ISSN 2713-1734

Научная статья
УДК 338.43:519.85:633.2(636.03)
EDN PNLBLR
DOI 10.17150/2713-1734.2026.8(3).326-341

Я.М. Иваньо
Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутский район, Российская Федерация

А. Энхбат
Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутский район, Российская Федерация

Многоуровневое параметрическое моделирование структуры и поголовья пастбищных животных для природно-экономических регионов Монголии

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы многоуровневого параметрического моделирования структуры и поголовья пастбищных животных для природно-экономических регионов Монголии с учетом особенностей деградации пастбищных угодий. Объектом исследования являются многоуровневые модели оптимизации структуры и численности животных применительно к Западному, Хангайскому, Центральному и Восточному природно-экономическим регионам Монголии.

В работе использована многоуровневая параметрическая задача математического программирования, позволяющая учитывать неблагоприятные, средние и благоприятные сценарии функционирования хозяйств. Разработанные модели для разных природно-экономических регионов включают в себя ограничения по объему производства продукции, обеспеченности кормами, водным ресурсам, трудозатратам, площади пастбищ и коэффициентам деградации. В качестве параметра моделей использовано время (годы), с которым связано обеспечение животных необходимыми кормами. Для Хангайского, Центрального и Восточного природно-экономических регионов получены многоуровневые тренды урожайности сельскохозяйственных культур, которые использованы при моделировании структуры и численности пастбищных животных. Для Западного природно-экономического региона временной ряд урожайности кормовых культур подчиняется вероятностному распределению Пирсона III типа, поэтому в качестве уровней использованы средние значения ряда и локальных минимумов и максимумов. При моделировании учитывались коэффициенты деградации, отличающиеся для разных природно-экономических регионов.

Результаты моделирования для некоторого усредненного домохозяйства позволили получить оптимальную структуру и численность пастбищных животных для каждого природно-экономического региона, учитывая традиции и потенциальные возможности территорий. Оптимальные решения получены при наличии и отсутствии деградации пастбищ для разных условий деятельности домохозяйств. Предлагаемые модели имеют значения для управления процессами пастбищного животноводства Монголии.

Ключевые слова. Многоуровневое моделирование, урожайность, природно-экономический регион, Монголия, пастбищное животноводство.

© Иваньо Я.М., Энхбат А., 2026

Информация о статье. Дата поступления: 16 апреля 2026 г.; дата принятия к публикации: 13 октября 2026 г.; дата онлайн-размещения: 11 ноября 2026 г.

Для цитирования. Иваньо Я.М. Многоуровневое параметрическое моделирование структуры и поголовья пастбищных животных для природно-экономических регионов Монголии / Я.М. Иваньо, А. Энхбат. — DOI 10.17150/2713-1734.2026.8(3).326-341. — EDN PNLBLR // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2026. — Т. 8, № 3. — С. 326–341.

Original article

Ya.M. Ivanyo
Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny, Irkutsk District, Russian Federation

A. Enkhbat
Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny, Irkutsk District, Russian Federation

Multi-Level Parametric Modeling of the Structure and Livestock of Pasture Animals for Natural and Economic Regions of Mongolia

Abstract. This article examines multi-level parametric modeling of the structure and livestock of pasture animals for Mongolia's natural and economic regions, taking into account the characteristics of pasture degradation. The research focuses on multi-level models for optimizing the structure and livestock of animals for the Western, Khangai, Central, and Eastern natural and economic regions of Mongolia.

The study uses a multi-level parametric problem of mathematical programming that makes it possible to account for adverse, average, and favorable operating scenarios for the farms. The developed models for different natural and economic regions include constraints on production volumes, feed availability, water resources, labor costs, pasture area, and degradation factors. The time (years) associated with providing animals with the necessary feed was used as a parameter of the models. Multi-level trends in agricultural crop yields were obtained for the Khangai, Central, and Eastern natural-economic regions and used in modeling the structure and number of pasture animals. For the Western natural-economic region, the time series of forage crop yields follows the Pearson type III probability distribution, therefore, the average values of the series and local minimums and maximums were used as the levels. Degradation coefficients varying across different natural-economic regions were taken into account during the modeling process.

