

Н.Т. Шогелова^{1,*} , С.А. Сартин² , Н.М. Смаилов² ,
Ж.З. Толеубекова³ , А.В. Первигов⁴ 

¹Международная образовательная корпорация, Казахстан, г. Алматы

²Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Казахстан, г. Петропавловск

³Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
Казахстан, г. Астана

⁴Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, г. Томск

*e-mail: nazym-shogelova@mail.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДОЛГОВРЕМЕННОГО УЧЕТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬХОЗЗЕМЕЛЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИИ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Разработка алгоритмов для управления сельскохозяйственными землями, основанных на геоинформационных системах, представляет собой перспективное направление в сфере прецизионного земледелия. Применение ГИС обеспечивает сбор, обработку и анализ геопространственных данных о земельных участках, что облегчает более точное и эффективное планирование аграрной деятельности. Этот метод способствует улучшению эффективности и устойчивости аграрного сектора, в том числе за счет оптимизации использования ресурсов и снижения негативного воздействия на окружающую среду, а также способствует увеличению урожайности и улучшению качества агропродукции.

Настоящая статья посвящена разработке методологии планового устройства сельскохозяйственных земель с использованием современных геоинформационных технологий. В статье представлены ключевые этапы и алгоритмы, необходимые для организации севооборота и эффективного управления сельскохозяйственными угодьями. С использованием платформы Google Earth и данных дистанционного зондирования Земли, авторы проводят анализ земельного участка, определяют цели и задачи, разрабатывают схему севооборота, выбирают культуры. Статья представляет конкретный алгоритм выделения границ сельскохозяйственных полей, их каталогизации и оценки стадии севооборота. Результаты исследования позволяют оптимизировать использование земельных ресурсов и повысить урожайность. Методология, предложенная в статье, имеет важное практическое значение для сельскохозяйственных предприятий и может быть использована для улучшения управления сельскохозяйственными угодьями.

Ключевые слова: севооборот, геоинформационные технологии, Google Earth, ДЗЗ, оптимизация сельскохозяйственного производства.

N.Shogelova^{1,*}, S. Sartin², N. Smailov²,
Zh. Toleubekova³, A. Pervikov⁴

¹International Educational Corporation, Kazakhstan, Almaty

²North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev, Kazakhstan Petropavlovsk

³S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Kazakhstan, Astana

⁴Institute of Physics of Strength and Materials Science, SBR AS, Russia, Tomsk

*e-mail: nazym-shogelova@mail.ru

Development of algorithm of long-term accounting of agricultural earth use with application of GIS-technology and long-term remote sensing data

The development of algorithms for agricultural land management based on geographic information systems is a promising direction in the field of precision agriculture. The application of GIS enables the collection, processing, and analysis of geospatial data on land parcels, which facilitates more accurate and efficient planning of agricultural activities. This method contributes to improving the efficiency and sustainability of the agrarian sector, including by optimizing the use of resources and reducing the negative impact on the environment, and contributes to increasing yields and improving the quality of agro-products. The present article is devoted to the development of methodology of planned arrangement of agricultural land using modern geoinformation technologies. The article presents key stages

and algorithms necessary for the organization of crop rotation and effective management of agricultural land. Using the Google Earth platform and remote sensing data, the authors analyze the land plot, define goals and objectives, develop a crop rotation scheme, and select crops. The article presents a specific algorithm for delineating the boundaries of agricultural fields, cataloging them, and evaluating the stage of crop rotation. The results of the research allow optimizing the use of land resources and increasing crop yields. The methodology proposed in the article has important practical significance for agricultural enterprises and can be used to improve farmland management.

Key words: crop rotation, geoinformation technologies, Google Earth, remote sensing, optimization of agricultural production.

Н.Т. Шогелова¹, С.А. Сартин², Н.М. Смаилов²,
Ж.З. Толеубекова³, А.В. Первиков⁴

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Қазақстан, Алматы қ.

²Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан, Петропавл қ.

³С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан, Астана қ.

⁴РФА СБ қаттылық және материалтану физикасы институты, Ресей, Томск қ.

