

УДК: 636/639:004.942

DOI:10.25729/ESI.2026.43.3.007

Оптимизация численности сельскохозяйственных животных с учетом деградации пастбищ в Монголии

Иваньо Яровлав Михайлович, Энхбат Ариунжаргал

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Россия,

Муниципальный район Иркутский, с. п. Молодежное, п. Молодежный, iymex@rambler.ru

Аннотация. Целью исследования является разработка оптимизационной модели для определения рациональной структуры поголовья различных видов сельскохозяйственных животных и их численности на определенной площади с учетом специализации хозяйства и экологической нагрузки на земельные ресурсы. Впервые построена модель, позволяющая определять структуру животных и их поголовье в условиях пастбищного животноводства при отсутствии и наличии деградации пастбищных земель, что актуально для сельского хозяйства Монголии. Целевая функция модели ориентирована на прибыль. Ограничения включают в себя объемы производимой продукции, обеспечение животных кормовыми и питательными веществами, трудозатраты на содержание животных, обеспечение водой, экологические требования к использованию животными пастбищ, численность разных групп. Поскольку обеспечение кормами сельскохозяйственных животных определяется урожайностью кормовых культур на пастбищах, проанализирована динамика объемов урожая кормовых культур на пастбищах разных регионов Монголии по данным 1960-2024 гг. с выделением трендов. Показано, что объемы урожая с 1992 года по настоящее время могут быть описаны с помощью экспоненциальной функции для Западного, Хангайского, Центрального и Восточного регионов Монголии. При реализации модели рассматривались домохозяйства с разной специализацией по отраслевому признаку. Проанализированы следующие виды животных: овцы, козы, лошади, крупный рогатый скот и верблюды. Выделено некоторое усредненное хозяйство по площади пастбища и трудозатратам на производство продукции. Определены производственно-экономическим и экологические характеристики модели. Рассчитаны варианты оптимальных решений для разных по специализации домохозяйств с учетом и без учета деградации пастбищ. Проведен сравнительный анализ результатов, и получены наилучшие варианты по максимальной прибыли. Для реализации разработанной модели использовано приложение LP Solve. Разработанная модель полезна для планирования производства с разными специализациями по животноводческим отраслям и разным уровнем деградации пастбищ.

Ключевые слова: линейное программирование, оптимизация, пастбищное животноводство, деградация пастбищ, Монголия

Цитирование: Иваньо Я.М. Оптимизация численности сельскохозяйственных животных с учетом деградации пастбищ в Монголии / Я.М. Иваньо, А. Энхбат // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2026. – № 3(43). – С. 83-92. – DOI:10.25729/ESI.2026.43.3.007.

Введение. Пастбищное животноводство, исторически сформировавшееся как кочевое, служит не только экономическим фундаментом, но и основой культурной идентичности, социальной структуры и продовольственной безопасности Монголии. Оно имеет свои особенности [1], обеспечивает существование значительной части населения и формирует экспортный потенциал страны. Однако в последние десятилетия отрасль сталкивается с серьезными вызовами, связанными с деградацией земель, снижением продуктивности пастбищ и опустыниванием за счет перевыпаса [2, 3]. Интенсификация животноводства в условиях рыночной экономики, климатические изменения, выражающиеся в учащении экстремальных погодных явлений, и социально-демографические сдвиги привели к стремительному росту поголовья скота. Рост поголовья скота, часто не согласованный с реальной кормовой емкостью угодий, усугубляет эти проблемы. Деградация экосистем, в свою очередь, ведет к снижению продуктивности животных, экономическим потерям хозяйств и росту рисков для средств к существованию населения, формируя порочный круг. В этих условиях критически важным становится применение научно обоснованных методов управления стадом и пастбищными ресурсами.

Насущной необходимостью является разработка и внедрение современных инструментов поддержки принятия решений, способных количественно оценивать последствия различных стратегий хозяйствования. Использование эколого-экономических математических моделей, интегрирующих биологические, производственные, экономические и экологические факторы в единую систему, позволяет перейти к адекватному планированию для повышения эффективности управления. Такой подход направлен на одновременное достижение двух стратегических целей: обеспечение стабильной экономической эффективности животноводческих хозяйств и сохранение экологической устойчивости пастбищных экосистем.

