

УДК 004.42:005.584.1:631.115

DOI:10.25729/ESI.2025.38.2.013

Мониторинг данных об аграрном производстве для моделирования управленческих решений

Бендик Надежда Владимировна¹, Замараев Алексей Олегович¹,
Иваньо Ярослав Михайлович¹, Спесивцев Александр Васильевич²

¹ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, Россия,

Иркутский район, п. Молодежный, *iytex@rambler.ru*

²Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
Россия, Санкт-Петербург

Аннотация. Современные цифровые технологии позволяют собирать и систематизировать информацию о деятельности сельскохозяйственных предприятий в течение годового цикла, начиная с обработки почвы и завершая уборкой урожая, складированием, переработкой и реализацией продукции с построением плана на новый годовой цикл. Доступность к данным с полей, ферм, спутников, беспилотных летательных аппаратов, автоматизированных агрометеорологических площадок способствует сбору больших объемов информации для управления аграрным производством на разных этапах и планированием на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективы. Развитие систем мониторинга данных, включая использование методов точного земледелия и спутниковой информации, расширяет возможности применения математического моделирования для оптимизации производства в условиях неопределенности многих производственно-экономических, агроклиматических и экологических характеристик.

Ключевые слова: мониторинг данных, производственные процессы, агроклиматические и экологические характеристики, оптимизация, сельское хозяйство, управление предприятием

Цитирование: Бендик Н.В. Мониторинг данных об аграрном производстве для моделирования управленческих решений / Н.В. Бендик, А.О. Замараев, Я.М. Иваньо, А.В. Спесивцев // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 2(38). – С.158-169. – DOI:10.25729/ESI.2025.38.2.013.

Введение. Современные цифровые технологии позволяют получать данные с полей, ферм, карт спутников и беспилотных летательных аппаратов, а также автоматизированных агрометеорологических станций, что способствует формированию большого объема данных. Это, в свою очередь, позволяет детализировать процессы, связанные с производством аграрной продукции, расширяя возможности моделирования разных аспектов деятельности товаропроизводителя [1, 2, 3]. Поскольку аграрное производство относится к сложным системам с влиянием большого числа факторов, многие из которых являются неопределенными, для моделирования ряда процессов можно использовать нечетко-возможностный подход, предложенный в [4].

Развитие системы мониторинга данных [5] способствует расширению возможностей применения задач математического программирования для оптимизации производства аграрной продукции. В частности, детальная информация о механическом, химическом, биологическом состоянии полей сельскохозяйственной организации или крестьянского (фермерского) хозяйства позволяет использовать оптимизационные модели, характеризующие неоднородность сельскохозяйственных угодий и плодородия почвы.

В дополнение к этому увеличивается точность прогнозирования производственно-экономических показателей, как общих, характеризующих работу организации, так и частных, описывающих возможности конкретных полей, ферм, видов растениеводческой и животноводческой продукции [6].

Цель работы заключается в описании мониторинга данных для разработки моделей и алгоритмов прогнозирования и планирования производства сельскохозяйственной продукции, что необходимо для принятия управленческих решений на различных этапах

производственных процессов, а также для разработки прогнозов и планов на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективу.

Для достижения цели необходимо рассмотреть задачи получения информации с объектов мониторинга, формирования базы данных и использования сведений для моделирования объемов производства сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методы. В работе рассмотрены научные исследования, проведенные различными авторами, по вопросам отслеживания данных о технологиях производства сельскохозяйственной продукции. Эти исследования имеют целью предоставить рекомендации и решения для улучшения управления производственными процессами в сельском хозяйстве на основе современных информационных технологий и методов анализа данных [7, 8].

В сельском хозяйстве часто используются информационные системы для управления различными аспектами производства, такими, как хранение и анализ данных истории полей, применение онлайн-сервисов для получения спутниковой информации и данных о погоде, решения управленческих вопросов с помощью технологий интернета вещей, оценки опасных зон в сельском хозяйстве и т.д. [9-12]. В работе [13] предложено интегрировать различные системы в сельском хозяйстве на базе ведущих платформ.

Обратимся к программному интерфейсу приложений API, который представляет собой набор определенных правил и протоколов, позволяющих разным программным системам взаимодействовать между собой, обмениваться данными и вызывать определенные функции или процедуры. В табл. 1 приведен пример взаимодействия программного интерфейса API с четырьмя приложениями: системой «Агросигнал», федеральной государственной информационной системой «Зерно», федеральной службой государственной статистики (Росстат) и синоптическому сервису «Яндекс Погода». Рассмотрены примеры запросов и взаимодействия программного интерфейса API с перечисленными приложениями.

Общие этапы интеграции предполагают: 1) создание: использование HTTP-запроса для обращения к API; 2) обработка ответов (обработка JSON или XML ответов для извлечения необходимых данных); 3) хранение данных в 1С (сохранение полученных данных в соответствующих справочниках или документах 1С для дальнейшего использования).

