [12-14].

Для получения результатов моделирования производства аграрной продукции в условиях рисков использован алгоритм выделения из временного ряда последовательностей разных уровней, построения на их основе трендов с помощью регрессионного анализа и подбора вероятностных законов распределения по эмпирическим данным, характеризующим отклонения уровней исходного ряда от значений тренда нижних уровней [15].

Результаты работы и их обсуждение. Авторами статьи в соавторстве создан программный комплекс АГРЭКО – с разработанным специальным математическим, алгоритмическим и информационным обеспечением [16, 17]. Программный комплекс АГРЭКО (рис. 1) решает прикладные задачи на основе информационного, математического, алгоритмического и программного обеспечения.

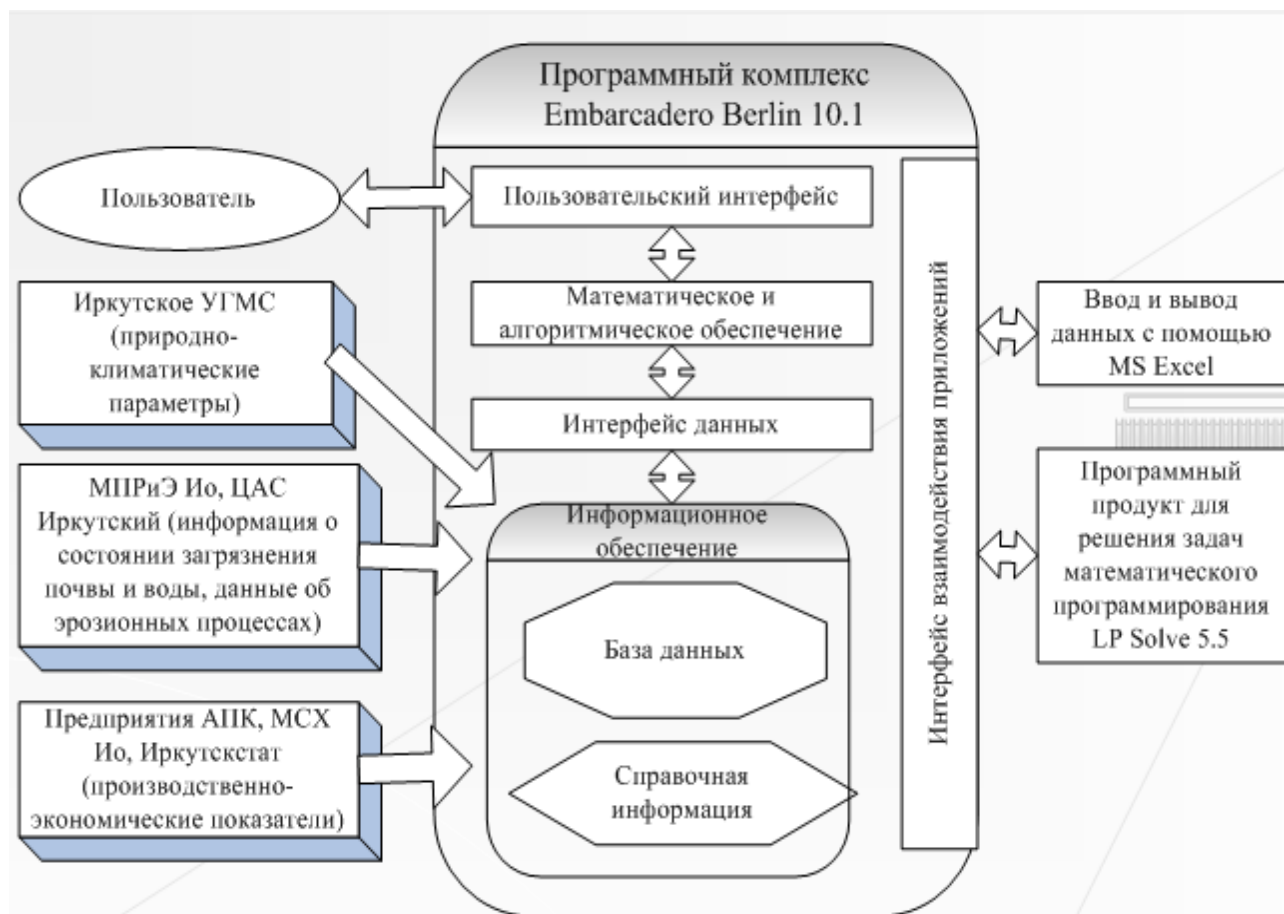


Рис. 1. Схема функционирования программного комплекса «Эколого-математическое моделирование аграрного производства» – АГРЭКО

Реализация интерфейса программного комплекса АГРЭКО и методов математической статистики осуществлялась при помощи интегрированной среды разработки Embarcadero Berlin 10.1. Алгоритмическое обеспечение представляет собой разработанные алгоритмы решения эколого-математических задач с использованием имитационного моделирования. Для реализации моделей планирования производства сельскохозяйственной продукции применен программный продукт LP Solve 5.5. Результаты статистической обработки данных, решений задач математического программирования и сведения из базы данных можно сохранять в виде таблиц в приложении MS Excel. Кроме того, с помощью программной среды реализованы различные методы оценки статистических параметров, критерии соответствия аналитических законов распределения вероятностей эмпирическим функциям и другие способы статистической обработки производственно-экономических, природно-климатических и экологических показателей.