Целью исследования является разработка оптимизационной модели для определения рациональной структуры поголовья различных видов сельскохозяйственных животных и их численности на определенной площади с учетом специализации хозяйства и экологической нагрузки на земельные ресурсы.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- 1) информационное обеспечение экстремальной модели, под которой понимается вариант оптимизационной модели, предназначенный для анализа структуры и численности поголовья сельскохозяйственных животных в условиях экстремально благоприятных и неблагоприятных природно-климатических событий с учетом вероятности их возникновения, заключающееся в сборе и систематизации данных по продуктивности животных, нормам потребления кормов и воды, трудозатратам, экономическим показателям и экологическим ограничениям для различных природно-климатических зон Монголии;
- 2) разработка модели оптимизации сельскохозяйственных животных на пастбище с целевой функцией максимизации прибыли и системой ограничений, включающей экологический показатель деградации земель;
- 3) реализация модели на основе данных хозяйств Монголии с учетом их специализации.

Материалы и методы. На основании справочных данных, в частности, «Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных» [4], проанализированы материалы для определения потребностей животных в питательных веществах (кормовые единицы, сухое вещество, протеин, кальций). В исследовании использованы статистические данные, в том числе официальные отчеты и сведения по урожайности пастбищ в различных регионах Монголии [5], а также справочные данные по ценам на продукцию, затратам на корма и оплату труда, собранные из открытых источников и экспертных оценок, показатели деградации земель и коэффициенты негативного влияния выпаса [6, 7]. В табл. 1 приведены усредненные значения коэффициентов левых частей ограничений и целевой функции для моделирования численности сельскохозяйственных животных.

При построении модели использованы методы линейного программирования. В качестве коэффициентов при неизвестных целевой функции и ограничений использованы усредненные значения. Предложены разные варианты модели в зависимости от специализации хозяйства.

Основные результаты. Многие авторы для решения задач оптимизации производства продукции в разных отраслях сельского хозяйства используют задачи математического программирования разного вида: детерминированные, стохастические, интервальные, параметрические и другие [8-11] для решения управленческих задач [12, 13].

Из многих моделей выделим эколого-математическую модель, позволяющую оптимизировать производство сельскохозяйственной продукции сочетания отраслей с учетом загрязнения и эрозии почвы [14].

Модифицируем эту модель применительно к решению задачи оптимизации разных видов сельскохозяйственных животных при пастбищном животноводстве. Особенностью

такой модели является выделение видов животных по специализации хозяйства, учет деградации земель от чрезмерного выпаса, специфики климатических зон пастбищной территории.

Таблица 1. Данные для построения модели оптимизации численности сельскохозяйственных животных на пастбище применительно к усредненному домохозяйству Монголии

Виды животных	Овцы	Козы	Лошади	Крупный рогатый скот	Верблюды
Прибыль с 1 голов, руб.	2156,42	5207,91	58657,50	55581,20	77594,87
Цена мяса 1 кг, руб.	268	223	241	312	209
Цена шерсти 1 кг, руб.	23	3208			370
Цена молока 1 кг, руб.	100	148	300	119	500
Сено, ц	30	30	40	45	35
Сумма покупки корма (овес, ячмень, зеленый корм), ц	3,28	2,92	7,30	10,9	5,47
Расход воды за год, л	730	730	7300	10950	9130
Затраты труда, чел. ч	130	130	90	243,6	150
Площадь пастбища, га	1	0,9	7	5	6
Обеспечение потребности в питательных ц к.е.	4,38	4,38	16,9	20,4	25,1
Обеспечение потребности в сухом веществе, ц	5,48	5,48	24,1	24,8	31,8
Обеспечение потребности в протеине, ц	0,785	0,66	2,65	2,993	3,25
Обеспечение потребности в кальции, ц	0,026	0,022	0,072	0,14	0,22

Преобразованную модель можно записать следующим образом.

Максимизация общей прибыли от использования пастбищ для разных видов животных примет вид:

$$f = \sum_{k \in K} c_k y_k \rightarrow \max, \quad (1)$$

где c_k – прибыль от продажи продукции животных вида k (руб./гол), y_k – количество животных вида k , K – множество видов животных. Искомые переменными являются y_k – количество животных вида k .

Ограничение по обеспечению заданного объема производства животноводческой продукции запишем так:

$$r_k y_k \geq Y_k, \quad (2)$$

где r_k – продуктивность животных вида k (ц/гол), Y_k – заданный объем производства животноводческой продукции k (ц).