Таблица 1. Примеры работы с внешними информационными системами посредством API и 1С

<p>Агросигнал. Предоставляет информацию о сельскохозяйственных событиях, рекомендациях и предупреждениях.</p> <p>Пример запроса: GET https://api.agrosignal.ru/v1/events?apikey=<api_key></p> <p>Интеграция: Функция ПолучитьСельхозСобытия (Адрес) URL = "https://api.agrosignal.ru/v1/events?apikey=ВашAPIКлюч"; Ответ = HTTPЗапрос(URL); Данные = ОбработкаОтвета(Ответ); Возврат Данные; КонецФункции;"</p>	<p>ФГИС Зерно. Предоставляет информацию о зерновых культурах, их производстве и хранении.</p> <p>Пример запроса: GET https://api.fgisgrain.ru/v1/crops?apikey=<apikey></p> <p>Интеграция: Функция ПолучитьГеоДанные(Адрес) URL = "https://api.fgisgrain.ru/v1/crops?apikey=ВашAPIКлюч"; Ответ = HTTPЗапрос(URL); Данные = ОбработкаОтвета(Ответ); Возврат Данные; КонецФункции;"</p>
--	---

<p>Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Предоставляет статистические данные о сельском хозяйстве и другие данные.</p> <p>Пример запроса: GET https://api.gks.ru/statistics/agriculture?apikey=<api_key></p> <p>Интеграция: Функция ПолучитьСтатистическиеДанные (Адрес) URL = "https://api.gks.ru/statistics/agriculture?apikey=ВашAPIКлюч"; Ответ = HTTPЗапрос(URL); Данные = ОбработкаОтвета(Ответ); Возврат Данные; КонецФункции;</p>	<p>Яндекс.Погода. Предоставляет информацию о погоде и прогнозы.</p> <p>Пример запроса: GET https://api.weather.yandex.ru/v2/forecast?lat=<latitude>&lon=<longitude>&lang=ru_RU</p> <p>Интеграция: Функция ПолучитьПрогнозПогоды(Широта, Долгота) URL = "https://api.weather.yandex.ru/v2/forecast?lat=" + Широта + "&lon=" + Долгота + "&lang=ru_RU"; Заголовки = Новый Структура; Заголовки.Вставить("X-Yandex-API-Key", "ВашAPIКлюч"); Ответ = HTTPЗапрос(URL, Заголовки); Данные = ОбработкаОтвета(Ответ); Возврат Данные; КонецФункции;"</p>
---	---

Взаимодействие с системой «Агросигнал» позволяет осуществлять мониторинг состояния и изменения почвы, посевов, урожая, метеорологических характеристик, влияние экстремальных явлений на урожай и др. (табл. 2).

Таблица 2. Некоторые возможности системы «Агросигнал»

Тип данных	Примеры данных	Возможное использование
Метеорологические данные	Температура воздуха, влажность воздуха, осадки, скорость и направление ветра, давление	– прогнозирование погодных условий; – планирование агротехнических мероприятий (например, полив, обработка пестицидами);
Данные о состоянии почвы	Влажность почвы, температура почвы, плодородие и состав почвы	– оптимизация полива; – планирование внесения удобрений; – оценка плодородия почвы
Данные о посевах	Типы культур, фазы роста культур, плотность посевов, индексы вегетации (ndvi)	– прогнозирование урожайности; – мониторинг состояния посевов; – планирование уборки урожая
Данные об агротехнических мероприятиях	Посев, внесение удобрений, полив, обработка пестицидами, уборка урожая	– контроль и учет агротехнических операций; – оптимизация использования ресурсов;
Данные о полях и участках	Площадь и границы полей, карты плодородия, карты аномалий	– управление земельными ресурсами; – анализ эффективности использования земель;
Исторические данные	Прошлые урожаи, прошлые погодные условия, история агротехнических мероприятий	– анализ тенденций и закономерностей; – долгосрочное планирование и прогнозирование.

Взаимодействие с системой «Яндекс Погода» позволяет получать актуальные данные о погодных условиях, прогнозы на несколько дней вперед, информацию о температуре, влажности, осадках, скорости, направлении ветра и других метеорологических

характеристиках. Это может быть полезно для различных задач, таких, как планирование сельскохозяйственных работ, логистика, управление запасами и многое другое.

ФГИС «Зерно» позволяет осуществлять мониторинг и управление процессами, связанными с производством, хранением, переработкой и оборотом зерна и зернопродуктов. Система предоставляет доступ к данным о качестве зерна, его происхождении, движении, а также позволяет оформлять и отслеживать различные документы и сертификаты.

Материалы «Росстат» в контексте сельского хозяйства позволяют получать доступ к важным статистическим данным: объемам производства продукции, посевным площадям, урожайности, экономическим показателям отрасли и др. Такие данные применимы для анализа тенденций деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей, выявления недостатков, оценки рисков, планирования и принятия управленческих решений.

Основные результаты. Архитектура системы мониторинга данных сельскохозяйственного производства определяет структуру, компоненты и взаимосвязи между ними для эффективного сбора, хранения, анализа и визуализации информации о процессах и параметрах сельскохозяйственного производства (рис. 1). Система мониторинга включает в себя хранилище данных, аналитическую систему и подсистемы интеграции с внешними источниками данных, а также интерфейсы для пользовательского доступа и управления системой [14].



Рис.1. Архитектура системы мониторинга данных сельскохозяйственного производства

Архитектура системы мониторинга данных сельскохозяйственного производства обеспечивает основу для эффективного управления сельскохозяйственным предприятием, опираясь на надежные и актуальные данные.