The results of modeling for a certain average household made it possible to determine the optimal structure and number of pasture animals for each natural-economic region, taking into account local traditions and the territories' potential. Optimal solutions have been obtained for scenarios with and without pasture degradation, under various household activity conditions. The proposed models have implications for the management of pastoral livestock farming processes in Mongolia.

Keywords. Multi-level modeling, yield, natural-economic region, Mongolia, pastoral livestock farming.

Article info. Received 16 April, 2026; Accepted 10 October, 2026; Available online 11 November, 2026.

For Citation. Ivanyo Ya.M., Enkhbat A. Multi-Level Parametric Modeling of the Structure and Livestock of Pasture Animals for Natural and Economic Regions of Mongolia. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2026, vol. 8, no. 3, pp. 326–341. (In Russian). EDN: PNLBLR. DOI: 10.17150/2713-1734.2026.8(3).326-341.

Введение

Монголия является одной из стран, где пастбищное животноводство исторически занимает центральное место в структуре аграрного сектора и обеспечивает значительную часть внутреннего производства мяса, молока, шерсти и другой продукции животноводства. По природно-климатическим и хозяйственным особенностям территория страны традиционно подразделяется на четыре основные природно-экономические региона: Западный, Хангайский, Центральный и Восточный[1]. Каждый из указанных регионов характеризуется различными климатическими условиями, типами почв, плотностью растительного покрова, уровнем антропогенной нагрузки и, как следствие, различной продуктивностью пастбищных угодий.

В настоящее время одной из наиболее острых проблем аграрного сектора Монголии является деградация пастбищных земель, обусловленная как природными, так и антропогенными факторами. К числу основных причин относятся аридизация климата, неравномерность распределения осадков, повышение температуры воздуха, а также чрезмерный выпас скота, рост поголовья животных и длительное хозяйственное использование одних и тех же пастбищных территорий[2]. По статистическим данным уровень деградации достигает 0,33 в Западном и Центральном регионах, 0,32 — в Хангайском регионе и 0,53 — в Восточном регионе, что существенно снижает кормоёмкость пастбищ и негативно влияет на экономическую эффективность животноводства[3].

Ключевым показателем, характеризующим состояние кормовой базы, является урожайность кормовых культур и естественных пастбищ. Анализ многолетних данных за 1999–2024 гг. показывает выраженные межрегиональные различия. Так, в Западном регионе урожайность кормовых культур изменялась в диапазоне 1,57–4,81 т/га, что свидетельствует о сравнительно высокой про-

[1] Монгол улсын Үндэсний статистикийн хороо. URL: https://www.nso.mn/mn/statcate/table-view/Population%2C%20household/5_Adminstrative%20units%2C%20territory/DT_NSO_0100_001V1.px (дата обращения 10.04.2026).

[2] Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын үндэсний тайлан — Уланбаатар: Монгол улс, 2018. URL: https://cdn.greensoft.mn/uploads/users/1925/files/Mongolian%20national%20rangeland%20health%20assessment%20report%202018%20%20Mongol.pdf (дата обращения 10.04.2026).

[3] Газар зохион байгуулалт, геодези, зураг зүйн ерөнхий газар. URL: https://egazar.gov.mn/analytics/dashboard/chart7n (дата обращения 10.04.2026).

дуктивности кормовых угодий. Для Хангайского региона данный показатель составил 0,88–2,23 т/га, отражая устойчивую, но более умеренную продуктивность. В Центральном регионе урожайность находилась в пределах 1,04–2,56 т/га, что характеризует данный район как относительно стабильный по кормовой обеспеченности. Наиболее низкие значения отмечены для Восточного региона, где эта характеристика колебалась в пределах 0,09–0,31 т/га, что связано с выраженной природной засушливостью, низкой плотностью травостоя и высокой степенью деградации земель.

Такие существенные различия между регионами подтверждают необходимость применения регионально дифференцированного подхода к оценке кормовой базы и планированию структуры пастбищного животноводства. Использование многоуровневой параметрической оптимизации позволяет формировать планы производства сельскохозяйственной продукции в усредненных, благоприятных и неблагоприятных условиях, в том числе учитывать благоприятные и неблагоприятные события [1].