Для обеспечения потребности в кормовых и питательных веществах для животных можно использовать неравенство:

$$\sum_{j \in J} (1 - \alpha_j) \beta_{\theta j} \rho_j z \geq \sum_{k \in K} B_{\theta k} y_k \quad (\theta \in \Theta), \quad (3)$$

где $B_{\theta k}$ – минимальная потребность в питательном элементе θ для животного вида k (ц/гол.); $\beta_{\theta j}$ – содержание питательного элемента θ в единице кормовой продукции культуры j (ц. корм. ед.), Θ – множество питательных элементов, z – площадь пастбища, ρ_j – урожайность культуры j , α_j – коэффициент, характеризующий деградацию почвы на пастбище.

Необходимо соблюдать ограничение по трудозатратам:

$$\varepsilon_k y_k \leq E_k, \quad (4)$$

где ε_k – затраты трудовых ресурсов для ухода за животным (чел. ч/гол.); E_k – имеющиеся трудовые ресурсы для производства продукции вида k (чел. ч).

Ограничение по обеспечению водой животных имеет вид:

$$\sum_{k \in K} l_k y_k \leq TQ, \quad (5)$$

где l_k – объем воды, необходимый для одного животного вида k за год (м^3), T – продолжительность года (в днях), Q – расход воды от источника за год (м^3), y_k – количество животных вида k .

Для эффективного использования пастбищ:

$$\sum_{i \in j} \sum_{k \in K} (1 - \alpha_j) v_{jk} y_k \leq z,$$

где v_{jk} – норма использования площади пастбища с культурой j и животным вида k (га/гол).

Искомые переменные должны быть неотрицательными:

$$y_k \geq 0. \quad (7)$$

Модель, благодаря введению ограничений по количеству животных определенного вида, может быть использована для разных групп хозяйств по специализации ведения пастбищного животноводства, что позволяет задавать различные ограничения на количество животных определенных видов. Это способствует моделированию разных стратегий хозяйств (например, преимущественное разведение мелкого рогатого скота, комбинация содержания мелкого и крупного рогатого скота и др.).

$$y_k \leq U_k, \quad (8)$$

где U_k – заданная численность животных вида k .

Коэффициент деградации α_j является системообразующим параметром эколого-экономической модели. Его вариация позволяет количественно оценить последствия для поголовья животных, рынка продукции, логистики кормов и использования трудовых ресурсов. При значении $\alpha_j=0$ система находится в равновесном состоянии, и дефицит кормовой базы отсутствует. Последовательное увеличение коэффициента, который, согласно статистическим данным [2], может достигать максимального значения $\alpha_j=0,33$, позволяет моделировать возможности использования деградирующих пастбищ. Очевидно, что для разных культур этот коэффициент принимает разные значения. Поэтому приведенное значение является усредненной величиной.

Согласно принципам модели линейного программирования (1) – (7), рост α_j напрямую сокращает доступный ресурс в ограничении по кормам (3) и эффективному использованию площади (6). Это приводит к снижению оптимальной численности поголовья (y_k) для всех видов животных k . Причем наиболее значительное сокращение ожидается для видов с высокой нормой потребления кормов и площади (крупный рогатый скот, верблюды, лошади).

Снижение предложения животноводческой продукции на внутреннем рынке, обусловленное сокращением поголовья, при стабильном или растущем спросе создает условия для роста цен. Наиболее значительная ценовая динамика прогнозируется для мяса, как продукта первой необходимости. Цены на шерсть и кашемир, помимо внутреннего баланса спроса и предложения, демонстрируют высокую корреляцию с конъюнктурой мирового рынка, в частности, со спросом со стороны Китайской Народной Республики. Колебания цен могут достигать 50–100% в периоды после экстремальных погодных явлений, которые усугубляются деградированным состоянием пастбищ.

Анализ данных общего урожая кормовых культур на пастбищах разных регионов Монголии за 1960-2024 годы позволяет выявить несколько ключевых тенденций характеристики (рис. 1). Урожай снижался с 1960 по 1967 год по линейному тренду, затем увеличивался с 1968 по 1985 год, по логарифмической функции, после чего линейно убывал с 1986 по 1991 год (табл. 2). Однако, достигнув минимума в 1991 году, урожай с 1992 года по настоящее время возрастает по экспоненте. На рис. 1 показан точечный прогноз урожая до 2029 года по экспоненциальной функции при допущении инерционности процесса роста.

Таблица 2. Тренды общий объем урожая кормовых культур на пастбищах в Монголии по данным 1960-2024 гг.