*e-mail: nazym-shogelova@mail.ru

ГАЗ технологиясы мен жерді қашықтықтан зондтаудың аралық деректерін пайдалана отырып, ауыл шаруашылығы жерлерін пайдалануды ұзақмерзімді есепке алу алгоритмін әзірлеу

Геоақпараттық жүйелерге негізделген ауылшаруашылық жерлерін басқару алгоритмдерін әзірлеу дәл егіншілік саласындағы перспективалы бағыттардың бірі болып табылады. ГАЗ қолдану жер учаскелері туралы геокеңістіктік деректерді жинауды, өңдеуді және талдауды қамтамасыз етеді және бұл аграрлық қызметті дәлірек және тиімді жоспарлауды жеңілдетеді. Бұл әдіс аграрлық сектордың тиімділігі мен тұрақтылығын жақсартуға, соның ішінде ресурстарды пайдалануды оңтайландыру және қоршаған ортаға теріс әсерді азайту арқылы, сондай-ақ өнімділікті арттыруға және агроөнімдердің сапасын жақсартуға ықпал етеді.

Осы мақала заманауи геоақпараттық технологияларды пайдалана отырып, ауыл шаруашылығы жерлерін жоспарлы орналастыру әдіснамасын әзірлеуге арналған. Мақалада ауыспалы егісті ұйымдастыруға және ауылшаруашылық жерлерін тиімді басқаруға қажетті негізгі кезеңдер мен алгоритмдер келтірілген. Google Earth платформасын және Жерді қашықтықтан зондтау деректерін пайдалана отырып, авторлар жер учаскесіне талдау жасайды, мақсаттар мен міндеттерді анықтайды, ауыспалы егіс схемасын әзірлейді, дақылдарды таңдайды. Мақала ауылшаруашылық алқаптарының шекараларын бөлудің, оларды каталогтаудың және ауыспалы егіс кезеңін бағалаудың нақты алгоритмін ұсынады. Зерттеу нәтижелері Жер ресурстарын пайдалануды оңтайландыруға және өнімділікті арттыруға мүмкіндік береді. Мақалада ұсынылған әдістеме ауылшаруашылық кәсіпорындары үшін маңызды практикалық мәнге ие және оны ауылшаруашылық жерлерін басқаруды жақсарту үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: ауыспалы егіс, геоақпараттық технологиялар, Google Earth, ЖҚЗ, ауыл шаруашылығы өндірісін оңтайландыру.

Введение

Современное управление сельскохозяйственными землями включает использование технологий точного земледелия, которые способствуют оптимизации использования ресурсов и повышению урожайности. Ключевым компонентом точного земледелия являются сенсорные технологии, которые обеспечивают сбор и анализ данных для принятия информированных решений в различных аспектах управления посевами. Эти технологии включают в себя как дистанционное зондирование с использованием спутников, воздушной фотографии и дронов, так и

наземные датчики, такие как метеорологические станции, датчики влажности почвы и сенсоры питательных веществ. Применение систем GPS и GIS в точном земледелии дополнительно расширяет возможности сбора и анализа данных, оптимизируя использование ресурсов и управление посевами (Sharma, 2023:45, Shogelova, 2022:30).

Одним из основных преимуществ точного земледелия является возможность снижения использования воды, удобрений и других ресурсов без ущерба для урожайности. Точное земледелие позволяет достичь устойчивой интенсификации: повышение производительности при снижении воздействия на окружающую среду, включая

уменьшение использования воды и снижение загрязнения воды удобрениями. Однако проблема заключается в стоимости и сложности эксплуатации технологий точного земледелия, что ограничивает их доступность для небольших и экономически ограниченные хозяйства, особенно в развивающихся странах (Cleary, 2017).

Кроме того, исследования в мире показали, что последовательное использование различных технологий точного земледелия приводит к увеличению урожайности на 4%, повышению эффективности использования удобрений на 7%, сокращению использования гербицидов и пестицидов на 9%, уменьшению потребления ископаемого топлива на 6% и снижению использования воды на 4%. Эти улучшения способствуют снижению экологического воздействия, включая уменьшение выбросов CO₂ и сохранение ресурсов (АЕМ, 2023).

