Для цитирования: Асалханов П.Г., Бендик Н.В., Иваньо Я.М. Экспертные оценки в задачах оптимизации производства продовольственной продукции. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46(2): 50-60. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-50-60

For citation: Asalkhanov P. G., Bendik N. V., Ivan'o Y. M. Expert evaluations in the problems of optimizing the production of food products. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (2): 50-60. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-50-60

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 631.5:519.6

DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-50-60

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Асалханов П.Г.³, Бендик Н.В.², Иваньо Я.М.¹

¹⁻³Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,

¹⁻³664038, Иркутская обл., Иркутский р-н., п. Молодежный, 1/1, Россия,

¹e-mail: iymex@rambler.ru, ²e-mail: starkovan@list.ru, ³e-mail: asalkhanov@mail.ru

Резюме. Цель. Целью работы является использование различных моделей оптимизации производства аграрной продукции для управления с применением эмпирических данных и экспертных оценок. **Метод.** В качестве экспертных оценок для приведенных задач линейного программирования в условиях неопределенности предложено применять индивидуальные или групповые усредненные и интервальные значения производственно-экономических параметров. Использование усредненных или интервальных экспертных оценок связано с особенностями прикладных экстремальных задач и обеспечением моделей исходными данными. **Результат.** Предложены модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции и заготовки пищевых дикорастущих ресурсов, для реализации которых необходимо использовать экспертные оценки, дополняющие эмпирические данные. В первой задаче оптимизации структуры посевов использованы интервальные значения коэффициентов, предложенных экспертами, которые характеризуют своевременность выполнения технологических операций. Во второй задаче, связанной с планированием заготовки дикорастущей продукции, интервальные экспертные оценки отражают колебания урожайности дикоросов, трудозатраты и стоимостные показатели продукции. В третьей задаче использована индивидуальная экспертная оценка влияния загрязнения на однолетние, многолетние травы и зерновые культуры. **Вывод.** Задачи оптимизации аграрного производства с учетом экспертных оценок реализованы для двух аграрных предприятий Иркутской области и Братского района, обладающего значительными запасами пищевых дикорастущих ресурсов.

Ключевые слова: оптимизация, посевы, дикоросы, богарные земли, орошение, экспертные оценки

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

EXPERT EVALUATIONS IN THE PROBLEMS OF OPTIMIZING THE PRODUCTION OF FOOD PRODUCTS

Peter G. Asalkhanov³, Nadezhda V. Bendik², Yaroslav M. Ivan'o¹

¹⁻³Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky,

¹⁻³1/1 Str., Irkutsk region, Molodezhny village 664038, Russia,

¹e-mail: iymex@rambler.ru, ²e-mail: starkovan@list.ru, ³e-mail: asalkhanov@mail.ru

Abstract. Objectives The aim of the work is the use of various models for optimizing the production of agricultural products for management using empirical data and expert estimates. **Method** It is proposed to use individual or group averaged and interval values of production and economic parameters as expert estimates for the above linear programming problems under uncertainty. The use of averaged or interval expert evaluations is associated with the features of applied extreme problems and providing models with initial data. **Result** Models are proposed for optimizing the production of agricultural products and harvesting wild food resources, for the implementation of which it is necessary to use expert estimates that supplement empirical data. The first task of optimizing the crop structure used interval values of the coefficients proposed by experts that characterize the timeliness of implementation technological operations. In the second task related to the planning of procurement of wild-growing products, interval expert estimates reflect fluctuations in the yield of wild plants, labor costs, and cost indicators of production. In the third task, an individual expert assessment of the effect of pollution on annual, perennial grasses and crops was used. **Conclusion** Optimization tasks for agricultural production, taking into account expert assessments, have been implemented for two agricultural enterprises in the Irkutsk region and the Bratsk region, which has significant reserves of wild food resources.

Key words: optimization, crops, wild plants, rainfed land, irrigation, expert assessments

Введение. Метод экспертных оценок как самостоятельный научный инструмент для решения неформализуемых проблем начал развиваться с 40-х годов прошлого века. Экспертные оценки получаются в результате обработки мнений опытных специалистов конкретной предметной области [9, 11].

Одним из основных направлений использования экспертных оценок в сельском хозяйстве является управление рисками аграрного производства [5, 21, 22]. Эффективное управление риском включает предвидение и прогнозирование возможных трудностей и планирование мероприятий с целью уменьшения неблагоприятных последствий, а не просто реагирование на неблагоприятные события после того, как они уже произошли.

При этом существуют два первичных аспекта управления рисками: предвидение и прогнозирование возможностей наступления неблагоприятных условий хозяйствования и разработка мер, направленных на уменьшения вероятности проявления таких событий; разработка мероприятий, направленных на снижение неблагоприятных последствий, в случае если они уже произошли [15].

Постановка задачи. Целью работы является использование различных моделей оптимизации производства аграрной продукции для управления с применением эмпирических данных и экспертных оценок. Для достижения этой цели предложено решение следующих задач: анализ трех моделей математического программирования для решения задач управления деятельностью аграрного предприятия с использованием экспертных оценок; реализация моделей на примере реальных аграрных предприятий.