Характеристика	Уравнение	R^2	F-критерий Фишер	Уровень значимости F-критерия, α	t-критерий Стьюдента
Урожай кормовых культур на пастбищах, т	Линейная (2)				
	$\rho_t = -109.0t + 1480$	0,80	24,05	0.0027	-4.9
	Логарифмическая (3)				
	$\rho_t = 546e^{0.0533t}$	0,92	172.4	5.5×10^{-10}	13.1г
	Линейная (4)				
	$\rho_t = -87.0t + 3670$	0,78	14,49	0,019	-3,8
	Экспоненциальная (5)				
	$\rho_t = 598e^{0.0287t}$	0.90	294,0	$2,3 \times 10^{-17}$	17,2

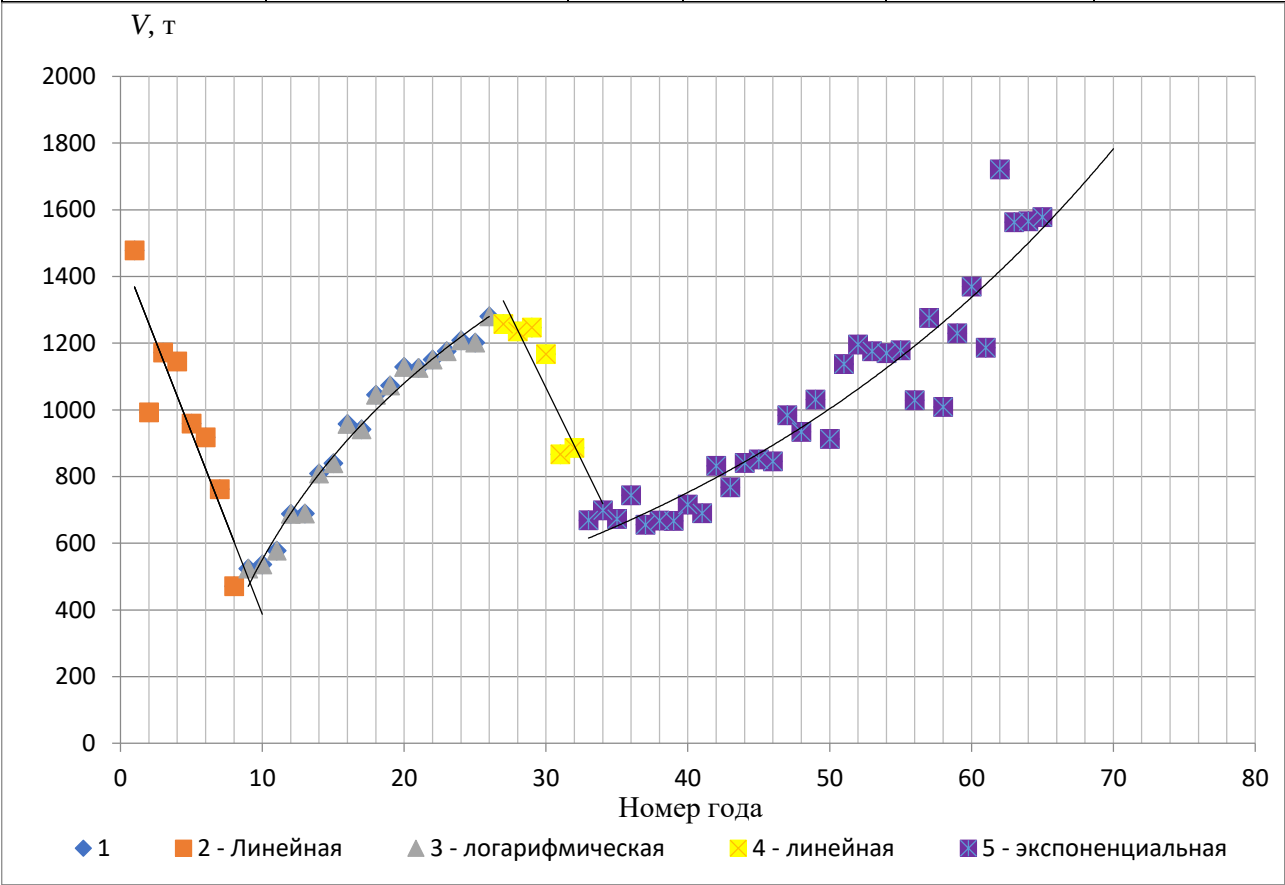


Рис. 1. Тренды общий объем урожая кормовых культур на пастбищах разных регионов Монголии по данным 1960-2024 гг. с использованием линейной (2) и (4), логарифмической (3) и экспоненциальной функции (5)

Полученные колебания урожая обобщены по четырем административным регионам Монголии: Западном, Хангайском, Центральном и Восточном. Динамика урожая каждого региона может быть описана экспоненциальным трендом с разной интенсивностью роста (табл. 3).