В связи с этим разработка и применение многоуровневой модели оптимизации структуры и численности пастбищных животных с учетом урожайности кормовых культур и степени деградации пастбищ является актуальной научной и практической задачей для устойчивого развития сельского хозяйства Монголии.

Целью исследования является разработка многоуровневой модели оптимизации структуры и поголовья пастбищных животных для разных природно-экономических регионов Монголии в условиях деградации земель на основе параметрического программирования.

Для достижения цели поставлены следующие *задачи*:

– определить производственно-экономические данные, характеризующие пастбищное животноводство в природно-экономических регионах страны;

– разработать многоуровневую модель параметрического программирования для оптимизации структуры и численности пастбищных животных;

– реализовать разработанную модель для оптимизации структуры и численности животных применительно к разным природно-экономическим регионам.

Материалы и методы

В качестве эмпирической базы исследования использованы производственные и экономические данные пастбищного хозяйства. Информационной основой для моделирования поголовья и структуры пастбищных животных являются показатели производства животноводческой продукции, пастбища, затраты труда, урожайность кормовых культур, водные ресурсы, рационы кормления

сельскохозяйственных животных разных видов [2], финансовые результаты хозяйственной деятельности. Помимо этого, использовалась данные, характеризующие дополнительное обеспечение животных кормами. Внимание уделено проблеме деградации пастбищных животных. Основной характеристикой, с помощью которой оценивается ухудшения состояния пастбищ, является коэффициент деградации, а также нормативные показатели использования площади пастбища на одну голову разными видами животных, в качестве которых рассматривались овцы, козы, лошади, крупный рогатый скот и верблюды.

Поскольку домохозяйства, занимающиеся пастбищным животноводством, характеризуются разными условиями деятельности, рентабельности и объемами производства, для моделирования структуры и поголовья животных предложено усредненное хозяйство с площадью пастбища 1400 га. Это значение определено на основании статистической оценки деятельности товаропроизводителей[4]. Между тем полученные результаты могут быть использованы для разных по площадям сельскохозяйственных угодий хозяйств.

Для достижения результатов использованы методы получения и систематизации данных с разных источников: Национальное статистическое управление Монголии[5], Главное управление землепользования, геодезии и картографии[6], Министерство продовольствия, сельского хозяйства и легкой промышленности[7] и Министерство окружающей среды и экологического развития[8].

Кроме того, собранные данные связаны с предложенными математическими моделями (линейная, параметрическая) для оптимизации структуры и поголовья разных видов пастбищных животных для природно-экономических регионов Монголии. Для оптимизации структуры и численности пастбищных животных применялось многоуровневое моделирование, позволяющее определять деятельность домохозяйств в благоприятных, неблагоприятных и усредненных условиях.

---

[4] Байгаль орчин ногоон хөгжлийн яам, Монгол улсын бэлчээрийн тогтвортой байдал, уур амьсгалын болон хүрээлэн буй орчны өөрчлөлтөнд дасан зохицох талаар — Уланбаатар: Монгол улс, 2014. URL: https://www.adb.org/sites/default/files/publication/31145/making-grasslands-sustainable-mongolia-mn_0.pdf (дата обращения 10.04.2026).

[5] Монгол улсын Үндэсний статистикийн хороо. URL: https://www.1212.mn/mn (дата обращения 10.04.2026).

[6] Газар зохион байгуулалт, геодези, зураг зүйн ерөнхий газар. URL: https://egazar.gov.mn/ (дата обращения 10.04.2026).

[7] Хүнс, хөдөө аж ахуй, хөнгөн үйлдвэрийн яам. URL: https://www.mofa.gov.mn/home (дата обращения 10.04.2026).

[8] Байгаль орчин, уур амьсгалын өөрчлөлтийн яам. URL: https://mecc.gov.mn/ (дата обращения 10.04.2026).

Отметим также, что урожайность кормовых культур на пастбищах разных природно-экономических регионов может быть описана многоуровневыми трендами или многоуровневыми вероятностными моделями, что позволяет рассматривать разные варианты планирования численности и структуры пастбищных животных с учетом условий деятельности домохозяйства.

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 [3; 4; 5] для повышения эффективности управления [6; 7].