Методы исследования. В работе использованы многолетние ряды агрометеорологических параметров по районам Иркутской области и показатели сельскохозяйственного производства предприятий агропромышленного комплекса региона. Для получения точечных значений, верхних и нижних оценок коэффициентов влияния своевременности посевов на параметры

производства, а также оценки изменчивости урожайности пищевой дикорастущей продукции и других параметров применен метод экспертной оценки.

Использованы три прикладные задачи: 1) оптимизация производства аграрной продукции с учетом экспертных оценок, характеризующих своевременность посева сельскохозяйственных культур; 2) оптимизация заготовки пищевой дикорастущей продукции с экспертными оценками урожайности дикоросов и стоимости продукции; 3) минимизация ущерба окружающей среде при производстве аграрной продукции на богарных и орошаемых землях.

Обсуждение результатов. Во многих случаях рассматривают две группы экспертных оценок: индивидуальные, основанные на использовании мнения отдельных экспертов, независимых друг от друга, и коллективные, в которых высказывает мнения группа экспертов. Индивидуальные оценки эффективны для определения интервала значений количественного параметра. Однако коллективные оценки, как показала практика, более точны.

Одним из примеров использования экспертных оценок в сельском хозяйстве может быть задача оптимизации размещения сельскохозяйственных культур.

Существуют разные варианты построения данной задачи в зависимости от свойств параметров прикладной экстремальной модели. Если колебания параметров модели оптимизации структуры посевных площадей являются незначительными, то, как правило, их значения усредняют, в этом случае используют задачу линейного программирования, характеризующую своевременность посева. В частном случае некоторые коэффициенты при неизвестных, целевой функций и левых частей ограничений могут быть описаны в виде регрессионных зависимостей. В этом случае для оптимизации размещения сельскохозяйственных культур применима задача параметрического программирования, в которой в качестве параметров используются расходы трудовых и материальных ресурсов, а также урожайность сельскохозяйственных культур. При этом регрессионные уравнения, характеризующие изменение урожайности сельскохозяйственных культур, трудовых ресурсов могут быть однофакторными и двухфакторными. В качестве факторов используются время, предшествующие значения температур и осадки.

В моделях оптимизации структуры посевов, применяемые коэффициенты влияния своевременности посева на затраты и урожайность, оценивают эксперты. Ими учитывается тот факт, что сроки посева (своевременность посева) влияют на объемы внесения удобрений и ядохимикатов, урожайность сельскохозяйственных культур, всхожесть, влажность, качество семян и другие [2]. Отсюда, рассматриваются три варианта получения продукции в зависимости от даты посева: ранний посев, посев в оптимальные сроки и поздний посев.

Для реализации этих моделей предлагается использовать оценки параметров, полученные экспертом-агрономом [3, 18]. При этом в задаче можно использовать конкретные точечные значения коэффициентов влияния своевременности посевов сельскохозяйственных культур на показатели производства [3]. В таком случае задача решается для некоторых усредненных значений показателей.

Помимо такого подхода эксперты могут оценить возможные колебания параметров, входящих в модели. В этом случае формулируется задача математического программирования с интервальными параметрами [2]. В такой задаче вместо точечных значений коэффициентов влияния своевременности посева используются их верхние и нижние оценки (таб. 1).

В работе [2] приведена задача математического моделирования с интервальными оценками коэффициентов влияния своевременности посева. Если не брать в расчет постоянные затраты на производство, т.е. независимые от своевременности посева, общий вид математической модели будет выглядеть следующим образом.

Таблица 1. Верхние и нижние оценки коэффициентов влияния своевременности посева
Table 1. The upper and lower estimates of the coefficients of the impact of timely sowing

Ситуации посева Sowing situations		Ранний посев Early sowing		Оптимальный посев Optimal sowing		Поздний посев Late sowing	
Границы интервалов Interval boundaries		Нижний Lower	Верхний Upper	Нижний Lower	Верхний Upper	Нижний Lower	Верхний Upper
Коэффициенты влияния Influence factors	Затраты на удобрение Fertilizer Costs	0,9	1,1	0,2	0,4	0,1	0,2
	Затраты на ядохимикаты Pesticides costs	0,9	1,1	0,1	0,3	0,4	0,6
	Затраты на сушку зерна Grain drying costs	0,1	0,3	0,1	0,3	0,9	1
	Урожайность Productivity	0,7	0,9	0,9	1,1	0,7	0,9

Минимизируются переменные затраты на возделывание культур одного предприятия:

$$f(x) = \sum_{i \in M} \sum_{j \in N} \tilde{k}_{ij} v_{ij} x_j \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\underline{\tilde{k}}_{ij} \leq \tilde{k}_{ij} \leq \bar{\tilde{k}}_{ij}$, v_{ij} - переменные затраты на группу операций i возделывания 1 га культуры j .