Рассмотрим функциональные возможности проектируемой системы (рис. 2). Контекстная диаграмма функциональной модели для данной системы будет представлять общую картину взаимодействия между системой 1С и внешними информационными системами с использованием API, а также выходные отчеты, создаваемые на основе

полученных данных. API обеспечивает интерфейс для взаимодействия между системой 1С и внешними информационными системами.

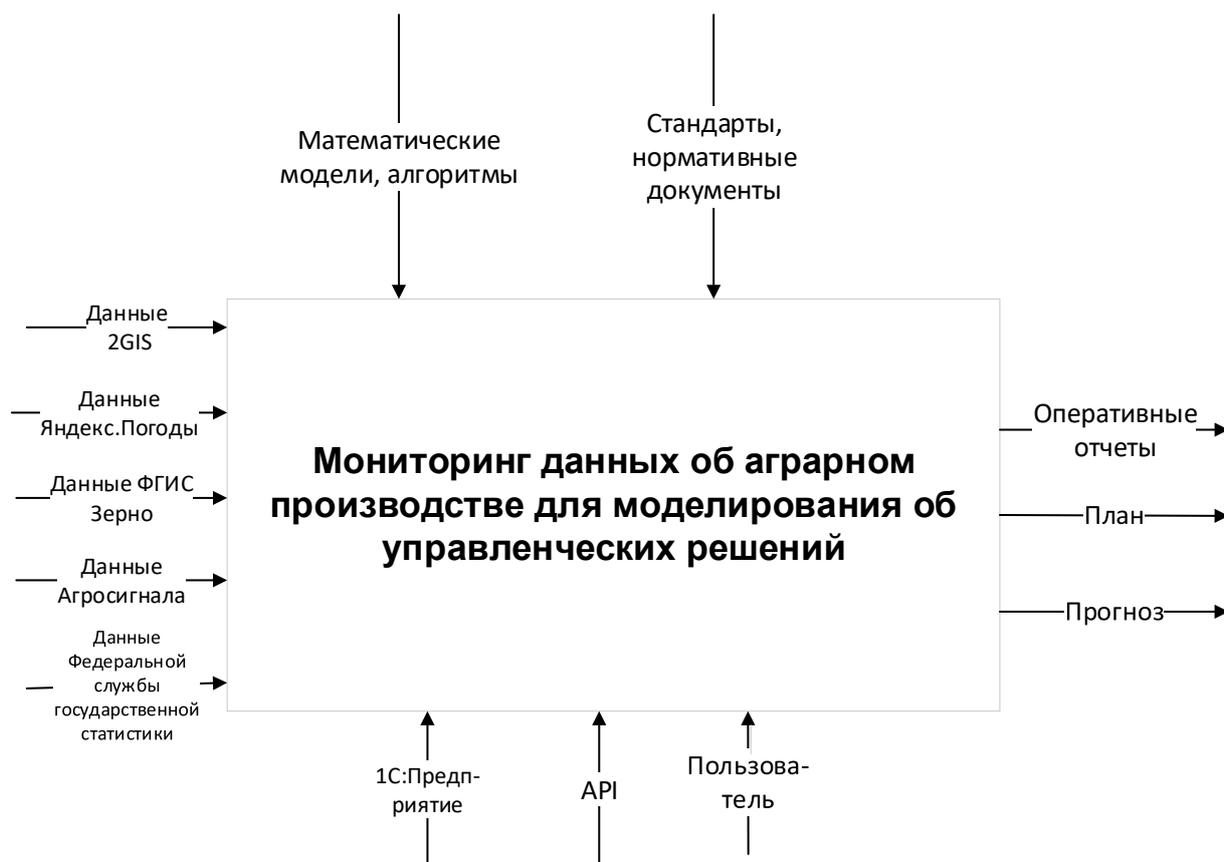


Рис. 2. Контекстная диаграмма функциональной модели

На выходе конечный пользователь получает оперативные отчеты по планированию, прогнозированию и визуализации данных, которые создаются на основе данных, полученных из внешних информационных систем с использованием API. Они включают в себя информацию о планировании сельскохозяйственных работ, прогнозах погоды, урожайности и других аспектах, а также визуализацию этих данных для удобства анализа и принятия решений.

Прогнозирование. Создание интерфейса информационной системы с помощью API позволяет реализовывать следующие модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур и других производственно-экономических в сельском хозяйстве.

Во-первых, полученные факторные модели, характеризующие зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от температуры воздуха и осадков в начале вегетационного периода [6] ориентированы на прогнозирование результирующего признака в текущем году, по итогам уборки урожая. В конкретном случае необходимая информация для решения этой задачи будет получена из систем «Агросигнал», «Яндекс Погода» и «Росстат», благодаря наличию текущих и многолетних данных о температурах воздуха, осадках, в том числе прогностических, а также урожайности сельскохозяйственных культур.

Во-вторых, на основе использования многоуровневых трендов [15] согласно мониторингу данных «Росстат» можно спрогнозировать или оценить с помощью законов распределения вероятностей производственно-экономические характеристики на многолетнюю перспективу, учитывая изменчивые условия климатической и

производственной среды, в которой осуществляется деятельность сельскохозяйственного предприятия. Эти результаты применимы в планировании.