Обеспечение водопоя животных отражает ограничение (5). Пространственное распределение водных ресурсов неравномерно по территории Монголии. Регионы с использованием речных ресурсов (Хангайский, некоторые части Западного региона, некоторые части Восточного региона) характеризуются относительно развитой гидрографической сетью. Поверхностные водотоки (реки, ручьи) здесь выступают основным

источником для водопоя [15, 16]. В этих регионах также потенциально возможно применение простейших методов полива сенокосных участков.

Таблица 3. Объем урожая кормовых культур на пастбищах общий, Западном, Хангайском, Центральном и Восточном регионах с 1992 по 2024 год

Характеристика	Уровнение	R^2	F-критерий Фишер	Уровень значимости F-критерия, α	t-статистика Стьюдента
Урожай кормовых культур на пастбищах, т	Западный				
	$\rho_t = 122e^{0,0232t}$	0,80	133.6	9×10^{-13}	11.6
	Хангайский				
	$\rho_t = 178e^{0,0319t}$	0,85	174.8	2.8×10^{-14}	13.2
	Центральный				
	$\rho_t = 168e^{0,0291t}$	0.84	160.2	8.7×10^{-14}	12.7
	Восточный				
	$\rho_t = 97,0e^{0,0346t}$	0.84	158.7	9.9×10^{-14}	12.6

Регионы с дефицитом поверхностных вод (некоторые части Западного региона, некоторые части Восточного региона, Центральный) отличаются аридным и семиаридным климатом, где реки носят эпизодический или сезонный характер. Основным источником водоснабжения являются подземные воды, доступные через традиционные колодцы большой глубины и артезианские скважины. В критических ситуациях практикуется подвоз воды автоцистернами.

На основе модели (1) – (8) с определением коэффициентов целевой функции и левых частей ограничений, а также правых частей определены оптимальные решения для разных хозяйств по специализации с учетом деградации пастбищ (табл. 4).

Модель (1) – (8) реализована для некоторого усредненного хозяйства по площади пастбища.

Исходные данные для модели разделены на две группы. Первая группа включает в себя производственные показатели, такие, как выход мяса, молока, шерсти на 1 голову; нормы потребления сена, концентратов, воды; потребность в питательных веществах; затраты труда в чел./ч. Используются данные из нормативных справочников, адаптированные к условиям Монголии. Для урожайности пастбищ использованы данные за 1960-2024 гг. Вторая группа состоит из производственно-экономических показателей: оплата труда, цена реализации продукции, себестоимость кормов, прибыль, дополнительные корма.

Для решения задачи использован симплекс-метод. Для реализации модели использовано приложение LP Solve.

Данные табл. 4 показывают, как различные управленческие сценарии влияют на экономическую эффективность животноводства при деградации пастбищ и ее отсутствии.

Первый вариант без ограничения (8), позволил получить максимальную прибыль 13,97 млн руб. при сбалансированном количестве стада с преобладанием КРС (178 гол.) и значительном количестве мелкого рогатого скота (МРС).

Введение ограничений на виды животных, требующих больших пастбищных площадей или воды (верблюды, КРС, лошади), изменяют структуру стада и поголовье животных. Например, третий вариант приводит к резкому увеличению поголовья овец и коз (184 и 533 голов соответственно) и к снижению прибыли на 25% по сравнению с базовым сценарием. Это характеризует особенности ведения хозяйства с малым рогатым скотом и требуемым для этого ресурсам.

Таблица 4. Оптимальные планы производства животноводческой продукции (головы) и значения целевой функции (тыс. руб.) при отсутствии деградированных пастбищ и их наличии – $\alpha_j=0,30$ (отмечены *)

Специализация	Овцы	Козы	Лошади	КРС	Верблюды	Целевая функция, тыс. руб.
1. Скотоводство, козоводство, овцеводство	105	158	12	178	30	13965,458
	541	0	0	73	12	6177,815*
2. Козоводство, овцеводство, коневодство	176	195	103	53	10	11183,217
	531	36	11	56	10	5863,890*
3. Козоводство, овцеводство, скотоводство	184	533	50	70	6	10463,928
	250	299	14	70	2	6962,923*
4. Скотоводство, коневодство, верблюдоводство	34	16	45	167	34	14684,578
	0	95	25	104	33	10318,428*
5. Козоводство, скотоводство, овцеводство	80	218	30	175	6	13287,2250
	110	396	0	96	6	8074,677*

Четвертый вариант не только не снижает, но и превышает прибыль первого варианта (14,68 млн руб.). Модель, которая лишена возможности содержать большое количество лошадей, перераспределяет ресурсы в пользу более рентабельных в данных условиях видов, увеличивая долю высокопродуктивного КРС или МРС.