При этом введены следующие ограничения:

1) по использованию земельных угодий

$$\sum_{j \in N} x_j \leq B; \quad (2)$$

2) по предельным площадям отдельных групп культур

$$x_j \leq \bar{b}_j \quad (j \in N) \quad (3)$$

3) по потребности в продукции каждой культуры

$$\sum_{i \in M} \tilde{l}_{ij} a_{ij} x_j \geq A_j \quad (j \in N), \quad (4)$$

где $\underline{\tilde{l}}_{ij} \leq \tilde{l}_{ij} \leq \bar{\tilde{l}}_{ij}$;

4) по использованию трудовых ресурсов

$$\sum_{j \in N} b_{ij} x_j \leq V_i \quad (i \in M); \quad (5)$$

5) по обеспечению материальными ресурсами

$$\sum_{j \in N} w_{ij} x_j + \sum_{j \in N} k_{ij} v_{ij} x_j \leq W_i \quad (i \in M); \quad (6)$$

6) неотрицательности переменных

$$x_j \geq 0 \quad (j \in N). \quad (7)$$

В модели (1) – (7) коэффициенты $\underline{\tilde{k}}_{ij}$ и $\bar{\tilde{k}}_{ij}$ - нижние и верхние оценки влияния затрат на i -ю группу операций возделывания 1 га j -ой культуры; $\underline{\tilde{l}}_{ij}$ и $\bar{\tilde{l}}_{ij}$ - нижние и верхние оценки коэффициентов влияния на урожайность j -ой культуры при i -ой группе операций; B – площадь сельскохозяйственных культур; $\bar{b}_j$ - площади отдельных групп культур; a_{ij} – биопродуктив-

ность сельскохозяйственных культур; b_{ij} – трудовые ресурсы, используемые для производства продукции с 1 га; x_j – искомые площади сельскохозяйственных культур j .

В такой постановке задачи учтены только переменные затраты на производство продукции, которые связаны с коэффициентами влияния своевременности посева. Помимо этого, урожайность сельскохозяйственных культур также изменяется в зависимости от значений $\tilde{k}_{ij}$. Задача оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом интервальных экспертных оценок своевременности посева решена для ООО «Академия». Из множества оптимальных решений, полученных при реализации трех моделей (ранний, оптимальный и поздний посев) выбраны те из них, которые соответствуют верхним и нижним значениям целевой функции с соответствующими оптимальными планами. Сравнивая три варианта результатов между несвоевременным и оптимальным посевом (наибольшее, наименьшее и медианное значения целевой функции) для восьми основных сельскохозяйственных культур получены расхождения: 9,8, 7,3 и 7,6%. При этом значительное отличие наблюдается между оптимальными планами производства однолетних и многолетних трав при своевременном и несвоевременном посеве, достигающее 20-70%. Наличие разных ситуаций оптимизации размещения сельскохозяйственных культур необходимо учитывать при планировании деятельности аграрного предприятия.

Помимо моделирования аграрного производства использование экспертных оценок актуально в моделях оптимизации заготовки пищевой дикорастущей продукции с интервальными оценками [12]. К факторам, влияющим на урожай дикорастущей продукции, относятся температура воздуха, осадки и другие климатические параметры. В частности, на биопродуктивность ягод отрицательно влияют обильные осадки, температуры воздуха и заморозки. Основными показателями дикорастущей продукции, входящими в задачу оптимизации заготовки дикоросов, являются урожайность, допустимый объем сбора, трудозатраты и площади произрастания.

Ввиду затруднительности моделирования динамики урожайности дикорастущей продукции в виде трендов или функций распределения вероятностей этот параметр можно рассматривать как интервальный. При этом при заготовке дикоросов учитывают экспертные оценки, характеризующие не только значения урожайности пищевых дикорастущих ресурсов, но и затраты труда на получение продукции с единицы площади. Методы экспертных оценок могут быть использованы для определения стоимости дикоросов. В табл. 2 приведены значения интервальных оценок, характеризующих урожайность нескольких видов дикорастущих культур [12].

Таблица 2. Интервальные оценки, используемые в моделях заготовки дикорастущей продукции в Иркутской области

№	Вид дикорастущей продукции Type of wild products	Интервальные оценки, кг/га Interval estimates, kg / ha	
		Нижняя оценка Bottom Grade	Верхняя оценка Upper Grade
1	Кедровые орехи Pine nuts	50	175
2	Брусника Lingonberry	700	4000
3	Черника Blueberries	120	2200
4	Облепиха Sea buckthorn	2000	3000
5	Грибы Mushrooms	36	137
6	Маслята Butter	35	50
7	Грузди Gruzdy	35	45
8	Кипрей узколистый (Иван-чай) Fireweed narrow-leaved (Ivan tea)	69	5880