Таким образом, точное земледелие предлагает значительные преимущества для устойчивого управления сельскохозяйственными землями, но его широкое применение требует преодоления экономических и технических барьеров, особенно в развивающихся странах.

Выращивание одной и той же культуры на одном и том же поле в течение многих лет, известное как монокультура, может привести к ряду негативных последствий для почвы и урожайности. Монокультура способствует истощению определённых питательных веществ в почве, увеличивает рост сорняков и вредителей, и делает сельскохозяйственные системы более зависимыми от внешних входных факторов, таких как синтетические удобрения и гербициды. С другой стороны, севооборот, практика чередования разных культур на одном и том же поле, может существенно улучшить состояние почвы и урожайность. Разнообразие культур в севооборотах улучшает химические и микробиологические свойства почвы, повышает урожайность и снижает потребность в синтетических удобрениях и гербицидах. Так, исследования показали, что более разнообразные севообороты могут увеличить среднюю урожайность кукурузы на 28% во всех условиях выращивания. Кроме того, севообороты положительно влияют на содержание органического углерода и азота в почве, что способствует повышению биоразнообразия и доступности питательных веществ для будущих урожаев (Marais, 2012, FAO, 2020).

Использование ГИС технологии в сельском хозяйстве позволяет сделать процесс принятия

решений более информированным и точным, учитывая множество переменных, таких как погодные условия, типы почвы и агрономические практики. Эти технологии помогают фермерам выбирать наиболее подходящие культуры и оптимизировать управление земельными ресурсами, что в итоге приводит к повышению урожайности и устойчивости сельскохозяйственных систем (van Klompenburg, 2020).

Разработка алгоритма использования сельскохозяйственных земель с применением ГИС-технологий является перспективным направлением в области точного земледелия. Использование ГИС позволяет собирать, обрабатывать и анализировать пространственные данные о земельных участках, что способствует более точному и эффективному планированию сельскохозяйственной деятельности. Подобный подход значительно повысит эффективность и устойчивость сельского хозяйства за счет более рационального использования ресурсов и уменьшения воздействия на окружающую среду. Это также способствует повышению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции (Schaefer, 2019).

Например, в одном исследовании предложена модель, состоящая из двух этапов: прогнозирование погоды и определение оптимальной культуры. На первом этапе используются рекуррентные нейронные сети (RNN) для прогнозирования погоды, а на втором этапе – классификатор случайного леса для выбора культуры на основе предсказанных погодных условий и параметров почвы (Rani, 2023).

В другом исследовании анализируется влияние даты посева на урожайность кукурузы и сои. Например, обнаружено, что посев сои 1 мая приводит к увеличению урожайности на 14% по сравнению с посевом 1 июня. Подобные данные помогают оптимизировать агротехнические практики, такие как выбор времени посева, для повышения урожайности (Mourtzinis, 2021).

Севооборот является ключевым элементом устойчивого земледелия, и его осуществление включает в себя несколько этапов:

- Посев предшественника: на этом этапе выбирается культура, которая будет выращиваться перед основной культурой следующего сезона. Выбор предшественника основывается на его способности улучшать плодородие почвы и способствовать борьбе с болезнями и вредителями.

- Подготовка почвы: перед посевом следующей культуры проводится ряд работ по обра-

ботке почвы, таких как планировка, окучивание, вспашка и культивирование. Это необходимо для создания оптимальных условий для роста и развития новых культур.

- Посев: на этом этапе происходит посев культуры, которая должна быть подобрана с учетом предыдущей культуры, ее влияния на почву и потребностей в питательных веществах.

- Уход за посевами: включает в себя действия, такие как полив, подкормка, прополка и обрезка, необходимые для поддержания здорового роста и развития растений.

- Сбор урожая: этот этап включает сбор и хранение урожая, который может быть использован для питания людей или животных.

- Подготовка почвы к следующему посеву: после сбора урожая необходимо провести работы по восстановлению плодородия почвы и подготовке ее к посеву следующей культуры.