На основе выявленных статистических особенностей временных рядов определяются математические модели, которые используются для решения задач оптимизации производства аграрной продукции с учетом ущербов окружающей среде в условиях неопределенности.

На рисунке 2 приведен пример реализации оптимизационной эколого-математической задачи. В верхней части «Целевая функция» значения X_1, X_2, \dots, X_{15} – отображают прибыль, получаемую от продажи 1 ц товарной продукции отрасли растениеводства или животноводства. Ниже приведены расчетные значения коэффициентов негативного воздействия техногенных и природных процессов на почву на богарных и орошаемых землях при возделывании сельскохозяйственных культур – 0,2093, 0,1938, ..., 0,2015. В нижней

части окна «Результат» показан определенный в процессе решения задачи оптимальный план со значениями целевой функции в виде прибыли и ущербов предприятия.

The screenshot shows the 'Optimization' window with the following settings and data:

Целевая функция / **Ограничения**

Размерность задачи: 15
 Количество решений: 1
 Итераций для поиска вероятностного значения: 10
 Район: Нукутский район

Поиск решения: Максимум Минимум
 Задача Детерминированная

Целевая функция

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1049	912	587	140	41	238	232	183	1125

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зерновые	Рапс	Однолетние...	Однолетние...	Многолетни...	Многолетни...	Многолетни...	Силосные к...	Кукуруза на
0,2093	0,1938	0,1938	0,1938	0,0248	0,0248	0,0248	0,1938	0,2015

Buttons: **Найти решение** (1) **Сжать результаты**

Результат / **График**

Решение

X14	X15	Ущерб	Значение целевой функции
91	580	3471265,671	22136686,94926

Рис. 2. Окно определения оптимального решения задачи эколого-математического моделирования продовольственной продукции с учетом ущербов от негативного влияния на окружающую среду для СХЗАО «Приморский» Нукутского района

С помощью программного комплекса (ПК) АГРЭКО апробированы эколого-математические модели с детерминированными, интервальными и вероятностными коэффициентами при неизвестных целевой функции и ограничений с критерием оптимальности в виде минимизации ущерба окружающей среде или максимизации доходов с учетом минимизации отрицательного воздействия на природную систему. При этом ПК позволяет получать оптимальные решения для разных отраслей сельского хозяйства и их сочетания в условиях орошаемого и неорошаемого земледелия.

Отдельно следует выделить задачи математического программирования, позволяющие оптимизировать производство аграрной продукции в условиях проявления экстремальных гидрометеорологических и биологических событий [1].

Модель описывает сочетания производства растениеводческой и животноводческой продукции на орошаемых и неорошаемых сельскохозяйственных угодьях. В этой модели целевая функция характеризует максимум доходов с учетом ущербов окружающей среде в результате ведения сельского хозяйства в условиях природных рисков. Ограничения описывают наличие земельных и трудовых ресурсов, объемы производства, загрязнение почвы и водной среды, эрозию сельскохозяйственных угодий, сочетание растениеводческой

и животноводческой продукции в условиях проявления сильных засух или ливневых осадков.

В общем виде сформулирована параметрическая задача оптимизации производства аграрной продукции, учитывающая ущерб окружающей среде и риск наступления природного события.

Целевая функция:

$$f = \sum_{i \in I} (1-l_i) c_i p_i(t) x_i - \sum_{i \in I} (1-l_i) d_i^F p_i^F \omega_i + \sum_{i \in I} (1-l'_i) c'_i p'_i(t) x'_i - \sum_{i \in I} (1-l'_i) d_i'^F p_i'^F \omega'_i + \\ + \sum_{k \in K} (1-\alpha_k) c_k r_k(t) y_k - \sum_{k \in K} (1-\alpha_k) d_k^F r_k^F \omega_k \rightarrow \max, \quad (1)$$

где c_i, c'_i - прибыль, получаемая от продажи 1 ц товарной продукции культуры вида i при богарном и орошаемом земледелии; c_k - прибыль, получаемая от продажи 1 ц товарной продукции животных вида k ; $d_i^F, d_i'^F$ - потери прибыли от продажи 1 ц товарной продукции культуры вида i при богарном и орошаемом земледелии, связанные с влиянием климатического события; d_k^F - потери прибыли от продажи 1 ц товарной продукции животных вида k , связанные с влиянием климатического события; $p_i(t), p'_i(t)$ - урожайность при богарном и орошаемом земледелии i -вида сельскохозяйственной культуры зависящая от параметра t ; x_i, x'_i - площади богарных и орошаемых земель; ω_i, ω'_i - площади богарных и орошаемых земель, подвергшиеся влиянию климатического события; $p_i^F, p_i'^F$ - потери урожайности на богарных и орошаемых землях i -вида сельскохозяйственной культуры под влиянием климатического события; $r_k(t)$ - продуктивность животных k , связанная с параметром t ; r_k^F - продуктивность животных k с учетом влияния климатического события; l_i, l'_i - коэффициенты негативного воздействия техногенных и природных процессов на почву на богарных и орошаемых землях при возделывании культуры i ; α_k - коэффициент негативного воздействия на окружающую среду при выращивании животных k ; y_k - количество животных; ω_k - количество животных, подвергшихся влиянию климатического события; F - вероятность события; I, K - число видов сельскохозяйственных культур и животных. Параметр t изменяется в интервале $[\tau_1, \tau_2]$.