Общая модель оптимизации заготовок грибов и плодово-ягодных дикорастущих культур с интервальными параметрами приведена в работе [7]. Целевая функция, оптимизирующая доходы от заготовки дикоросов, имеет следующий вид:

$$f = \sum_{j \in J} \tilde{c}_j y_j \rightarrow \max, \quad (8)$$

где $\tilde{c}_j$ и $\bar{\tilde{c}}_j$ – нижние и верхние оценки $\tilde{c}_j$, характеризующие минимальную и максимальную стоимости килограмма ягод или грибов j -вида. Первая группа ограничений связана с урожайностью ягодоносных растений и грибов, кг/га:

$$\sum_{j \in J} \frac{x_j}{\tilde{p}_j} \leq \tilde{S}, \quad (9)$$

где $\tilde{p}_j$ и $\bar{\tilde{p}}_j$ – нижние и верхние оценки $\tilde{p}_j$, характеризующие минимальную и максимальную урожайность ягодоносных растений и грибов j -вида; $\tilde{S}$ – потенциальная площадь для осуществления сбора дикорастущей продукции j -вида одним заготовителем в пределах $\underline{\tilde{S}} \leq \tilde{S} \leq \bar{\tilde{S}}$; $\underline{\tilde{S}}$ и $\bar{\tilde{S}}$ – нижние и верхние оценки, характеризующие минимальную и максимальную площадь сбора дикорастущей продукции j -вида одним заготовителем.

Вторая группа ограничений связана с трудозатратами на заготовку одним заготовителем дикорастущей продукции:

$$\sum_{j \in J} \tilde{\beta}_j x_j \leq \tilde{B}, \quad (10)$$

где $\tilde{\beta}_j$ и $\bar{\tilde{\beta}}_j$ – нижние и верхние оценки $\tilde{\beta}_j$, характеризующие минимальное и максимальное количество чел.-дней для заготовки одного килограмма дикорастущей продукции j -вида одним заготовителем; $\underline{\tilde{B}}$ и $\bar{\tilde{B}}$ – нижние и верхние оценки, характеризующие минимальное и максимальное количество имеющихся чел.-дней для заготовки дикорастущей продукции j -вида одним заготовителем. Трудовые ресурсы по заготовке j -вида дикоросов зависят от ягодоносной и грибоносной площадей, трудоемкости сбора ягод и грибов и занятости населения.

Ограничение на неотрицательность переменных имеет следующий вид:

$$x_j \geq 0. \quad (11)$$

При использовании модели (8)–(11) определяется множество оптимальных планов, которое соответствует некоторым значениям целевой функции.

Для реализации подобных моделей эффективным является использование метода Монте-Карло. Из заданного множества полученных решений особый интерес вызывают оптимальные планы, соответствующие экстремумам и медианному значению целевой функции. Очевидно, что случаи, характеризующие оптимальный план с критерием $f_{\max}^{\min}$, описывают неурожайные годы, а решения, связанные со значениями $f_{\max}^{\max}$ отображают урожайные годы.

Применение модели (8) – (11) для Братского района с учетом 25 видов дикоросов позволило получить следующие результаты. Значения целевой функции, характеризующие доходы, колеблются от 2,46 до 3,27 млрд. руб.

Расхождения между верхними и нижними оценками относительно медианы составляет 28%. Следует отметить, что в задаче линейного программирования с интервальными параметрами в качестве таковых использовались помимо урожайности дикоросов стоимостные показатели и трудовые затраты на заготовку единицы продукции. Модель (8) – (11) позволяет планировать заготовку пищевой дикорастущей продукции с учетом возможных рисков.

При моделировании производства продовольственной продукции большое значение имеет описание негативного влияния источников загрязнения на земельные и водные ресурсы. Одно из направлений оценки загрязнения окружающей среды является ввод в модели эмпирических коэффициентов, учитывающих ухудшение рассматриваемого объекта [6].

Коэффициенты деградации почвы характеризуют влияние загрязнения почвы, эрозионных процессов, деформации почвы копытными животными и др.

В первом случае коэффициент находится делением площади загрязненных или эродированных земель на общую площадь. Во втором случае можно использовать метод недополучения продукции на загрязненном или эродированном участке земли. Кроме того, данные коэффициенты могут быть рассчитаны экспертным путем.

Коэффициенты воздействия загрязнений на производство растениеводческой продукции определены с помощью экспертных оценок агрономов хозяйств. Например, для Нукутского района значения этого параметра соответствуют: многолетние травы – $[0; 0,02]$, однолетние травы – $[0,01; 0,03]$, зерновые – $[0,02; 0,05]$.

В том случае, если нет информации по уровню эродированности или загрязненности вредными веществами земель сельскохозяйственных предприятий предлагается использовать усредненные данные муниципальных районов.

Общий вид математической модели, включающий богарное и орошаемое земледелие, выглядит следующим образом. Минимизируются затраты на производство растениеводческой продукции с учетом ущербов окружающей среде.

Критерий оптимальности математической модели производства растениеводческой продукции, как частный случай целевой функции оптимизации сочетания отраслей [2], имеет вид

$$f = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} c_{ik} \omega_{ik} p_{ik}^F x_{ik} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} c'_{ik} \omega'_{ik} \tilde{p}'_{ik} x'_{ik} \rightarrow \min, \quad (12)$$

где c_{ik} - прибыль, получаемая в сельскохозяйственной зоне i от продажи 1 ц товарной продукции культуры вида k на богарных землях; c'_{ik} - прибыль, получаемая от продажи 1 ц товарной продукции на орошаемых землях; x_{ik} - площадь угодий на богарных землях; x'_{ik} - площадь угодий на орошаемых землях; p_{ik}^F - урожайность на богарной земле как случайная величина с вероятностью F ; $\tilde{p}'_{ik} \leq \tilde{p}'_{ik} \leq \bar{\tilde{p}}'_{ik}$ - верхние и нижние оценки урожайности на орошаемой земле; ω_{ik} , ω'_{ik} - оценки негативного влияния на окружающую среду: на богарных землях; на орошаемых землях.