Из многих моделей выделим эколого-математическую модель, позволяющую оптимизировать производство сельскохозяйственной продукции сочетания отраслей с учетом загрязнения и эрозии почвы [8].

Модифицируем эту модель применительно к решению задачи оптимизации поголовья разных видов пастбищных животных с учетом разных условий деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя [1]. Особенностью такой модели является выделение видов животных по специализации хозяйства, учет деградации земель от чрезмерного выпаса, специфики пастбищной территории и условий деятельности домохозяйства. Приведем многоуровневую параметрическую модель оптимизации структуры и поголовья пастбищных животных разных видов, которая является преобразованием одноуровневой модели, описанной в статье «Оптимизация численности сельскохозяйственных животных с учетом деградации пастбищ в Монголии», принятой к печати в журнале «Информационные и математические технологии в науке и управлении».

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

$$f = \sum_{k \in K} c_k^s y_k \to max, \qquad (1)$$

где c^s_k — прибыль от продажи продукции животных вида k (р./гол) с учетом уровня s, характеризующего условия деятельности товаропроизводителя, влияющие на цены, y_k — количество животных вида k, K — множество видов животных. Искомыми 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 обьем производства животноводческой продукции k (ц).

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

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

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, $\rho_j^s(t)$ — урожайность культуры j, t-параметр, характеризующий время (годы), α_j — коэффициент, описывающий деградацию почвы на пастбище, s — уровень, характеризующий усредненные, благоприятные и неблагоприятные условия деятельности домохозяйства.

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 (сут), T — продолжительность года (в днях), Q — объем воды от источника за сутки (м³/сут).

Для эффективного использования пастбищ:

$$\sum_{i \in J} \sum_{k \in K} (1 - \alpha_j) v_{jk} y_k \leq z, \quad (6)$$

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.). Неравенство по ограничению видов животных можно записать так:

$$y_k \le U_k, \tag{8}$$

где U_k — заданная численность животных вида k.

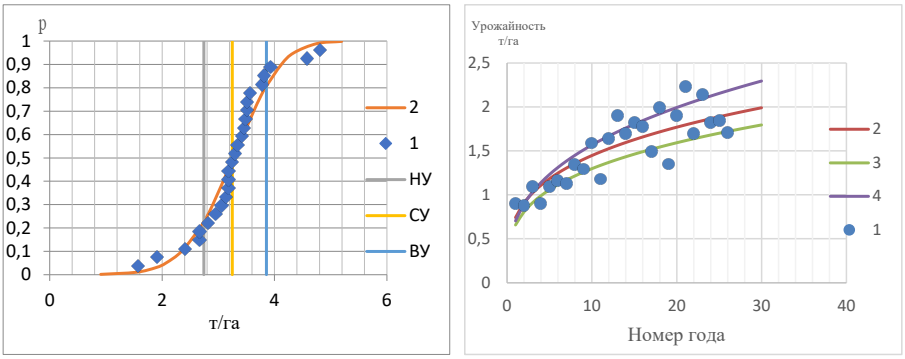
В этой модели коэффициент деградации (α_j) принимает разные значения[9]. При этом модель позволяет получать результаты, учитывая специализацию домохозяйства.

Параметрическая модель ориентирована на планирование поголовья животных в зависимости от многолетней изменчивости урожайности кормовых культур на пастбищах. В то же время модель может быть использована для сценарного анализа при разработке государственных программ поддержки животноводства и восстановления пастбищ. Применим модель (1)–(8) для оптимизации структуры и численности пастбищных животных, учитывая особенности природно-экономических регионов Монголии.

Очевидно, что развитие животноводства зависит от состояния и развития кормовой базы, что связано с урожайностью кормовых культур. На рисунке показана изменчивость урожайности кормовых культур в Западном и Хангайском регионах, описанная в статье «Информационное обеспечение моделей структуры и численности пастбищных животных на примере Монголии», принятой к печати. Сравнительный анализ показывает общую положительную тенденцию в продуктивности пастбищ, но характер и интенсивность роста значительно различаются в регионах.