Ограничения по минимальному объему производства товарной растениеводческой продукции на предприятии выглядят так:

$$\sum_{i \in I} (1-l_i) p_i(t) x_i + \sum_{i \in I} (1-l'_i) p'_i(t) x'_i - \sum_{i \in I} (1-l_i) p_i^F \omega_i - \sum_{i \in I} (1-l'_i) p_i'^F \omega'_i \geq S_i - Z_i^F - Z_i'^F, \quad (2)$$

где S_i - минимальный объем производства растениеводческой продукции; $Z_i^F, Z_i'^F$ - слагаемые уменьшения минимального объема производства растениеводческой продукции в условиях влияния климатического события на богарных и орошаемых землях.

Ограничения по минимальному объему производства животноводческой продукции имеют вид:

$$\sum_{k \in K} (1-\alpha_k) r_k(t) y_k - \sum_{k \in K} (1-\alpha_k) r_k^F \omega_k \geq S_k - Z_k^F, \quad (3)$$

где S_k - минимальный объем производства животноводческой продукции; Z_k^F - слагаемое уменьшения минимального объема производства животноводческой продукции в условиях влияния климатического события.

Ограничения по увязке производства растениеводческой продукции и потребности в ней животноводства записываются так:

$$\sum_{k \in K} h_{ik} y_k \geq S_i \quad (i \in I), \quad (4)$$

где h_{ik} – потребность животных вида k в корме с использованием культуры i .

Ограничения по наличию трудовых ресурсов имеют вид:

$$\sum_{i \in I} b_i x_i + \sum_{i \in I} b'_i x'_i + \sum_{k \in K} b_k y_k + \sum_{i \in I} b_i^F \omega_i + \sum_{i \in I} b_i'^F \omega'_i + \sum_{k \in K} b_k^F \omega_k \leq B, \quad (5)$$

где b_i, b'_i – затраты трудовых ресурсов на обработку 1 га богарных и орошаемых земель соответственно; b_i^F и $b_i'^F$ – дополнительные затраты трудовых ресурсов на обработку 1 га богарных и орошаемых земель с учетом влияния климатического события; b_k, b_k^F – затраты трудовых ресурсов для ухода за животными без учета и с учетом влияния климатического события; B – имеющиеся трудовые ресурсы.

Условия по предельно допустимой концентрации (ПДК) некоторых вредных веществ в почве выглядят так:

$$\sum_{i \in I} \varphi_{ij} (x_i + \omega_i) + \sum_{i \in I} \varphi'_{ij} (x'_i + \omega'_i) + \sum_{i \in I} v_{ij} (x_i + \omega_i) + \sum_{i \in I} v'_{ij} (x'_i + \omega'_i) \leq \Omega_j \quad (j \in J), \quad (6)$$

где $\varphi_{ij}, \varphi'_{ij}$ – исходная концентрация вредного вещества j на богарных и орошаемых землях, соответственно; v_{ij}, v'_{ij} – концентрация вредного вещества j , попавшего на богарные и орошаемые земли; Ω_j – величина предельно допустимой концентрации вредного вещества j в почве; J – количество вредных веществ. Показатели $\varphi_{ij}, \varphi'_{ij}, v_{ij}$ и v'_{ij} являются приведенными к единице площади сельскохозяйственных угодий.

Ограничения на водозабор в реке имеют вид

$$\sum_{i \in I} q_i x'_i \leq T' \xi, \quad (7)$$

где q_i – оросительная норма культуры i ; T' – вегетационный период; ξ – расход воды реки.

Условие по предельно допустимой концентрации некоторых вредных веществ в реке записывается в виде:

$$\psi_j T' \xi + \mu_j \sum_{i \in I} [(q_i + \lambda)(x'_i + \omega'_i) + \lambda(x_i + \omega_i)] \leq W_j \quad (j \in J), \quad (8)$$

где ψ_j – исходная концентрация вредного вещества j в реке; μ_j – концентрация вредного вещества j в единице объема возвратных вод хозяйства; λ – осадки, выпадающие за вегетационный период; W_j – заданные величины предельно допустимой концентрации вредного вещества j в реке.

Ограничение на почвенные потери от водной и ветровой эрозии имеет вид

$$\sum_{i \in I} R U_i D_i V_i C_i P_i (x_i + \omega_i) + \sum_{i \in I} R U_i D_i V_i C_i P_i (x'_i + \omega'_i) + \sum_{i \in I} M_i T \leq \eta, \quad (9)$$

где η_i – максимальные годовые почвенные потери (т/га); R – эродирующая способность дождей; U_i – фактор податливости почв эрозии (т/га); D_i – фактор длины склона; V_i –

фактор крутизны склона; C_i – фактор растительности и севооборота; P_i – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий; M_i – интенсивность выноса почвы, т/га в 1 час, T – время, в течение которого почва разрушается (в часах). Для расчета параметров, входящих в ограничение (9,) используются нормативные методики.