В-третьих, благодаря данным информационной системы «Агросигнал» возможен мониторинг вегетации растений, позволяющий прогнозировать урожай сельскохозяйственных культур в текущем году. При этом осуществляется сравнительный анализ результатов прогнозирования по факторной модели и мониторингу вегетации растений.

В-четвертых, мониторинг развития растительного покрова, метеорологических, гидрологических и биологических ситуаций способствует непрерывной оценке влияния экстремальных событий на величину урожая, поэтому можно оценивать вероятные потери сельскохозяйственной продукции.

В-пятых, результаты моделирования применимы для оценки объемов произведенной продукции с пополнением данных ФГИС «Зерно».

Для прогнозирования, например, урожайности сельскохозяйственных культур на основе многолетних данных об урожайности и метеорологических факторах можно использовать библиотеку pandas для обработки данных, scikit-learn для построения модели и matplotlib для визуализации результатов. При этом исходные данные получаем из систем «Агросигнал», «Яндекс Погода» и «Росстат». В листинге 1 приведен код описанных функций:

Листинг 1. Анализ и моделирование данных с последующим экспортом результатов

```
import pandas as pd, import numpy as np
from sklearn.linear_model import LinearRegression, from sklearn.model_selection
import train_test_split
# Чтение данных из Excel файла
data = pd.read_excel('path_to_file.xlsx')
# Обработка данных Пример: добавление новых признаков на основе имеющихся данных
data['Поле3'] = data['Поле1'] * data['Поле2']
# Моделирование и прогнозирование
X = data[['Поле1', 'Поле2', 'Поле3']]; y = data['Целевая_Переменная']
# Разделение данных на обучающую и тестовую выборки
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2,
random_state=42)
# Создание и обучение модели
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)
# Прогнозирование
predictions = model.predict(X_test)
# Экспорт результатов в Excel
results = pd.DataFrame({'Прогноз': predictions})
results.to_excel('path_to_results.xlsx', index=False)
```

Планирование. Выявление закономерностей изменчивости производственно-экономических характеристик, описывающих ведение сельского хозяйства, позволяет уменьшать неопределенность, повышая эффективность прикладных экстремальных задач, с помощью которых осуществляется оптимизация производства, переработки и реализации продукции.

Мониторинг состояния почвы, различных технологических процессов, развития сельскохозяйственных растений, уборки урожая, влияния внешних факторов на состояние посевов способствует детализации потенциальной оценки того или иного участка земли для оптимизации ресурсов с целью получения максимальной прибыли. Для этого могут быть использованы модели математического программирования, учитывающие неоднородность сельскохозяйственных угодий [16].

Здесь выделим задачу линейного и параметрического программирования. Первая модель позволяет оценить производство продукции в конкретный момент или год. Между тем, для

планирования объемов продукции на среднесрочную и долгосрочную перспективу предпочтительнее использовать многоуровневые модели параметрического программирования с учетом усредненных, благоприятных и неблагоприятных условий ведения сельскохозяйственного производства. При этом при построении оптимизационной модели, описывающей ситуации получения продукции в условиях проявления вероятностных событий, предлагается дополнительно учитывать неоднородность земель, экологические и биологические факторы.

Кроме того, на основании моделей [16, 17] предлагается модифицированный вариант эколого-математической модели, особенностью которого является учет неоднородности сельскохозяйственных угодий, связанной с разным потенциалом получения урожая. Предлагаемая модель записывается в виде:

$$f = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} (1 - l_{ijs}) c_{ijs} x_{ijs} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{v \in V} c'_{klv} x_{klv} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где c_{ijs} – доход, получаемый с единицы площади поля i на участке j в виде продукции s ; c'_{klv} – доход, получаемый от производства единицы продукции вида v по технологии l от животного вида k ; x_{ijs} , x_{klv} – неизвестные переменные задачи линейного программирования; l_{ijs} – коэффициенты негативного воздействия техногенных и природных процессов на почву поля i , участка j при получении продукции s .

Неравенство по производству продукции можно записать так:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} (1 - l_{ijs}) \alpha_{ijs} x_{ijs} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in L} \sum_{v \in V} \beta_{klv} x_{klv} \geq D, \quad (2)$$

где α_{ijs} и β_{klv} – объемы производства с единицы площади поля i на участке j растениеводческой продукции s и объемы производства животноводческой продукции v по технологии l от животного вида k ; D – заданный объем получения продукции.

Ограничение по использованию трудовых ресурсов запишем в виде:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} d_{ijs} x_{ijs} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{v \in V} w_{klv} x_{klv} \geq E, \quad (3)$$

где d_{ijs} и w_{klv} – трудозатраты на производство растениеводческой продукции s с единицы площади поля i на участке j и животноводческой продукции v по технологии l от животного вида k ; E – возможности использования трудозатрат.