Для урожайности кормовых культур Западного региона построен закон распределения вероятности Пирсона III типа [9] ввиду того, что ряд является случайным (рис. *а*) с коэффициентом автокорреляции близким к нулю. Анализ функции распределения урожайности кормовых культур показывает, что среднему значению 3,25 т/га характеристики (СУ) соответствует вероятность 0,489, среднему значению локальных минимумов (НУ) 2,74 т/га — вероятность 0,224, а среднему значению локальных максимумов (ВУ) 3,85 т/га — вероятность 0,193. Таким образом, диапазон наиболее часто встречающихся значений (2,74–3,85 ц/га) колеблется в пределах вероятностей 0,224–0,807.

[9] Газар зохион байгуулалт, геодези, зураг зүйн ерөнхий газар. URL: https://egazar.gov.mn/analytics/dashboard/chart7n (дата обращения 10.04.2026).



а *б*

Вероятностное распределение Пирсона III типа для урожайности кормовых культур в Западном регионе (а) и многоуровневые тренды этой характеристики для Хангайского (б) регионов Монголии по данным 1999-2024 гг.: НУ, СУ, ВУ — средние значения локальных минимумов, всего ряда, локальных максимумов, 1 — уровни ряда, 2 — функция Пирсона III типа (а); 1 — уровни ряда, 2, 3, 4 — степенные тренды всего ряда, локальных минимумов и локальных максимумов (б)

В Хангайском регионе (рис. б) прослеживается выраженная тенденция устойчивого роста урожайности кормовых культур во времени по степенной функции.

Для Центрального и Восточного природно-экономических регионов имеет место экспоненциальный тренд устойчивого роста урожая кормовых культур во времени. При этом для Центрального региона характерны более высокие уровни ряда. В Восточном регионе, несмотря на сравнительно низкую урожайность кормовых культур, этот показатель имеет тенденцию экспоненциального роста, что указывает на сохранение положительной динамики и потенциала увеличения продуктивности кормовых угодий в условиях природной засушливости и повышенной чувствительности региона к неблагоприятным природно-климатическим факторам.

В табл. 1 и 2 приведены характеристики наибольших потерь и прироста урожайности кормовых культур на основе выделенных экстремальных событий с учетом многоуровневых трендов. Характеристики p_{kmin} и p_{min} представляют собой вероятности перехода значений урожайности кормовых культур в неблагоприятные события и проявления наибольшего неблагоприятного события. По аналогии характеристики p_{kmax} и p_{max} описывают вероятности перехода биопродуктивности в благоприятные события и проявления наибольшего события.

Таблица 1

Вероятностные характеристики неблагоприятных событий урожайности кормовых культур по природно-экономическим регионам Монголии с учетом наибольших относительных потерь за период 1999–2024 гг.

Природно-экономические регионы	Уровень	p_{kmin}	p_{min}	Потери, т/га	Урожайность, т/га	Год	События
Западный	НУ	0,229	0,0118	–1,18	1,57	2023	5
Хангайский		0,212	0,0245	–0,22	1,35	2017	6
Центральный		0,373	0,0370	–0,27	1,53	2024	9
Восточный		0,408	0,0370	–0,022	0,178	2020	9

Таблица 2

Вероятностные характеристики благоприятных событий урожайности кормовых культур по природно-экономическим регионам Монголии с учетом наибольшего относительного прироста за период 1999–2024 гг.

Природно-экономические регионы	Уровень	p_{kmax}	p_{max}	Прирост, т/га	Урожайность, т/га	Год	События
Западный	ВУ	0,193	0,00894	0,95	4,81	2021	3
Хангайский		0,281	0,0487	0,21	2,23	2019	8
Центральный		0,252	0,0182	0,21	2,56	2021	5
Восточный		0,392	0,0370	0,048	0,305	2021	6

Результаты, приведенные в табл. 1 и 2, позволяют сделать вывод о существенных различиях в характере изменения урожайности кормовых культур по природно-экономическим регионам Монголии в условиях неблагоприятных и благоприятных сценариев.

Исходя из табл. 1 наиболее неблагоприятные условия ведения пастбищного животноводства наблюдаются в Восточном и Центральном природно-экономических регионах, в которых раз в 2–3 года имеет место неблагоприятное событие. Их число, указанное в табл. 1, в 1,5 раза больше, чем на других территориях. В этом отношении Западный и Хангайский природно-экономические регионы в меньшей степени подвергаются внешним воздействиям, влияющим на деятельность домохозяйств. Между тем при рассмотрении редких потерь урожайности кормовых культур наибольшие из них выявлены для Западного природно-экономического региона. Они составили 75 % относительно низкой урожайности 2023 г. 1,57 т/га. Это вызвано значительными вероятностными колебаниями биопродуктивности кормовых культур.