Условие неотрицательности переменных:

$$x_i, x'_i, \omega_i, \omega'_i, y_k, \omega_k \geq 0. \quad (10)$$

Функции $p_i(t)$, $p'_i(t)$ могут быть описаны в виде линейных и нелинейных выражений. Согласно [16], наиболее приемлемыми для описания урожайности сельскохозяйственных культур для Иркутской области являются логистическая, асимптотическая и степенная функции:

$$p_i(t) = \frac{P_i^{\max}}{(1 + e^{-\beta_i t})}, \quad (11)$$

$$p_i(t) = p_i^{\max} - (p_i^{\max} - p_i^{\min})e^{-\beta_i t}, \quad (12)$$

$$p_i(t) = p_i^0 t^{\beta_i}, \quad (13)$$

где p_i^{\max} , p_i^{\min} – верхняя и нижняя оценки урожайности культуры i ; β_i – коэффициенты, характеризующие степень роста показателя; p_i^0 – значение функции при $t=1$.

Особенностью предложенной эколого-математической модели оптимизации производства аграрной продукции (1)-(13) является оценка ущербов от негативного влияния техногенных и природных факторов в условиях природных рисков, а также применение задачи параметрического программирования в условиях неопределенности. Ущерб окружающей среде включены в качестве коэффициентов негативного влияния в критерий оптимальности и ограничения по установленным объемам производства аграрной продукции. В статье [18] приведена схема последовательных операций по определению коэффициента негативного влияния природных и техногенных факторов на почву и водную среду.

Алгоритм реализации приведенной модели заключается в выполнении следующих операций. Во-первых, на основе исходных данных разных источников определяются коэффициенты при неизвестных и правые части. Во-вторых, вычисляются коэффициенты негативного влияния на окружающую среду. В-третьих, находятся значимые многоуровневые тренды, согласно которым выделяются и оцениваются вероятностные значения событий, влияющих на производство продукции. В-четвертых, с помощью разработанного программного комплекса АГРЭКО решается задача параметрического программирования. В-пятых, модель реализуется для разных ситуаций, связанных с повторяемостью и значением экстремального события, с использованием метода Монте-Карло.

Решение экстремальной задачи оптимизации производства аграрной продукции на богарных и орошаемых землях при сочетании отраслей растениеводства и животноводства в условиях формирования экстремальных событий с помощью программного комплекса АГРЭКО требует разработки дополнительного модуля, позволяющего выполнять следующие функции:

- 1) выделять события разными способами в зависимости от особенностей временного ряда;
- 2) оценивать их вероятности появления;

3) решать задачи оптимизации производства аграрной продукции с учетом минимизации ущерба окружающей среде в условиях проявления экстремальных событий.

Первая функция связана с особенностью временного ряда. Если обосновано, что он является случайным, то оценить вероятность события можно с помощью закона распределения вероятностей. Возможен другой вариант, когда ряд может быть описан значимым трендом или авторегрессионным выражением. В такой ситуации применимы многоуровневые динамико-стохастические модели, позволяющие определять тенденции производственно-экономических, природно-климатических и экологических показателей, а также выделять экстремальные события или аномальные уровни для их вероятностной оценки.

В работе [15] описан алгоритм выделения аномальных уровней временных рядов, характеризующихся значимыми трендами. К таким рядам относятся урожайности сельскохозяйственных культур, для которых приведены результаты моделирования. Идея разделения значений многолетних рядов на последовательности с разными уровнями, принадлежащая И.П. Дружинину с соавторами [19], использована для оценки динамики трех последовательностей – всех уровней, нижних и верхних значений.

На рис. 3 показан пример получения аномальных уровней с использованием многоуровневых логистических трендов согласно алгоритму, предложенному в работе [15]:

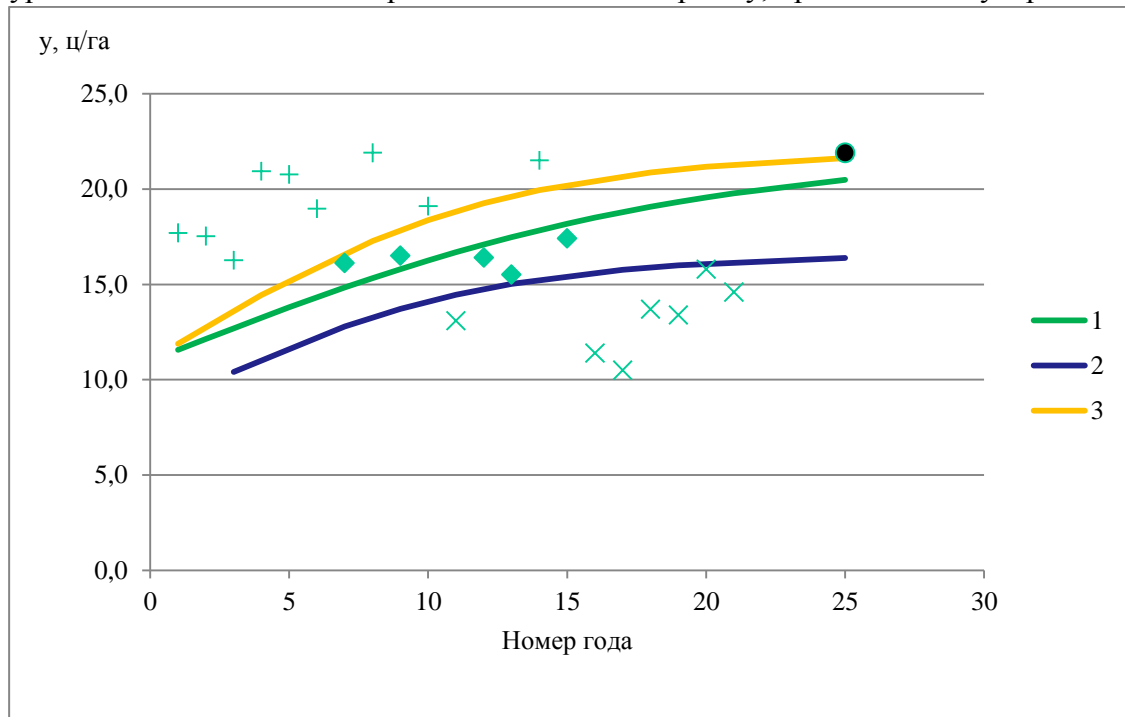


Рис. 3. Выделение аномальных значений (событий) по многоуровневым трендам логистической функции всего ряда (1), последовательностей нижних (2) и верхних уровней (3) для урожайности зерновых культур в Нукутском районе по данным 2000-2020 гг.:

- × – аномальные значения, соответствующие высоким рискам;
- + – аномальное значение, связанное с благоприятными условиями;
- – планируемый уровень насыщения

Аномальные уровни или события, связанные с неблагоприятными условиями, характеризуют ситуации деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя в условиях рисков.

На рисунке 4 изображен закон распределения вероятностей с оценкой выделенных аномальных уровней. Аномальные значения расположились в четверти с отрицательными значениями.

По эмпирическим данным, вероятность появления аномальных уровней колеблется от 0.043 до 0.261, а в соответствии с аналитической функцией распределения Пирсона III типа – в пределах 0.044 - 0.233. Отметим, что в приведенном примере распределение Пирсона III типа лучше согласуется с эмпирическими значениями по сравнению с нормальным законом. Число аномальных уровней, соответствующих высоким рискам, равно 7. Следует иметь в виду, что вид функции влияет на количество выделяемых аномальных уровней (табл. 1).

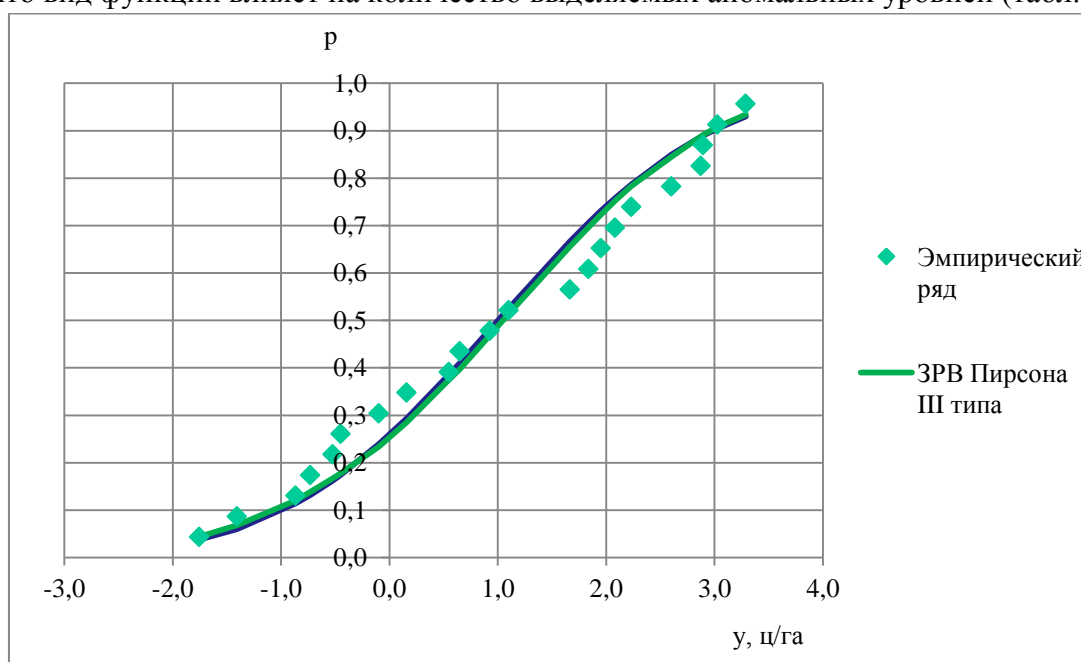


Рис. 4. Функция распределения Пирсона III типа разностей между фактическими значениями ряда и уровнями, полученными по тренду логистической функции последовательности нижних членов для урожайности зерновых культур в Нукутском районе по данным 2000-2020 гг.

Таблица 1. Результаты моделирования аномальных уровней для оценки потерь урожайности зерновых по данным Нукутского района за 2000-2020 гг.