Ограничение по обеспечению животных необходимыми элементами питания благодаря производству кормов выглядит следующим образом:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} (1 - l_{ijs}) u_{z i j s} \alpha_{i j s} x_{i j s} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \lambda_{z i j s} m_{i j s} x_{i j s} \geq \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{v \in V} b_{z k l v}, \quad (4)$$

где $u_{z i j s}$ – содержание элемента питания z в единице кормовой продукции, полученной от производства растениеводческой продукции s с единицы площади поля i на участке j ; $\alpha_{i j s}$ – объемы производства с единицы площади поля i на участке j растениеводческой продукции s ; $\lambda_{z i j s}$ – содержание элемента питания z в единице побочной кормовой продукции; $m_{i j s}$ – выход с единицы площади, полученной от производства кормов s с единицы площади поля i на участке j ; $b_{z k l v}$ – минимальная потребность в элементе питания z единицы поголовья от производства животноводческой продукции v по технологии l животного вида k . Причем $z \in Z$.

Результатом решения задачи (1) - (4) будет оптимальное решение: целевая функция f^* составит максимальное значение дохода с оптимальными планами $x_{i j s}^*$ и $x_{k l v}^*$. Другими словами, определяются оптимальные планы площадей или объемов производства продукции

растениеводства и животноводства в сочетании, при которых целевая функция достигнет максимального значения.

Ограничения, связанные с использованием разных по плодородию площадей, имеют вид:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} x_{ijs} \leq E, \quad (5)$$

где E – наличие сельскохозяйственных угодий, с учетом неоднородности.

Неравенство по соблюдению предельно допустимой концентрации вредных веществ в почве выглядят так:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{n \in N} \varphi_{ijns} x_{ijs} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{n \in N} v_{ijns} x_{ijs} \leq \Omega_n, \quad (6)$$

где φ_{ijns} – исходная концентрация вредного вещества n с единицы площади поля i на участке j в виде продукции s (мг/м³/га); вредное вещество n с концентрацией v_{ijns} , поступающее на единичную площадь поля i участка j с производством продукции s (мг/м³/га); Ω_n – значения предельно допустимой концентрации вредного вещества n в почве (мг/м³); N – множество вредных веществ.

Ограничение на почвенные потери от водной и ветровой эрозии имеет вид:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} R U_{ijs} D_{ijs} V_{ijs} C_{ijs} P_{ijs} x_{ijs} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} M_{ijs} T x_{ijs} \leq \eta, \quad (7)$$

где η – потери почвы за год (т/га); R – эродирующая способность дождей (т/га); U_{ijs} – показатель, характеризующий подверженность почв эрозионным процессам на поле i , участке j с производством продукции s ; D_{ijs} – фактор, отображающий длину склона на поле i , участке j с производством продукции s ; V_{ijs} – фактор крутизны склона поля i , участка j с производством продукции s ; C_{ijs} – фактор растительности и севооборота на поле i , участке j с производством продукции s ; P_{ijs} – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий на поле i , участке j с производством продукции s ; M_{ijs} – интенсивность выноса почвы на поле i , участке j с производством продукции s , т/га в 1 час, T – время, в течение которого почва разрушается, час.

В неизвестных переменных модели должны присутствовать только неотрицательные значения:

$$x_{ijs}, x_{klv} \geq 0. \quad (8)$$

Модель (1) - (8) использована для оптимизации производства аграрной продукции согласно данным ЗАО «Иркутские семена». При решении задачи оптимизации площадей посевов и поголовья свиней получены результаты, приведенные в таблице 3. Помимо прибыли определены ущербы, вызванные эрозией почвы. При формировании модели использованы ограничения по посевным площадям сельскохозяйственных культур, поголовью свиней, валовому сбору продукции разных видов, трудовым ресурсам, оплате труда, внесению удобрений, защите растений, топливным ресурсам, другим затратам и загрязнению почвы вредными металлами.

Таблица 3. Решение задачи линейного программирования для ЗАО «Иркутские семена» с учетом неоднородности полей по плодородию и ущерба земельным ресурсам

Пшеница товарная, поле 1, га	Пшеница товарная, поле 2, га	Ячмень товарный, поле 1, га	Ячмень товарный, поле 2, га	Овес товарный, га	Зерновые (кормовые), га	Рапс яровой, га
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
100	200	1625,1	200	100	500	50
Картофель, га	Многолетние травы на сено, га	Свиноматки, гол.	Свиньи на откорме, гол.	Ущерб, тыс. руб.	Прибыль, тыс. руб.	
x_8	x_9	x_{10}	x_{11}			
610,6	189,2	75	698	1851,266	7543,793	

Согласно полученным результатам, прибыль превышает 7,5 млн руб. При этом ущерб от загрязнения почвы составил 24,5 %, что требует дополнительных затрат на улучшение состояния земельных ресурсов.

Заключение. Описана проектируемая система мониторинга данных о деятельности сельскохозяйственного предприятия. Предложено интегрировать данные, связанные с получением аграрной продукции, в систему мониторинга с помощью программного интерфейса API, позволяющего взаимодействовать с системами: «Агросигнал», «Росстат», ФГИС «Зерно», «Яндекс.Погода» и др. Выделены разработанные модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, которые могут быть использованы в разрабатываемой системе.

Для планирования производства аграрной продукции предложено использовать эколого-математическую модель, описывающую деятельность сельскохозяйственного предприятия с учетом климатических, биологических, экологических факторов и неоднородности сельскохозяйственных угодий по потенциалу получения урожая.