Пятый вариант имеет значения для хозяйств с небольшим числом верблюдов. Здесь упор делается на козоводство и скотоводство с небольшим поголовьем овец.

Согласно данным табл. 3, деградация пастбищ способствует значительным потерям прибыли и влияет на структуру видов животных и их количество. Сравнительные результаты показывают, что расхождения между прибылью от пастбищного животноводства для деградированных и недеградированных пастбищ с разными вариантами специализации изменяются от 30 до 56 %. При этом наилучшие результаты получены для четвертого и пятого вариантов, в том числе с учетом деградации пастбищ.

Следует отметить, что приведенные результаты получены для некоторого усредненного домохозяйства с площадью пастбища 1400 га и общими трудозатратами, не превышающими 90000 чел. ч. Обычно при расчетах число ограничений составляет от 14 до 17, а количество искомых переменных – 5. Информация для модели готовилась в течение шести месяцев. Поскольку задача небольшой размерности, она решается за считанные минуты. При корректном вводе ограничений оптимальное решение всегда определялось.

Практически во всех сценариях поголовье овец и коз остается высоким или даже увеличивается. Это подтверждает их ключевую роль, как наиболее адаптивного и устойчивого вида в условиях нестабильной ресурсной базы. Они выступают «буфером», который позволяет хозяйству оставаться рентабельным при ухудшении внешних условий.

Заключение. Разработана и реализована оптимизационная модель линейного программирования для управления пастбищным животноводством в Монголии с учетом особенностей характеристик модели. В качестве сельскохозяйственных животных рассмотрены овцы, козы, лошади, крупный рогатый скот и верблюды. Ключевым преимуществом разработанной модели является комплексный учет не только экономических

и производственных, но и экологических ограничений за счет нормированных характеристик и коэффициента деградации пастбища.

Разработанная модель позволяет получать разные варианты планирования с учетом специализации хозяйств и выявлять оптимальные структуры поголовья для каждого вида животных в усредненных условиях деятельности.

Полученные результаты могут быть использованы органами государственного управления и отдельными хозяйствами для разработки стратегий устойчивого развития животноводства, направленных на сохранение пастбищных экосистем Монголии при обеспечении экономической эффективности.

Список источников

1. Речкин С.В. Математическое моделирование процесса пастбищного животноводства при использовании цифровых технологий / С.В. Речкин, А.П. Сырбаков, В.А. Ротова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2024. – № 3 (233). – С. 98-103.
2. Министерство продовольствия, сельского хозяйства и легкой промышленности, Отчет об использовании пастбищ для животноводческого сектора – Улан-Батор: Монголии, 2025. – URL: <https://mofa.gov.mn/branch/maa/616f8fba73bc4a5fc70f21f3>
3. Монголия: Экологические вызовы и пути их решения / Под ред. Л. Энхбаяр. – Улан-Батор: Академия наук Монголии, 2022. – 210 с.
4. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справочное пособие / А.П. Калашников, Н.И. Клейменов, В.Н. Баканов и др. – Москва: России, 2003. – 359 с.
5. Статистические данные Монголии. – URL: <https://www.1212.mn/mn> (дата обращения 22.11.2025)
6. Сводные результаты сельскохозяйственного сектора за 2022 год / Под ред. Б. Батдаваа. Улан-Батор, 2022. – 184 с.
7. Решения проблем пастбищ в Монголии / Под ред. А. Бакей. – Улан-Батор: ПРООН, 2019. – URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/mn/Pastureland_Mongolia_Report.pdf (дата обращения 23.10.2025).
8. Математические и цифровые технологии оптимизации производства продовольственной продукции / Я.М. Иваньо, П.Г. Асалханов, М.Н. Барсукова и др.; под ред. Я.М. Иваньо. – Молодежный, 2021. – 219 с.
9. Юдин, Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования/ Д.Б. Юдин. – Москва: Советское радио, 1979. – 392 с.:
10. Задачи линейной оптимизации с неточными данными /М. Фидлер., Й.Недома, Я. Рамик, И. Рон, К. Циммерманн. – М.: Институт компьютерных исследований 2008. – 288 с.
11. Барсукова М.Н. Параметрическая оптимизация получения продовольственной продукции с учетом особенностей характеристик временных рядов / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо, В.В. Цыренжапова, и др // Лесной вестник. Forestry Bulletin, 2025. – Т. 29, № 3. – С. 181-193.
12. Гусейнов А.М. Автоматизированные системы управления пастбищами / А.М. Гусейнов, В.В. Климов // Вопросы агроэкологии, 2023. – № 2. – С. 67–74.
13. Ivanyo Ya. M., Petrova S. A. Comprehensive assessment of the development potential of plant production in the municipal district //Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2025, vol. 17, no. 2, pp. 535-552.
14. Иваньо Я. М. Эколого-математическое моделирование производства аграрной продукции: монография /Я.М. Иваньо, Е.А. Ковалева. – Молодежный, 2024. – 118 с.
15. Вода - Национальная программа – URL: <https://eghpp.mn/%D1%83%D1%81-%D2%AF%D0%BD%D0%B4%D1%8D%D1%81%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D1%85%D3%A9%D1%82%D3%A9%D0%BB%D0%B1%D3%A9%D1%80/> (дата обращения 25.11.2025).
16. Экологическо-экономические отчеты: отчет водного потока 2023 года / Под ред. Б. Батдаваа. – Улан-Батор: Монголии, 2024. – 22 с.