Показатель	Год	Логистическая функция	Вероятность
Потери по трендам, ц/га	2024	5,5	
Потери по аномальному уровню, ц/га	2016	8,3	0,044
	2015	7,1	0,068
	2018	5,9	0,120
	2017	5,4	0,138
	2020	5,2	0,167
	2010	3,8	0,177
	2019	3,6	0,233

Потенциальные потери урожайности для зерновых культур составляют 5.5 ц/га. При этом возможны дополнительные ущербы, соответствующие аномальным уровням, вероятность которых предложено оценивать с помощью вероятностного распределения

Пирсона III типа. Самые большие потери приходятся на 2015 и 2016 годы. Предложенный алгоритм позволяет прогнозировать возможные потери.

Общая параметрическая эколого-математическая модель аграрного производства в условиях экстремальных событий с учетом ущербов окружающей среде при сочетании богарного и орошаемого земледелия описывается формулами (1)-(13). Рассмотрим частный случай задачи математического программирования в условиях климатических рисков. В этой задаче учитывалось сочетание производства животноводческой и растениеводческой продукции, влияние эрозии, загрязнения почвы и воды в условиях влияния на деятельность сельскохозяйственного производителя сильных засух при богарном и орошаемом земледелии.

При реализации параметрической эколого-математической модели для СХЗАО «Приморский» Нукутского района в экстремальных условиях многоуровневые тренды построены по временному ряду урожайности зерновых культур.

В качестве неизвестных в задаче оптимизации производства аграрной продукции использованы площади десяти сельскохозяйственных культур. К ним относятся: зерновые (x_1), рапс (x_2), однолетние травы на сено (x_3) и зеленый корм (x_4), многолетние травы на сено (x_5), зеленый корм (x_6) и семена (x_7), силосные культуры (x_8), кормовая кукуруза (x_9), кукуруза орошаемая (x_{10}). Кроме того, в моделях использованы пять переменных отрасли животноводства: поголовье коров основного стада (x_{11}), поголовье коров на откорме (x_{12}), количество лошадей основного стада (x_{13}), количество лошадей на откорме (x_{14}) и количество пчелосемей (x_{15}).

С помощью программного комплекса АГРЭКО в условиях риска были получены следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2. Значения целевой функции (f) в виде прибыли при оптимизации производства аграрной продукции при сочетании орошаемого и богарного земледелия с минимизацией ущербов окружающей среде для СХЗАО «Приморский» в условиях риска, тыс. руб.

Тренд	Год	Значение целевой функции f	Экологические ущербы
Средний уровень тренда	2024	24244,6	3814,6
Нижний уровень тренда	2024	21559,9	3350,8
Средний уровень тренда	2020	23767,5	3812,8
Нижний уровень тренда	2020	21409,2	3319,2
Нижний уровень тренда	2016	21147,2	3264,4
Аномальное значение		19304,0	3755,5

Согласно полученным результатам, в 2024 году прибыль по нижнему уровню составит 21,6, по среднему уровню – 24,2 млн руб. В 2020 году эти значения соответствовали 21,4 и 23,8 млн руб.. Для аномального уровня урожайности зерновых (ситуация 2016 года) прибыль составит 19,3 млн руб. В этом случае потери прибыли с учетом экологических потерь относительно нижнего уровня составили 2,3 млн руб.

Оптимальный план с учетом влияния засухи на производство продукции отличается от аналога, полученного по тренду среднего уровня. Для 2020 года: в неблагоприятной ситуации уменьшение площади зерновых культур составило 3589 га (67%), однолетних трав на зеленый корм – 4439 га (50%), а площади силосных культур сократились до 0 (100%). Количество коров основного стада уменьшилось до 3744 голов (сокращение на 24%). При этом увеличились площади однолетних трав на сено до 13180 га (в 4 раза), кукурузы – на силос – до 1130 га (на 125%), а также поголовье коров на откорме – до 1846 голов (на 85%).

Задача решена с помощью модуля «Планирование в условиях рисков» программного комплекса АГРЭКО – «Эколого-математическое моделирование аграрного производства». С использованием пункта меню «Регрессия» построены многоуровневые тренды. Тренды можно получить в виде значений функций и графиков. Аномальные уровни или события определены благодаря пункту меню «Статистические показатели». Задача математического программирования решена с помощью пункта меню «Оптимизация». При этом расширены возможности для решения задачи параметрического программирования вводом функции выбора в ограничениях вида тренда и его значений.

Заключение. Предложено математическое, алгоритмическое и информационное обеспечение для модуля «Планирование в условиях рисков» программного комплекса АГРЭКО – «Эколого-математическое моделирование аграрного производства».

Рассмотрена модель оптимизации производства аграрной продукции на богарных и орошаемых землях при сочетании отраслей растениеводства и животноводства в условиях формирования сильных засух, реализованная в тестовом режиме на примере сельскохозяйственной организации СХЗАО «Приморский» Иркутской области.