Список источников

1. Уколова Н.В. Мониторинг новых разработок России и Китая в области цифровизации сельского хозяйства / Н.В. Уколова, Ю.А. Шиханова, Л.Н. Потоцкая // Проблемы теории и практики управления, 2022. – № 1. – С. 40-50. – DOI: 10.46486/0234-4505-2022-01-40-50. – EDN ZKUUKH.
2. Южаков М.С. Применение технологии дистанционного зондирования Земли совместно с системой наземного мониторинга почвенно-климатических параметров в сельском хозяйстве / М.С. Южаков, А.В. Бадьин, И.В. Спешиллов и др. // Актуальные проблемы радиофизики АПР-2023. Сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Томск, 26–29 сентября 2023 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2023. – С. 109-113. – EDN MUAQSZ.
3. Беляева А.С. О проблемах и перспективах цифровой трансформации отечественного АПК / А. С. Беляева, А. А. Никитина // Достижения науки и техники АПК, 2023. – Т. 37. – № 1. – С. 34-40. – EDN EAGGHZ.
4. Спесивцев А.В. Описание теоретико-множественных моделей и многоэтапного алгоритма планирования функционирования трудноформализуемых сложных агробиотехнических объектов / А.В. Спесивцев, Б.В. Соколов, А.И. Семенов // Информатизация и связь, 2024. – № 5. – С. 72-78.
5. Тимофеев Е.В. Анализ современных информационных систем мониторинга процессов производства в сельском хозяйстве / Е.В. Тимофеев, А.Ф. Эрк, В.А. Размук и др. // АгроЭкоИнженерия, 2021. – № 1(106). – С. 4-15. – EDN LKMFTU.
6. Иваньо Я.М. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова, Ю.В. Столопова и др. // Прикладная информатика. 2021. – Т. 6. – № 6 (96). – С. 131-143.
7. Ганиева И.А. Предпосылки создания информационно-ресурсной цифровой платформы интеллектуального управления системами земледелия и землепользования для агропромышленного комплекса России / И.А. Ганиева // Достижения науки и техники АПК, 2019. – Т. 33. – № 12. – С. 110-116. – EDN KXIACZ.

8. Замараева А.А. Современные методы мониторинга состояния почвы и их роль в сельском хозяйстве / А.А. Замараева // Генезис и онтология инновационно ориентированной деятельности в условиях цифровизации: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Омск, 28 декабря 2023 года. – Уфа: ООО “Аэтерна”, 2023. – С. 287-290. – EDN MNOTYK.
9. Степных Н.В. Использование цифровых технологий в растениеводстве для хранения и анализа данных истории полей / Н.В. Степных, Е.В. Нестерова, А.М. Заргарян, и др. // Достижения науки и техники АПК, 2022. – Т. 36. – № 3. – С. 97-102. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_3_97. – EDN DKCRZV.
10. Каленкова С.Ю. Новое оборудование и технологии для аграриев: применение онлайн-сервисов мониторинга полей и управления сельским хозяйством / С.Ю. Каленкова // Наука сегодня: реальность и перспективы: Материалы международной научно-практической конференции, Вологда, 27 февраля 2019 года. – Вологда: ООО “Маркер”, 2019. – С. 43-44. – EDN RTGJVI.
11. Коломиец М.А. Технологии Интернета вещей в сельском хозяйстве / М.А. Коломиец, Г.В. Очкур, А.Г. Мотков // Проблемы современной экономики и прикладные исследования: молодежные проекты: Материалы VII Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Владимир, 14 апреля 2024 года. – Владимир: АРКАИМ, 2024. – С. 187-192. – EDN OIXCDV.
12. Яковлева Е.В. Цифровая трансформация мониторинга опасных зон в сельском хозяйстве / Е.В. Яковлева, М.О. Быков, А.С. Фролов // Безопасность жизнедеятельности, 2021. – № 8 (248). – С. 3-8. – EDN QJIFYH.
13. Выгузов М.Е. Интеграция инновационных систем мониторинга для "умного" сельского хозяйства / М.Е. Выгузов, А.А. Горбачева, И.А. Нечаев, и др. // Znanstvena Misel, 2020. – № 38-1(38). – С. 57-60. – EDN BEQXMQ.
14. Asalkhanov P.G., Bendik N.V., Fedurina N.I. Some aspects of digital transformation of agriculture in the Irkutsk region. Smart innovation, systems and technologies, 2022, vol. 272, pp. 643-649.
15. Иваньо Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки, 2022. – № 42. – С. 48-57.
16. Иваньо Я.М. О трех моделях линейного программирования применительно к производству аграрной продукции / Я.М. Иваньо, И.А. Ковадло., Н.И. Федурин // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2023. – № 3 (31). – С. 124-135. – DOI: 10.25729/ESI.2023.31.3.012.
17. Иваньо Я.М. Эколого-математическое моделирование производства аграрной продукции: монография / Я.М. Иваньо, Е.А. Ковалева. – Молодежный: Изд-во ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 2024. – 118 с.