Иваньо Ярослав Михайлович. Доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования института экономики, управления и прикладной информатики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. AuthorID: 106394, SPIN: 9654-8057, ORCID: 0000-0003-4118-7185, iymex@rambler.ru. 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, сельское поселение Молодежное, поселок Молодежный.

Энхбат Ариунжаргал. Аспирантка ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет.
AuthorID: 1331322, SPIN: 2234-7964, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, сельское поселение Молодежное, поселок Молодежный.

UDC: 636/639:004.942

DOI:10.25729/ESI.2026.43.3.007

Optimization of the number of farms livestock taking into account the degradation of pastelands in Mongolia

Yaroslav M. Ivanyo, Enkhbat Ariunjargal

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,
Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye rural settlement, Molodezhny,
iymex@rambler.ru

Abstract. The aim of this study is to develop an optimization model for determining the rational livestock structure and population size for various livestock species in a given area, taking into account farm specialization and the environmental load on land resources. This is the first model developed that allows for determining the livestock structure and population size under conditions of pasture livestock farming, both with and without pasture land degradation, which is relevant for Mongolian agriculture. The model's objective function is profit-oriented. Constraints include production volumes, provision of animals with feed and nutrients, labor costs for animal maintenance, water supply, environmental requirements for pasture use by animals, and the population size of different groups. Since the supply of feed for livestock is determined by the yield of forage crops on pastures, the dynamics of forage crop yields on pastures in different regions of Mongolia are analyzed based on data from 1960 to 2024. It is shown that harvest volumes from 1992 to the present can be described using an exponential function for the Western, Khangai, Central, and Eastern regions of Mongolia. The model was implemented using households with different industry specializations. The following livestock species were analyzed: sheep, goats, horses, cattle, and camels. A certain average farm size was identified based on pasture area and labor costs for production. The production, economic, and environmental characteristics of the model were determined. Optimal solutions were calculated for households with different specializations, with and without pasture degradation. A comparative analysis of the results was conducted, and the best options for maximum profit were obtained. The LP Solve application was used to implement the developed model. The developed model is useful for production planning with different livestock specializations and varying levels of pasture degradation.

Keywords: linear programming, optimization, pasture livestock farming, pasture degradation, Mongolia