Что касается благоприятных событий, то наибольшее их число выявлено для Хангайского природно-экономического региона, составив 8 (табл. 2). Наименьшее количество событий наблюдается

в Западном природно-экономическом регионе — 3. Наличие относительно высоких вероятностей перехода значений урожайности кормовых культур в неблагоприятные (p_{kmin}) и благоприятные события (p_{kmax}) в Центральном и Восточном природно-экономических регионах (табл. 2) отражает резкие колебания факторов внешней среды, что влияет на нестабильность деятельности домохозяйств.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает необходимость дифференцированного подхода к моделированию и прогнозированию урожайности по регионам. В рассматриваемых природно-экономических регионах Монголии фиксируется рост урожайности кормовых культур. Однако темпы увеличения и динамика устойчивости характеристики существенно различаются.

В табл. 3 и 4 приведены результаты многоуровневого моделирования структуры поголовья животных и их численности для домохозяйств по природно-экономическим регионам Монголии на основе предложенной модели (1) — (8). В качестве урожайности использованы прогностические значения на 2026 г. согласно многоуровневым трендам и вероятностной модели.

Таблица 3

Оптимальные решения многоуровневой параметрической задачи определения структуры и поголовья животных в Западном и Хангайском регионах Монголии на 2026 г. при наличии и отсутствии деградации пастбищ

Природно-экономический регион	Уровни моделирования	Коэффициент деградации	Овцы	Козы	Лошади	Крупный рогатый скот	Верблюды	Прибыль, тыс. р.
Западный	НУ	0	80	218	25	181	6	13331,4
	СУ		80	218	27	180	6	13357,0
	ВУ		80	218	21	189	6	13469,2
	НУ	0,33	110	313	0	102	6	8004,6
	СУ		107	258	7	103	6	8166,7
	ВУ		97	265	8	103	6	8211,2
Хангайский	НУ	0	160	278	98	49	10	11032,6
	СУ		176	195	103	53	10	11183,2
	ВУ		192	112	109	57	10	11333,9
	НУ	0,32	536	0	9	62	7	5681,2
	СУ		526	19	7	60	10	5762,0
	ВУ		510	28	8	60	10	5829,6

Помимо урожайности кормовых культур для моделирования использованы данные, включающие производственно-экономические показатели домохозяйств: численность поголовья

по основным видам животных, нормы использования площади пастбищ на одну голову, обеспеченность водными ресурсами, затраты труда, показатели дополнительного кормообеспечения, а также коэффициенты деградации пастбищных угодий по природно-экономическим регионам Монголии. На основе указанных данных сформированы ограничения модели по кормовой базе, площади пастбищ, трудовым и водным ресурсам, что позволило получить оптимальные решения по структуре и численности животных для усредненных, благоприятных и неблагоприятных условий.

Таблица 4

Оптимальные решения многоуровневой параметрической задачи определения структуры и поголовья животных в Центральном и Восточном регионах Монголии на 2026 г. при наличии и отсутствии деградации пастбищ

Природно-экономический регион	Уровни моделирования	Коэффициент деградации	Овцы	Козы	Лошади	Крупный рогатый скот	Верблюды	Прибыль, тыс.р.
Центральный	НУ	0	99	171	10	177	32	14019,4
	СУ		85	195	7	175	36	14128,1
	ВУ		69	199	6	171	43	14342,9
	НУ	0,33	348	0	6	81	24	7453,0
	СУ		330	0	0	83	32	7818,2
	ВУ		324	1	0	83	33	7881,8
Восточный	НУ	0	0	38	60	1	0	3748,8
	СУ		20	6	56	9	0	3905,3
	ВУ		14	37	50	13	0	3918,3
	НУ	0,53	8	0	30	1	0	1797,2
	СУ		8	0	27	5	0	1859,4
	ВУ		0	0	26	3	4	1980,8

Кроме того, при моделировании учитывалась традиционная специализация ведения пастбищного хозяйства, характерная для каждого природно-экономического региона Монголии за счет ограничения (8), что позволило приблизить полученные оптимальные решения к реальным условиям хозяйствования.