Бендик Надежда Владимировна. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры информатики и математического моделирования института экономики, управления и прикладной информатики Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского. AuthorID: 518350, SPIN: 6088-4232, ORCID: 0000-0002-3097-8953, starkovan@list.ru, 664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, пос. Молодежный.

Замараев Алексей Олегович. Аспирант кафедры информатики и математического моделирования института экономики управления Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского. AuthorID: 1121471, SPIN: 3192-8040, ORCID: 0009-0006-0256-9198, 1C@irsau.ru, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный.

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, iasa_econ@rambler.ru, 664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, пос. Молодежный.

Спесивцев Александр Васильевич. Доктор технических наук, доцент, ведущий специалист лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, СПб ФИЦ РАН. AuthorID: 1078665, SPIN: 9085-1461, ORCID: 0000-0002-8928-4585, info@sprcras.ru, 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д. 39.

UDC 004.42:005.584.1:631.115

DOI:10.25729/ESI.2025.38.2.013

Monitoring data on agricultural production for modeling management decisions

Nadezhda V. Bendik¹, Aleksey O. Zamaraev¹, Yaroslav M. Ivan'ov¹, Aleksandr V. Spesivtsev²

¹Irkutsk State Agriculture University,

Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, *iydex@rambler.ru*

²Saint Petersburg Federal research center of the RAS,

Russia, Saint Petersburg

Abstract. Modern digital technologies allow collecting and systematizing information on the activities of agricultural enterprises during the annual cycle, starting with soil cultivation and ending with harvesting, storage, processing and sale of products with the construction of a plan for a new annual cycle. Access to data from fields, farms, satellites, unmanned aerial vehicles, automated agrometeorological sites contribute to the collection of large volumes of information for managing agricultural production at different stages and planning for the short, medium and long term. The development of data monitoring systems, including the use of precision farming methods and satellite information, expands the possibilities of using mathematical modeling to optimize production in conditions of uncertainty of many production-economic, agroclimatic and environmental characteristics.

Keywords: data monitoring, production processes, agroclimatic and environmental characteristics, optimization, agriculture, enterprise management

References

1. Ukolova N.V., SHihanova YU.A., Potockaya L.N. Monitoring novykh razrabotok Rossii i Kitaya v oblasti cifrovizatsii sel'skogo hozyajstva [Monitoring new developments in Russia and China in the field of digitalization of agriculture]. Problemy teorii i praktiki upravleniya [Problems of management theory and practice], 2022, no. 1, pp 40-50, DOI: 10.46486/0234-4505-2022-01-40-50, EDN ZKUUKH.
2. YUzhakov M.S., Bad'in A.V., Speshilov I.V. Primenenie tekhnologii distantsionnogo zondirovaniya Zemli sovmestno s sistemoy nazemnogo monitoringa pochvenno-klimaticheskikh parametrov v sel'skom hozyajstve [Application of Earth remote sensing technology together with the ground-based monitoring system of soil and climate parameters in agriculture]. Aktual'nye problemy radiofiziki APR-2023: Cbornik trudov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Tomsk, 26–29 sentyabrya, 2023) [Collection of works of the X International scientific and practical conference (Tomsk, September 26–29, 2023)]. Tomsk, 2023, pp. 109-113, EDN MUAQSZ.
3. Belyaeva A.S., Nikitina A.A. O problemah i perspektivah cifrovoj transformatsii otechestvennogo APK [On the problems and prospects of digital transformation of the domestic agro-industrial complex]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex], 2023, 37, no. 1, pp. 34-40, EDN EAGGHZ.
4. Spesivtsev A.V., Sokolov B.V., Semenov A.I. Opisanie teoretiko-mnozhestvennykh modelej i mnogoetapnogo algoritma planirovaniya funkcionirovaniya trudnoformalizuemykh slozhnykh agrobiotekhnicheskikh ob'ektov [Description of set-theoretic models and a multi-stage algorithm for planning the functioning of difficult-to-formalize complex agrobiotechnical objects]. Informatizatsiya i svyaz' [Informatization and Communication], 2024, no. 5, pp. 72-78.
5. Timofeev V.E., Erk A.F., Razmuk V.A. Analiz sovremennykh informacionnykh sistem monitoringa processov proizvodstva v sel'skom hozyajstve [Analysis of modern information systems for monitoring production processes in agriculture]. AgroEkoInzheneriya [AgroEcoEngineering], 2021, no. 1(106), pp. 4-15, EDN LKMFTU.
6. Ivan'ov YA.M., Barsukova M.N., Stolopova YU.V., et al. Zadacha parametricheskogo programmirovaniya s modelyami prognozirovaniya urozhajnosti sel'skohozyajstvennykh kul'tur [Parametric programming problem with crop yield forecasting models]. Prikladnaya informatika [Applied informatics], 2021, 16, no.6 (96), pp. 131-143.
7. Ganieva I.A. Predposylki sozdaniya informacionno-resursnoy cifrovoj platformy intellektual'nogo upravleniya sistemami zemledeliya i zemlepol'zovaniya dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Prerequisites for the creation of an information and resource digital platform for intelligent management of farming and land use systems for the agro-industrial complex of Russia]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex], 2019, 33, no. 12, pp. 110-116, EDN KXIACZ.
8. Zamaraeva A.A. Sovremennyye metody monitoringa sostoyaniya pochvy i ih rol' v sel'skom hozyajstve [Modern methods of monitoring soil conditions and their role in agriculture]. Genezis i ontologiya innovacionno orientirovannoy deyatel'nosti v usloviyakh cifrovizatsii: sbornik statej Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem [Collection of articles of the All-Russian scientific and practical