References

1. Rechkin S.V., Syrbakov A.P., Rotova V.A. Matematicheskoye modelirovaniye protsessa pastbishchnogo zhivotnovodstva pri ispol'zovanii tsifrovyykh tekhnologiy [Mathematical modeling of the process of pasture livestock farming using digital technologies]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2024, no. 3 (233), pp. 98-103.
2. Ministerstvo prodovol'stviya, sel'skogo khozyaystva i legkoy promyshlennosti, Otchet ob ispol'zovanii pastbishch dlya zhivotnovodcheskogo sektora [Ministry of Food, Agriculture and Light Industry, Report on Pasture Use for the Livestock Sector], Ulanbator, 2025. Available at: <https://mofa.gov.mn/branch/maa/616f8fba73bc4a5fc70f21f3> (accessed: 11/22/2025).
3. Mongoliya: Ekologicheskiye vyzovy i puti ikh resheniya [Mongolia: Environmental Challenges and Solutions]. Ed. by L. Enkhbayar. Ulaanbaatar, Mongolian Academy of Sciences Publ., 2022, 210 p.
4. Kalashnikov A.P., Kleymentov N.I., Bakanov V.N. et al. Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh: Spravochnoye posobiye [Feeding Standards and Rations for Farm Animals: A Reference Guide]. Moscow, Rossiya Publ., 2003, 359 p.
5. Statisticheskiye dannyye Mongolii [Statistical data of Mongolia]. Available at: <https://www.1212.mn/mn> (accessed: 11/23/2025).
6. Svodnyye rezul'taty sel'skokhozyaystvennogo sektora za 2022 god [Consolidated results of the agricultural sector for 2022]. Ed. by B. Batdavaa. Ulanbator, 2022, 184 p.

7. Resheniya problem pastbishch v Mongolii [Solutions to Pasture Problems in Mongolia]. Ed. by A. Bakey. Ulan-Bator: PROON, 2019. Available at: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/mn/Pastureland_Mongolia_Report.pdf (accessed: 11/23/2025).
8. Ivanyo Ya. M., Asalkhanov P.G., Barsukova M.N. et al. Matematicheskiye i tsifrovyye tekhnologii optimizatsii proizvodstva prodovol'stvennoy produktsii: monografiya [Mathematical and Digital Technologies for Optimizing Food Production: Monograph]. Molodezhnyy, 2021, 219 p.
9. Yudin D.B. Zadachi i metody stokhasticheskogo programmirovaniya [Problems and methods of stochastic programming]. Moscow, Sovetskoye radio [Soviet Radio] Publ., 1979, 392 p.
10. Fiedler M., Nedoma J., Ramik J. et al. Zadachi lineynoy optimizatsii s netochnymi dannymi [Problems of linear optimization with imprecise data]. Moscow, Institute of Computer Science Publ., 2008, 288 p.
11. Barsukova M.N., Ivanyo Ya.M., Tsyrenzhapova V.V. et al. Parametricheskaya optimizatsiya polucheniya prodovol'stvennoy produktsii s uchetom osobennostey kharakteristik vremennykh ryadov [Parametric optimization of food production taking into account the features of time series characteristics]. Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 181-193.
12. Guseynov A.M., Klimov V.V. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya pastbishchami [Automated pasture management systems]. Voprosy agroekologii [Issues of Agroecology], 2023, no. 2, pp. 67–74.
13. Ivanyo Ya. M., Petrova S. A. Comprehensive assessment of the development potential of plant production in the municipal district //Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2025, vol. 17, no. 2, pp. 535-552.
14. Ivanyo Ya. M., Kovaleva Ye.A. Ekologo-matematicheskoye modelirovaniye proizvodstva agrarnoy produktsii: monografiya [Ecological and mathematical modeling of agricultural production: monograph]. Molodezhny, 2024, 118 p.
15. Voda – Natsional'naya programma [Water – National Program]. Available at: <https://eghpp.mn/%D1%83%D1%81-%D2%AF%D0%BD%D0%B4%D1%8D%D1%81%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D1%85%D3%A9%D1%82%D3%A9%D0%BB%D0%B1%D3%A9%D1%80/> (accessed: 11/25/2025).
16. Ekologicheskoye-ekonomicheskoye otchety: otchet vodnogo potoka 2023 goda [Environmental and economic reports: water flow report 2023]. Ed. by B. Batdavaa.. Ulanbator, 2024, 22 p.

Yaroslav M. Ivanyo. Doctor of technical sciences, professor of the department of informatics and mathematical modeling of the institute of economics, management and applied informatics. Irkutsk state agriculture university named after A.A. Ezhevsky. AuthorID: 106394, SPIN: 9654-8057, ORCID: 0000-0003-4118-7185, iymex@rambler.ru. 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye rural settlement, Molodezhny.

Enkhbat Ariunjargal. PhD student, FSBEI HE Irkutsk SAU. eariuka329@gmail.com. AuthorID: 1331322, SPIN: 2234-7964, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye rural settlement, Molodezhny.

Статья поступила в редакцию 23.12.2025; одобрена после рецензирования 18.01.2026; принята к публикации 02.08.2026.

The article was submitted 12/23/2025; approved after reviewing 01/18/2026; accepted for publication 08/02/2026.