Ограничения по минимальному объему производства товарной растениеводческой продукции в регионе выглядят так

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (1 - \omega_{ik}) p_{ik}^F x_{ik} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (1 - \omega'_{ik}) \tilde{p}'_{ik} x'_{ik} \geq S \quad (13)$$

где S - минимальный объем производства растениеводческой продукции в регионе на богарных и орошаемых землях.

Ограничения по площади пашни в каждой сельскохозяйственной зоне определены в следующей редакции

$$\sum_{k \in K} x_{ik} + \sum_{k \in K} x'_{ik} \leq a_i \quad (i \in I), \quad (14)$$

где a_i - площадь пашни в сельскохозяйственной зоне i .

Ограничения по наличию трудовых ресурсов в каждой сельскохозяйственной зоне имеют вид

$$\sum_{k \in K} b_{ik} x_{ik} + \sum_{k \in K} b'_{ik} x'_{ik} \leq B_i \quad (i \in I), \quad (15)$$

где b_{ik} - затраты трудовых ресурсов на обработку 1 га богарных земель; b'_{ik} - затраты трудовых ресурсов на обработку 1 га орошаемых земель; B_i - трудовые ресурсы, которые используются в сельскохозяйственной зоне i .

Условия по предельно допустимой концентрации некоторых вредных веществ в почве выглядят так

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \varphi_{ikl} x_{ik} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \varphi'_{ikl} x'_{ik} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \tilde{v}_{ikl} x_{ik} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \tilde{v}'_{ikl} x'_{ik} \leq \rho_l \quad (l \in L), \quad (16)$$

где φ_{ikl} , φ'_{ikl} - исходная концентрация вредного вещества l на богарных и орошаемых землях; $\tilde{v}_{ikl} \leq \tilde{v}'_{ikl} \leq \bar{v}_{ikl}$, $\tilde{v}'_{ikl} \leq \tilde{v}_{ikl} \leq \bar{v}'_{ikl}$ - верхние и нижние оценки концентрации вредного вещества l , попавшего на богарные и орошаемые земли; ρ_l - величина предельно допустимой концентрации вредного вещества l в почве.

Параметры v_{ikl} и v'_{ikl} определены как интервальные оценки $\tilde{v}_{ikl}$ и $\tilde{v}'_{ikl}$.

Ограничения на водозабор в реке имеют вид

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} q_{ik} x'_{ik} \leq T' \xi, \quad (17)$$

где q_{ik} - оросительная норма на площади x'_{ik} с культурой k ; T' - вегетационный период; ξ - расход воды реки.

Условия по предельно допустимой концентрации некоторых вредных веществ в реке записываются в виде

$$\psi_l \xi + \mu_l \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} q_{ik} x'_{ik} \leq W_l \quad (l \in L), \quad (18)$$

где ψ_l - исходная концентрация вредного вещества l в реке; μ_l - концентрация вредного вещества l в единице объема возвратных вод хозяйства; W_l - заданные величины предельно допустимой концентрации вредного вещества l в реке.

Стекающие воды образуют промоины и овраги, вымывают и уносят питательные вещества. Водная и ветровая эрозия почвы наносит большой ущерб сельскому хозяйству степных районов.

Ограничение на почвенные потери от водной эрозии имеет вид

$$\sum_{k \in K} R^F U_{ik} D_{ik} V_{ik} C_{ik} P_{ik} x_{ik} + \sum_{k \in K} R^F U_{ik} D_{ik} V_{ik} C_{ik} P_{ik} x'_{ik} \leq \eta_i, \quad (19)$$

где η_i - годовые почвенные потери (т/га) в сельскохозяйственной зоне i ; R^F - фактор эродирующей способности дождей как случайная величина с вероятностью F ; U_{ik} - фактор податливости почв эрозии (т/га); D_{ik} - фактор длины склона; V_{ik} - фактор крутизны склона; C_{ik} - фактор растительности и севооборота; P_{ik} - фактор эффективности противоэрозионных мероприятий.

Модель (12) – (18) реализована для предприятия СХ ЗАО «Приморский» Нукутского района с использованием значений коэффициентов воздействия загрязнений на производство растениеводческой продукции, полученных экспертным путем. Расхождение значений целевой функции для вероятностей 0,2 и 0,8 составили около 10%. При этом усредненный ущерб хозяйству составляет свыше 2 млн. руб. Полученные результаты и оптимальные решения, приведенные в работе [6], показывают, что влияние загрязнения на результаты работы аграрного предприятия могут быть довольно ощутимыми. При этом следует иметь в виду продолжительное восстановление земельных ресурсов. Другими словами, эффект уменьшения получения продукции и деградации земель наблюдается в течение многолетнего периода.