Список литературы

1. Ivanyo Y.M., Petrova S.A., Kovaleva E.A. Ecological-Mathematical modeling in planning production of agricultural products in conditions of risks. IOP Conference series:earth and environmental science, virtual, online, 10–12 января 2022 года, Virtual, Online, 2022, p. 022083, DOI 10.1088/1755-1315/988/2/022083, EDN GUYDCD.
2. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон: пер. с англ. – М.: Мир, 1976. –356 с.
3. Гриневич Г.А., Композитное моделирование гидрографов / Г.А. Гриневич, Н.А. Петелина, А.Г. Гриневич. – М.: Наука, 1972. – 182 с.
4. Статистическое моделирование и прогнозирование / под. ред. А.Г. Гранберга. –М.: Финансы и статистика, 1990. –383 с.
5. Хастингс Н. Справочник по статистическим распределениям / Н. Хастингс, Дж. Пикок. –М.: Статистика, 1980. –95 с.
6. Юзбасиев М.М. Статистический анализ тенденций и колеблемости / М.М. Юзбасиев, А.М. Манелл. –М.: Финансы и статистика, 1998. –207 с.
7. ГОСТ 17.4.4.03-86. Метод определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей : издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10 ноября 1986 г. № 3401 : дата введения 1987-07-01 / разработан Государственным агропромышленным комитетом СССР. – Москва: Стандартинформ, 1986. – 8 с.
8. Волков С.Н. Землеустройство. – Т. 2. Землеустроительное проектирование. Внутрихозяйственное землеустройство / С.Н. Волков. –М.: Колос, 2001. –648 с.
9. Кирилук, В.С. Меры риска в задачах стохастической оптимизации для получения робастных решений / В.С. Кирилук // Стохастическое программирование и его приложения. – 2012. – С. 104–124.
10. Кнопов П.С. Метод эмпирических средних в задачах стохастической оптимизации и оценивания / П.С. Кнопов // Стохастическое программирование и его приложения. – 2012. – С.12 –149.
11. Кузьменко В.Н. Решение двухэтапных задач стохастического программирования большой размерности РНК-методом / В.Н. Кузьменко // Стохастическое программирование и его приложения. – 2012. –С. 150–159.
12. Гагарина Л. Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем / Л.Г. Гагарина. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013. –384 с.
13. Липаев В.В. Программная инженерия. Методологические основы / В.В. Липаев. –М.: ТЕИС, 2006. – 608 с.
14. Проектирование экономических информационных систем / под. ред. Ю.Ф. Тельнова. –М.: Финансы и статистика, 2003. –512с.
15. Иваньо Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки, 2022. – №42 – С. 48–57.
16. Ковалева Е.А., Программный комплекс для эколого-математического моделирования производства сельскохозяйственной продукции / Е.А. Ковалева, Я.М. Иваньо // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2020. – № 2(18). – С. 94–106. – DOI 10.38028/ESI.2020.18.2.008

17. Иваньо Я.М. Программный комплекс моделирования природных и техногенных рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Известия Иркутской государственной экономической академии, 2015. – Т. 25 – №3 – С. 533–541. – DOI: 10.17150/1993-3541.2015.25(3).533-541.
18. Ковалева Е.А. Коэффициенты негативного влияния на окружающую среду в эколого-математическом моделировании аграрного производства / Я.М. Иваньо, Е.А. Ковалева // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: материалы науч.-практ. конф. молодых ученых (20 мая 2020 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГАУ, 2020. – С. 153–160.
19. Дружинин И.П. Динамика многолетних колебаний речного стока. / И.П. Дружинин., В.Р. Смага, А.Н. Шевнин. –М.: Наука, 1991. –176 с.

Ковалева Евгения Александровна. Аспирант заочного обучения, SPIN-код: 2446-8670, zhenia-93com@ya.ru, Россия, Иркутский район, п. Молодежный.

Иваньо Ярослав Михайлович. Д.т.н., профессор, SPIN-код: 9654-8057, AuthorID: 106394, iutex@rambler.ru, Россия, Иркутский район, п. Молодежный.

UDC 004.94: 504:631.1:045

DOI:10.38028/ESI.2022.27.3.013

Module "Planning under risks" of the software package "Ecological and mathematical modeling of agricultural production"

Eugenia A. Kovaleva, Yaroslav M. Ivanyo

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky,

Irkutsk district, Molodezhny, *zhenia-93com@ya.ru*

Abstract. On the basis of the created software package, special information, mathematical and algorithmic support is proposed for the module "Planning under risk conditions" of the software package "Ecological and mathematical modeling of agricultural production". A parametric ecological and mathematical model for optimizing the production of agricultural products, taking into account the risks associated with climatic events, is described. With the help of an algorithm for identifying abnormal levels by constructing multilevel trends and stochastic analysis, production risks in the future are estimated with the determination of damages from crop loss. The test tasks were implemented on the example of the agricultural organization of the Irkutsk region of the Primorsky Agricultural District of the Nukutsky district, whose activities are significantly affected by the risks associated with extreme climatic events, primarily droughts. Multilevel trends are based on the example of a time series of grain yields.

Keywords: software package, ecological and mathematical model, optimization, agricultural products, risks