- conference with international participation (Omsk, December 28, 2023)]. Omsk, 28 dekabrya 2023. Ufa, 2023, pp. 287-290, EDN MNOTYK.
9. Stepanyh N.V., Nesterova E.V., Zargaryan A.M., et al. Ispol'zovanie cifrovyyh tekhnologiy v rastenievodstve dlya hraneniya i analiza dannyh istorii polej [Using digital technologies in crop production for storing and analyzing field history data]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex], 2022, 36, no. 3, pp. 97-102, EDN DKCRZV.
 10. Kalenkova S.YU. Novoe oborudovanie i tekhnologii dlya agrariyev: primeneniye onlajn-servisov monitoringa polej i upravleniya sel'skim hozyajstvom [New equipment and technologies for farmers: application of online services for monitoring fields and agricultural management]. Nauka segodnya: real'nost' i perspektivy: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii [Proceedings of the international scientific and practical conference (Vologda, February 27, 2019)], Vologda, 27 fevralya 2019. Vologda, 2019, pp. 43-44.
 11. Kolomic M.A., Ochkur G.V., Motkov A.G. Tekhnologii Interneta veshchej v sel'skom hozyajstve [IoT technologies in agriculture]. Problemy sovremennoy ekonomiki i prikladnye issledovaniya: molodezhnye proekty: Materialy VII Vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferencii (Vladimir, 14 aprelya 2024) [Proceedings of the VII All-Russian youth scientific and practical conference (Vladimir, April 14, 2024)], 2024, pp. 187-192, EDN OIXCDV.
 12. YAKovleva E.V., Bykov M.O., Frolov A.S. Cifrovaya transformatsiya monitoringa opasnykh zon v sel'skom hozyajstve [Digital Transformation of Hazardous Area Monitoring in Agriculture]. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Life safety], 2021, no 8(248), pp 3-8, EDN QJIFYH.
 13. Vygzov M.E., Gorbacheva A.A., Nechaev I.A., et al. Integratsiya innovatsionnykh sistem monitoringa dlya "umnogo" sel'skogo hozyajstva [Integration of innovative monitoring systems for smart agriculture]. Znanstvena Misel, 2020, no 38-1(38), pp. 57-60, EDN BEQXMQ.
 14. Asalkhanov P.G., Bendik N.V., Fedurina N.I. Some aspects of digital transformation of agriculture in the Irkutsk region. Smart innovation, systems and technologies, 2022, vol. 272, pp. 643-649.
 15. Ivan'o YA.M. Petrova S.A. Ob odnom algoritme vydeleniya anomal'nykh urovnej vremennogo ryada dlya ocenki riskov [On one algorithm for identifying abnormal levels of a time series for risk assessment]. Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki [Current issues of agricultural science], 2022, no. 42, pp. 48-57.
 16. Ivan'o YA.M., Kovadlo I.A., Fedurina N.I. O trekh modelyakh linejnogo programmirovaniya primenitel'no k proizvodstvu agrarnoy produkcii [On three models of linear programming applied to agricultural production]. Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2023, no. 3 (31), pp. 124-135, DOI: 10.25729/ESI.2023.31.3.012.
 17. Ivan'o YA.M., Kovaleva E.A. Ekologo-matematicheskoe modelirovaniye proizvodstva agrarnoy produkcii [Ecological and mathematical modeling of agricultural production: monograph]: monografiya. Molodezhnyj: Izd-vo FGBOU VO Irkutskij GAU [Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk State Agrarian University], 2024, 118 p.

Bendik Nadezhda Vladimirovna. Candidate of technical sciences, associate 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: 518350, SPIN: 6088-4232, ORCID: 0000-0002-3097-8953, starkovan@list.ru, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement.

Zamaraev Aleksey Olegovich. Postgraduate student of the department of informatics and mathematical modeling of the institute of economics and management, Irkutsk state agriculture university named after A.A. Ezhevsky. AuthorID 1121471, SPIN: 3192-8040, ORCID: 0009-0006-0256-9198, 1C@irsau.ru, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, settlement Molodezhny.

Ivan'o Yaroslav Mikhailovich. 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, iasa_econ@rambler.ru, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, settlement Molodezhny.

Spesivtsev Alexander Vasilievich. Doctor of technical sciences, associate professor, leading specialist of the laboratory of information technologies in systems analysis and modeling, St. Petersburg Federal research center of the Russian Academy of Sciences. AuthorID: 1078665, SPIN: 9085-1461, ORCID: 0000-0002-8928-4585, info@spcras.ru, 199178, Russia, St. Petersburg, 14th Line of V.O., Bldg. 39.

Статья поступила в редакцию 13.02.2025; одобрена после рецензирования 04.04.2025; принята к публикации 10.04.2025.

The article was submitted 02/13/2025; approved after reviewing 04/04/2025; accepted for publication 04/10/2025.