Вывод. 1. Рассмотрено применение усредненных и интервальных экспертных оценок совместно с эмпирическими данными для моделирования сельскохозяйственного производства и заготовки пищевой дикорастущей продукции.

2. Для моделирования структуры посевных площадей применимы усредненные и интервальные экспертные оценки влияния своевременности посева на параметры производства, полученные одним или группой экспертов. В примере использованы индивидуальные интервальные оценки эксперта-агронома.

3. При оптимизации заготовки пищевой дикорастущей продукции применимы верхние и нижние оценки, полученные экспертным путем для урожайности ягодоносных растений и гри-

бов, стоимости единицы заготавливаемых видов продукции и трудовые затраты на заготовку дикоросов.

4. В задачах оценки негативного влияния источников загрязнения на земельные и водные ресурсы показана возможность использования экспертных оценок при определении коэффициентов воздействия загрязнений на производство растениеводческой продукции.

5. Приведены три модели, включающие экспертные оценки, позволяющие оптимизировать размещение сельскохозяйственных культур с учетом своевременности посева, планировать заготовку пищевых дикорастущих ресурсов и моделировать производство растениеводческой продукции с учетом минимизации ущерба окружающей среде. Модели математического программирования с экспертными оценками апробированы на реальных объектах Иркутской области.

Библиографический список:

1. Артющикина Д.В., Шеврина Е.В. Применение методов линейного программирования в сельском хозяйстве // Экономическая наука сегодня: теория и практика: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 29 июня 2017 г.), Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. - С. 201-204.
2. Асалханов П.Г., Иванько Я.М. Прогнозирование и планирование агротехнологических операций для природно-климатических зон региона. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2014. - 143 с.
3. Асалханов П.Г., Иванько Я.М., Зайцев А.М. Оптимизация производства растениеводческой продукции с учетом прогноза даты посева // Материалы 13-й междунар. науч. конф. «Сахаровские чтения 2013: экологические проблемы XXI века», Минск: МГЭУ им. Сахарова, 2013. - С. 163-164.
4. Асалханов П.Г., Иванько Я.М., Полковская М.Н. Модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в задачах параметрического программирования // Вестник Иркутского государственного технического университета – 2017. - №. 2 (121). С. 57-66.
5. Кибиров А.Я., Белова Е.В. Эффективный инструмент регулирования рисков в сельском хозяйстве // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве – 2012. - № 2. - С. 60-62.
6. Бендик Н.В., Иванько Я.М., Ковалева Е.А. Эколого-математические модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции // Вестник Иркутского государственного технического университета – 2016. - № 4 (111). - С. 66-74.
7. Болтвина Е.К., Иванько Я.М. Модели оптимизации заготовки дикорастущей продукции с интервальными параметрами // Вестник ИрГТУ. – 2016. - № 6. - С. 73–81.
8. Гайдук В.И., Калитко С.А., Багмут С.В. Управление рисками в аграрном предпринимательстве региона // АПК – экономика управления - 2010. - № 10. - С. 41.
9. Гуцыкова С.В. Метод экспертных оценок. Теория и практика. - М.: Когито-Центр. - 2017. – 509.
10. Давыденко А.Ю., Иванько Я.М., Хогоева Е.А. Эколого-математическая модель производства сельскохозяйственной продукции со случайными параметрами // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. - Вып. 61. - С. 115-120.
11. Хосиев Б.Н., Дзедисова А.Х. Применение экспертного способа оценки эколого-экономических рисков в сельском хозяйстве // Известия Горского государственного аграрного университета – 2012. - Т. 49. - № 1-2. - С. 270-276.
12. Иванько Я.М. и др. Потенциальные запасы дикорастущих ресурсов Иркутской области - Иркутск: Иркутский ГАУ, 2017. — 156 с.
13. Иванько Я.М. и др. Решение задач управления аграрным производством в условиях неполной информации - Иркутск: Изд-во ИрГСХА. - 2012. - 199 с
14. Иванько Я.М., Хогоева Е.А. Региональные экономико-математические модели аграрного производства с интервальными природными и производственно-экологическими параметрами // Известия Иркутской государственной экономической академии – 2013. - Вып. 6 (92). - 2013. - С 138-143.
15. Иванько Я.М., Петрова С.А. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков - Иркутск: Изд-во ИрГСХА. – 2015. - 180 с.
16. Иванько Я.М., Сатркова Н.В. Моделирование природных событий для управления региональными народно-хозяйственными объектами - Иркутск: Изд-во ИрГСХА. – 2011. – 160 с.
17. Левин В.И. Интервальный подход к оптимизации в условиях неопределенности // Системы управления, связи и безопасности – 2015. - № 4. - С. 123–141.
18. Солодун В.И., Зайцев А.М., Бояркин Е.В. Обоснование способов и сроков посева зерновых культур в Предбайкалье // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова – 2017. № 3. С. 101-105.
19. Сухановский Ю.П. Модель дождевой эрозии почв // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1114-1125.
20. Тяпаев Т.Б. Основные инструменты стратегического управления аграрным производством с учетом рисков // Символ науки. № 4-1 (16). 2016. С. 235-238.