References

1. Ivanyo Y.M., Petrova S.A., Kovaleva E.A. Ecological-Mathematical modeling in planning production of agricultural products in conditions of risks. IOP Conference series:earth and environmental science, virtual, online, 10–12 января 2022 года, Virtual, Online, 2022, p. 022083, DOI 10.1088/1755-1315/988/2/022083, EDN GUYDCD.
2. Anderson T. Statisticheskij analiz vremennyh ryadov [Statistical analysis of time series]: per. s angl. M., Mir [World], 1976, p.356.
3. Grinevich G.A., Petelina N.A., Grinevich A.G. Kompozitnoe modelirovanie gidrografov [Composite modeling of hydrographs]. M., Nauka [The science], 1972, p.182.
4. Statisticheskoe modelirovanie i prognozirovanie [Statistical modeling and forecasting]. pod. red. A.G. Granberga, M., Finansy i statistika [Finance and statistics], 1990, p.383.
5. Hastings N., Pikok Dzh. Spravochnik po statisticheskim raspredeleniyam [Handbook of statistical distributions]. M., Statistika [Statistics], 1980, p. 95.
6. Yuzbasiev M.M., Manell A.M. Statisticheskij analiz tendencij i koleblemosti [Statistical analysis of trends and fluctuations]. M., Finansy i statistika [Finance and statistics], 1998, p. 207.
7. GOST 17.4.4.03-86. Metod opredeleniya potencial'noj opasnosti erozii pod vozdejstviem dozhdej [Method for determining the potential hazard of erosion from rainfall]. Moscow, Standartinform Publ., 1986, p. 8.

8. Volkov S.N. Zemleustrojstvo. Vol. 2. Zemleustroitel'noe proektirovanie. Vnutrihozyajstvennoe zemleustrojstvo [Land management. Vol. 2. Land management design. On-farm land management]. M., Kolos [Ear], 2001. p. 648.
9. Kirilyuk V.S. Mery riska v zadachah stohasticheskoy optimizacii dlya polucheniya robastnyh reshenij [Risk measures in stochastic optimization problems for obtaining robust solutions]. Stokhasticheskoye programmirovaniye i yego prilozheniya [Stochastic programming and its applications], 2012, pp. 104–124.
10. Knopov P.S. Metod empiricheskikh srednih v zadachah stohasticheskoy optimizacii i ocenivaniya [The method of empirical averages in stochastic optimization and estimation problems]. Stokhasticheskoye programmirovaniye i yego prilozheniya [Stochastic programming and its applications], 2012, pp. 125–149.
11. Kuz'menko V.N. Reshenie dvuhetapnyh zadach stohasticheskogo programmirovaniya bol'shoj razmernosti PNK-metodom [Solving two-stage large-dimensional stochastic programming problems using the PNK method]. Stokhasticheskoye programmirovaniye i yego prilozheniya [Stochastic programming and its applications], 2012, pp. 150–159.
12. Gagarina L. G. Razrabotka i ekspluatatsiya avtomatizirovannykh informacionnykh system [Development and operation of automated information systems]. M., FORUM: INFRA-M, 2013, p. 384.
13. Lipaev V. V. Programmaya inzheneriya. Metodologicheskie osnovy [Software engineering. Methodological basis]. M., TEIS, 2006, p. 608.
14. Proektirovanie ekonomicheskikh informacionnykh system [Design of economic information systems]. pod. red. Yu. F. Tel'nova. M., Finansy i statistika [Finance and statistics], 2003, p. 512.
15. Ivan'o Ya.M., Petrova S.A. Ob odnom algoritme vydeleniya anomal'nyh urovnej vremennogo ryada dlya ocenki riskov [On one algorithm for the allocation of anomalous levels of a time series for risk assessment]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki [Topical issues of agricultural science], 2022, no. 42, pp. 48–57.
16. Kovaleva E.A., Ivan'o Ya.M. Programmnyj kompleks dlya ekologo-matematicheskogo modelirovaniya proizvodstva sel'skohozyajstvennoj produkcii [Software package for ecological and mathematical modeling of agricultural production]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2020, no. 2(18), pp. 94–106., DOI: 10.38028/ESI.2020.18.2.008.
17. Ivan'o Ya. M., Petrova S.A. Programmnyj kompleks modelirovaniya prirodnyh i tekhnogennyh riskov [Software package for modeling natural and man-made risks]. Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii [Proceedings of the Irkutsk State Academy of Economics], 2015, no.25-3, pp. 533–541, DOI: 10.17150/1993-3541.2015.25(3).533-541.
18. Ivanyo Ya., Kovaleva E. Koeffitsienty negativnogo vliyaniya na okruzhayushchuyu sredu v ekologo-matematicheskom modelirovanii agrarnogo proizvodstva [Coefficients of negative influence on the environment in ecological and mathematical modeling of agricultural production]. Nauchnyye issledovaniya i razrabotki k vnedreniyu v APK: materialy nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh (20 maya 2020 g.) [Scientific research and development for implementation in the agro-industrial complex: materials of the scientific and practical conference of young scientists (May 20, 2020)], 2020, pp. 153–160.
19. Druzhinin I.P., Smaga V.R., Shevnin A.N. Dinamika mnogoletnih kolebanij rechnogo stoka [Dynamics of long-term fluctuations of river flow]. M., Nauka [The science], 1991, p. 176.

Kovaleva Evgeniya Aleksandrovna. Postgraduate student of correspondence studies, SPIN: 2446-8670, zhenia-93com@ya.ru, Irkutsk district, Molodezhny.

Ivanyo Yaroslav Mikhailovich. Doctor of Technical Sciences, Professor, SPIN: 9654-8057, AuthorID: 106394, iymex@rambler.ru, Irkutsk district, Molodezhny.

Статья поступила в редакцию 31.08.2022; одобрена после рецензирования 16.09.2022; принята к публикации 19.09.2022.

The article was submitted 08/31/2022; approved after reviewing 09/16/2022; accepted for publication 09/19/2022.