Для Западного природно-экономического региона модель ориентирована на традиционное развитие овцеводства, козеводства, скотоводства и коневодства. В Хангайском природно-экономическом регионе целесообразно развитие овцеводства, скотоводства и коневодства. С учетом особенностей хозяйственной

специализации региона при оптимизации использована модель с ограничением по верблюдоводству.

В Центральном природно-экономическом регионе домохозяйства ориентированы на развитие верблюдоводства, овцеводства, скотоводства и козеводства. Учитывая более диверсифицированную структуру животноводства, в данном случае использована модель без дополнительных ограничений по видам животных.

В Восточном регионе приоритетными направлениями являются коневодство, скотоводство и овцеводство, что соответствует особенностям природных условий и хозяйственной специализации данной территории. Поэтому здесь использована модель с ограничением по коневодству, позволяющая учитывать традиционно высокую роль данного вида животных в структуре хозяйств региона.

Для каждого региона отражена структура и численность основных видов животных, значения коэффициента деградации пастбищ, а также прибыль хозяйств. Для Западного природно-экономического региона оптимальная численность поголовья животных для благоприятных, неблагоприятных и усредненных условий соответствует вероятностям перехода урожайности кормовых культур, полученным на основе распределения Пирсона III типа (0,224, 0,489 и 0,193). Такой подход обеспечивает более реалистичное моделирование условий ведения хозяйства в этом регионе, где урожайность характеризуется значительными вероятностными колебаниями. При отсутствии деградации пастбищ прибыль варьирует в пределах 13331,4–13469,2 тыс. р. для разных уровней модели. При коэффициенте деградации α_j = 0,33 прибыль снижается до 8004,6–8211,2 тыс. р., что соответствует сокращению финансового показателя примерно на 40 %.

В Хангайском природно-экономическом регионе при коэффициенте деградации, равном нулю, прибыль составляет 11032,6–11333,9 тыс. р. В условиях деградации пастбищ (α_j = 0,32) наблюдается снижение прибыли до 5681,2–5829,6 тыс. р., т.е. почти в 2 раза.

Для Центрального природно-экономического региона характерны наибольшие значения прибыли среди рассматриваемых территорий. В сценариях без деградации показатель прибыли изменяется от 14019,4 до 14342,9 тыс. р. При коэффициенте деградации α_j = 0,33 прибыль уменьшается до 7453,0–7881,8 тыс. р., что соответствует снижению финансового показателя на 45–47 %.

В Восточном природно-экономическом регионе при отсутствии деградации прибыль колеблется в пределах 3748,8–3918,3 тыс. р. При наиболее высоком коэффициенте деградации (α_j = 0,53) показатель прибыли сокращается до 1797,2–1980,8 тыс. р., т.е. практически в 2 раза. Отметим, что в данном регионе площадь пастбища на одну голову относительно норма-

тивных данных необходимо увеличить в три раза для обеспечения пастбищных животных достаточным количеством кормов, что следует из результатов моделирования.

Заключение

Разработана многоуровневая модель параметрического программирования для оптимизации структуры и поголовья пастбищных животных для планирования получения продукции при наличии и отсутствии деградации сельскохозяйственных угодий.

Определена информационная база для применения многоуровневой параметрической модели оптимизации численности пастбищных животных к четырем основным природно-экономическим регионам Монголии.

Разработанная многоуровневая параметрическая модель реализована для Западного, Хангайского, Центрального и Восточного природно-экономических регионов при отсутствии и наличии деградации пастбищ с учетом традиционной структуры поголовья животных, позволяя планировать деятельность домохозяйств в усредненных, благоприятных и неблагоприятных условиях.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для разработки стратегий восстановления деградированных пастбищ, рационального управления кормовыми ресурсами и повышения устойчивости пастбищного животноводства Монголии в долгосрочной перспективе на региональном и государственном уровнях.

Список использованной литературы

1. Иваньо Я.М. Информационные технологии многоуровневого моделирования в решении управленческих задач аграрного производства / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, В.В. Цыренжапова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2025. — Т. 21, № 4. — С. 850–857.

2. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие / под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменов. — 3-е изд. — Москва, 2003. — 456 с.

3. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования / Д.Б. Юдин. — Москва : Советское радио, 1979. — 392 с.

4. Задачи линейной оптимизации с неточными данными / М. Фидлер, Й. Недома, Я. Рамик, И. Рон, К. Циммерманн. — Москва : Институт компьютерных исследований, 2008. — 288 с.

5. Параметрическая оптимизация получения продовольственной продукции с учетом особенностей характеристик временных рядов / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо, В.В. Цыренжапова, И.А. Ковадло. — DOI 10.18698/2542-1468-2025-3-181-193. — EDN GYTDAH // Лесной вестник. Forestry Bulletin. — 2025. — Т. 29, № 3. — С. 181–193.

6. Гусейнов А.М. Автоматизированные системы управления пастбищами / А.М. Гусейнов, В.В. Климов // Вопросы агроэкологии. — 2023. — № 2. — С. 67–74.

7.Ivanyo Ya.M. Comprehensive Assessment of the Development Potential of Plant Production in the Municipal District / Ya.M. Ivanyo, S.A. Petrova // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. — 2025. — Vol. 17, no. 2. — P. 535–552.

8.Иваньо Я.М. Эколого-математическое моделирование производства аграрной продукции : монография / Я.М. Ивавньо, Е.А. Ковалева. — Молодежный : Изд-во Иркутского ГАУ им. А.А. Ежевского, 2024. — 118 с.

9.Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик / А.В. Рождественский — Ленинград : Гидрометеоиздат, 1977. — 270 с.

References

1. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A., Tsyrenzhapova V.V. Information Technologies for Multi-level Modeling in Solving Management Problems in Agricultural Production. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technology and IT-Education*, 2025, vol. 21, no. 4, pp. 850–857. (In Russian).

2. Kalashnikov A.P., Fisinin V.I., Shcheglov V.V., Kleimenov N.I. (eds). *Feeding Standards and Rations for Farm Animals. Reference Guide*. 3rd ed. Moscow, 2003. 456 p.

3. Yudin D.B. *Problems and methods of stochastic programming*. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1979. 392 p.

4. Fidler M., Nedoma I., Ramik Ya., Ron I., Tsimmermann K. *Linear optimization problems with imprecise data.* Moscow, Institute of Computer Research Publ., 2008. 288 p.

5. Barsukova M.N., Ivan'o Ya.M., Tsyrenzhapova V.V., Kovadlo I.A. Parametric Optimisation of Food Production Taking Into Account Time Series Characteristics. *Lesnoi vestnik = Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 181–193. (In Russian). EDN: GYTDAH. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-181-193.

6. Guseinov A.M., Klimov V.V. Automated Pasture Management Systems. *Voprosy agroehkologii = Agroecology issues*, 2023, no. 2, pp. 67–74. (In Russian).

7. 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.

8. Ivavnyo Ya.M., Kovaleva E.A. *Ecological-mathematical modeling of agricultural production.* House of Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky Publ., 2024. 118 p.

9. Rozhdestvenskii A.V. *Assessment of the accuracy of hydrological characteristic distribution curves.* Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1977. 270 p.

Информация об авторах

Иваньо Ярослав Михайлович — доктор технических наук, профессор, кафедра информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 664038, Российская Федерация, Иркутский район, п. Молодежный, 1/1, e-mail: iymex@rambler.ru.

Энхбат Ариунжаргал — аспирант, институт экономики, управления и прикладной информатики, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 664038, Российская Федерация, Иркутский район, п. Молодежный, 1/1, e-mail: eariuka329@gmail.com.

Information about the Authors

Yaroslav M. Ivanyo — D.Sc. in Technical Sciences, Professor, Department of Informatics and Mathematical Modeling, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, 1/1 Molodezhny, Irkutsk District, 664038, Russian Federation, e-mail: iymex@rambler.ru.

Enkhbat Ariunjargal — PhD Student, Institute of Economics, Management and Applied Informatics, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, 1/1 Molodezhny, Irkutsk District, 664038, Russian Federation, e-mail: eariuka329@gmail.com.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.