21. Serebryakova M.F. The conditions forming uncertainty in agriculture // the Concept. 2015. Special issue No. 21.
22. Williams C.A., Heins R.M. Risk Management and Insurance, 5-th Ed, New York: McGraw-Hill Book Co. – 2003. – 755 p.

References:

1. Artyushkina D.V., Shevrina Ye.V. Primeneniye metodov lineynogo programmirovaniya v sel'skom khozyaystve // Ekonomicheskaya nauka segodnya: teoriya i praktika: materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Cheboksary, 29 iyunya 2017 g.), Cheboksary: TSNS «Interaktiv plus», 2017. - S. 201-204. [Artyushkina D.V., Shevrina E.V. Application of methods of linear programming in agriculture // Economics today: theory and practice: materials of the VII International. scientific-practical conf. (Cheboksary, June 29, 2017), Cheboksary: CNS Interactive Plus, 2017. pp. 201-204. (In Russ.)]
2. Asalkhanov P.G., Ivan'o YA.M. Prognozirovaniye i planirovaniye agrotekhnologicheskikh operatsiy dlya prirodno-klimaticheskikh zon regiona. Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA, 2014. - 143 s. [Asalkhanov PG, Ivanyo Ya.M. Forecasting and planning agrotechnological operations for the climatic zones of the region. Irkutsk: Publishing house Irsha, 2014. 143 p. (In Russ.)]
3. Asalkhanov P.G., Ivan'o YA.M., Zaytsev A.M. Optimizatsiya proizvodstva rasteniyevodcheskoy produktsii s uchetom prognoza daty poseva // Materialy 13-y mezhdunar. nauch. konf. «Sakharovskiye chteniya 2013: ekologicheskiye problemy XXI veka», Minsk: MGEU im. Sakharova, 2013. pp. 163-164. [Asalkhanov PG, Ivanyo Ya.M., Zaitsev A.M. Optimization of crop production, taking into account the forecast date of sowing // Materials of the 13th Intern. scientific conf. "Sakharov Readings 2013: Environmental Problems of the 21st Century", Minsk: Moscow State University of Economics Sakharova, 2013. p. 163-164. (In Russ.)]
4. Asalkhanov P.G., Ivan'o YA.M., Polkovskaya M.N. Modeli prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v zadachakh parametricheskogo programmirovaniya // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – 2017. - № 2 (121). S. 57-66. [Asalkhanov PG, Ivanyo Ya.M., Polkovskaya M.N. Models for forecasting crop yields in parametric programming problems // Bulletin of Irkutsk State Technical University 2017. № 2 (121). pp. 57-66. (In Russ.)]
5. Kibirov A.YA., Belova Ye.V. Effektivnyy instrument regulirovaniya riskov v sel'skom khozyaystve // Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve 2012. № 2. pp. 60-62. [Kibirov A.Y., Belova E.V. Effective tool for risk management in agriculture // Economy, labor, management in agriculture - 2012. № 2. - pp. 60-62. (In Russ.)]
6. Bendik N.V., Ivan'o YA.M., Kovaleva Ye.A. Ekologo-matematicheskiye modeli optimizatsii proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – 2016. - № 4 (111). S. 66-74. [Bendik N.V., Ivanyo Ya.M., Kovaleva E.A. Ecological-mathematical models of optimization of agricultural production // Bulletin of the Irkutsk State Technical University 2016. № 4 (111). pp. 66-74. (In Russ.)]
7. Boltvina Ye.K., Ivan'o YA.M. Modeli optimizatsii zagotovki dikorastushchey produktsii s interval'nymi parametrami // Vestnik IrGTU. – 2016. - № 6. - S. 73–81. [Boltvina E.K, Ivanyo Ya.M. Optimization models for harvesting wild-growing products with interval parameters // Vestnik ISTU. 2016. № 6. pp. 73–81. (In Russ.)]
8. Gayduk V.I., Kalitko S.A., Bagmut S.V. Upravleniye riskami v agrarnom predprinimatel'stve regiona // APK – ekonomika upravleniya - 2010. - № 10. - S. 41. [Gayduk V.I., Kalitko S.A., Bagmut S.V. Risk management in the agricultural entrepreneurship of the region // APK - Management Economics 2010. № 10. pp. 41. (In Russ.)]
9. Gutsykova S.V. Metod ekspertnykh otsenok. Teoriya i praktika. - M.: Kogito-Tsent. - 2017. – 509. [Gutsykova S.V. The method of expert estimates. Theory and practice. - M.: Kogito Center. - 2017. - 509. (In Russ.)]
10. Davydenko A.YU., Ivan'o YA.M., Khogoyeva Ye.A. Ekologo-matematicheskaya model' proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii so sluchaynymi parametrami // Vestnik Irkutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. - 2014. Vol. 61. S. 115-120. [Davydenko A.Yu., Ivanyo Ya.M., Khogoeva E.A. Ecological and mathematical model of agricultural production with random parameters // Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy. 2014. Vol. 61. pp. 115-120. (In Russ.)]
11. Khosiyev B.N., Dzebisova A.KH. Primeneniye ekspertnogo sposoba otsenki ekologo-ekonomicheskikh riskov v sel'skom khozyaystve", Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta 2012. T. 49. № 1-2. - S. 270-276. [Khosiev B.N., Dzebisova A.Kh. Application of expert method for assessing environmental and economic risks in agriculture", Izvestia Gorsky State Agrarian University. 2012. V. 49. № 1-2. pp. 270-276. (In Russ.)]
12. Ivan'o YA.M. i dr. Potentsial'nyye zapasy dikorastushchikh resursov Irkutskoy oblasti - Irkutsk: Irkutskiy GAU, 2017. — 156 s. [Ivanyo Ya.M. Potential reserves of wild-growing resources of the Irkutsk region - Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University, 2017. 156 p. (In Russ.)]
13. Ivan'o YA.M. i dr. Resheniye zadach upravleniya agrarnym proizvodstvom v usloviyakh nepolnoy informatsii - Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA. 2012. 199 s. [Ivanyo Ya.M. and others. Solution of agricultural production management problems in the context of incomplete information - Irkutsk: Ir.AAAAA. 2012. 199 p. (In Russ.)]
14. Ivan'o YA.M., Khogoyeva Ye.A. Regional'nyye ekonomiko-matematicheskiye modeli agrarnogo proizvodstva s interval'nymi prirodnymi i proizvodstvenno-ekologicheskimi parametrami // Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii – 2013. - Vol. 6 (92). 2013. S 138-143. [Ivanyo Ya.M., Khogoeva E.A. Regional economic and mathematical models of agricultural production with interval natural and production and environmental parameters // News of the Irkutsk State Economic Academy 2013. Vol. 6 (92). - 2013. Pp. 138-143. (In Russ.)]

15. Ivan'o YA.M., Petrova S.A. Optimizatsionnyye modeli agrarnogo proizvodstva v reshenii zadach otsenki prirodnykh i tekhnogennykh riskov - Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA. 2015. 180 s. [Ivano Y.M., Petrova S.A. Optimization models of agricultural production in solving problems of assessing natural and man-made risks - Irkutsk: Ir.AAAAA. 2015. 180 p. (In Russ.)]
16. Ivan'o YA.M., Satrkova N.V. Modelirovaniye prirodnykh sobyitiy dlya upravleniya regional'nymi narodno-khozyaystvennymi ob'yektami - Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA. 2011. 160 s. [Ivano Ya.M., Satrkova N.V. Simulation of natural events for the management of regional national economic objects - Irkutsk: Publishing house IGCA. 2011. 160 p. (In Russ.)]
17. Levin V.I. Interval'nyy podkhod k optimizatsii v usloviyakh neopredelennosti // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti – 2015. - № 4. - S. 123–141. [Levin, V.I. Interval approach to optimization in conditions of uncertainty // Control Systems, Communications and Security 2015. № 4. pp. 123–141. (In Russ.)]
18. Solodun V.I., Zaytsev A.M., Boyarkin Ye.V. Obosnovaniye sposobov i srokov poseva zernovykh kul'tur v Predbaykal'ye // Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova – 2017. - № 3. - S. 101-105. [Solodun V.I., Zaitsev A.M., Boyarkin E.V. Justification of the methods and timing of sowing crops in the Baikal region // Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy. V.R. Filippova - 2017. № 3. pp. 101-105. (In Russ.)]
19. Sukhanovskiy YU.P. Model' dozhdevoy erozii pochv // Pochvovedeniye 2010. № 9. S. 1114-1125. [Sukhanovsky Yu.P. Model of soil rain erosion // Soil Science . 2010. № 9. pp. 1114-1125. (In Russ.)]
20. Tyapayev T.B. Osnovnyye instrumenty strategicheskogo upravleniya agrarnym proizvodstvom s uchetom riskov // Simvol nauki. № 4-1 (16). 2016. S. 235-238. [Tyapayev T.B. The main tools of strategic management of agricultural production with regard to risk // Symbol of science. No. 4-1 (16). 2016. pp. 235-238. (In Russ.)]
23. Serebryakova M.F. The conditions forming uncertainty in agriculture // the Concept. 2015. Special issue No. 21.
24. Williams C.A., Heins R.M. Risk Management and Insurance, 5-th Ed, New York: McGraw-Hill Book Co. – 2003. 755 p.

Сведения об авторах:

Асалханов Петр Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, кафедра информатики и математического моделирования.

Бендик Надежда Владимировна – кандидат технических наук, доцент, кафедра информатики и математического моделирования.

Иваньо Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор, кафедра информатики и математического моделирования.

Information about authors:

Peter G. Asalkhanov - Cand. Sci. (Technical), Ass. Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling.

Nadezhda V. Bendik - Cand. Sci. (Technical), Ass. Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling.

Yaroslav M. Ivan'o - Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 08.05.2019.

Принята в печать 22.06.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 08.05.2019.

Accepted for publication 22.06.2019.