Согласно исследованиям, опубликованным в «Scientific Reports», севооборот оказывает положительное влияние на химические свойства почвы и микробные сообщества, что подтверждает его значимость для улучшения качества почвы и устойчивости сельскохозяйственных систем (Li, 2022). Кроме того, исследование, опубликованное на ResearchGate, подчеркивает важность севооборота в развитии и сохранении структуры почвы, а также в управлении круговоротом питательных веществ и подавлении болезней (Ball, 2005:557). Эти исследования подтверждают, что севооборот является важной практикой в сельском хозяйстве, направленной на улучшение качества почвы и повышение урожайности.

В рамках исследования был разработан алгоритм для управления сельскохозяйственными землями, который интегрирует ГИС-технологии с моделью севооборота. Этот алгоритм, основанный на систематическом подходе к планированию сельскохозяйственной деятельности, предполагает использование геоинформационных систем для оптимизации распределения и использования земельных ресурсов, что позволяет увеличить эффективность и урожайность сельского хозяйства.

Материалы и методы исследования

Интеграция ГИС в процесс планирования сельскохозяйственной деятельности позволяет точно анализировать и учитывать множество факторов, таких как характеристики почвы, климатические условия, распределение водных

ресурсов и историю предыдущих посевов. Это способствует более эффективному принятию решений в отношении севооборота, который является ключевым фактором в поддержании плодородия почвы и предотвращении истощения питательных веществ (Ghosh, 2022, Huang, 2021:1).

Организация севооборота на сельскохозяйственных землях с применением ГИС-технологий и платформы, такой как Google Earth, представляет собой комплексный процесс, который включает в себя следующие этапы:

- Анализ земельного участка: Используя ГИС и Google Earth, проводится анализ свойств почвы, климатических условий и законодательных ограничений. Это позволяет создать подробные карты земельных участков и определить их границы.

- Определение целей и задач: задается стратегия возделывания культур, выбираются технологии и устанавливается плановый график работ.

- Разработка схемы севооборота: составляется план вращения культур, учитывая особенности почвы и климата.

- Выбор культур: выбираются культуры с учетом их агрономических требований и воздействия на плодородие почвы.

- Определение методов обработки почвы: решается, какие методы будут использоваться для обработки почвы, включая вспашку, культивацию и пр.

- Разработка плана подкормки и защиты растений: создается план удобрения и защиты растений от болезней и вредителей.

- Планирование системы полива: разрабатывается система полива, обеспечивающая оптимальное увлажнение растений.

- Разработка бюджета: определяются финансовые затраты на все этапы устройства сельскохозяйственного производства.

- Реализация плана: выполняются все запланированные работы в соответствии с разработанным планом.

Применение ГИС-технологий и платформы Google Earth в этих процессах позволяет точно определить границы полей, провести их каталогизацию и управлять земельными ресурсами более эффективно. Это способствует более точному планированию сельскохозяйственной деятельности, улучшению управления плодородием почвы и оптимизации использования сельскохозяйственных земель. Существует ряд

исследований, описывающих применение этих технологий для точного определения границ полей и улучшения управления сельскохозяйственными угодьями.

Одно из исследований, опубликованное в MDPI, представляет собой подход к выделению границ рисовых полей с использованием высокоразрешающих спутниковых изображений и классификации земель с помощью данных SAR (Синтетического Апертуры Радара) от Sentinel-1. В этом исследовании использовались модели на основе нейронной сети U-net для выделения границ сельскохозяйственных участков (Wang, 2022:2342).

Другое исследование, также опубликованное в MDPI, описывает использование глубокого обучения для определения границ сельскохозяйственных полей на основе изображений Sentinel-2. В работе применяется новаторский подход к детектированию высокого разрешения для выявления контуров сельскохозяйственных полей, что позволяет улучшить пространственное разрешение выходных данных с 10 м до 5 м (Masoud, 2020:12).

Эти и другие исследования подтверждают, что ГИС-технологии и платформа Google Earth могут играть ключевую роль в точном определении границ полей, что способствует более

эффективному управлению сельскохозяйственными землями и планированию сельскохозяйственной деятельности.

Алгоритм выделения контуров сельскохозяйственных полей с использованием ГИС-технологий и Google Earth можно описать следующим образом:

1. Загрузка изображения в Google Earth: необходимо загрузить спутниковые снимки сельскохозяйственных угодий в Google Earth Pro и настроить масштаб таким образом, чтобы границы полей были четко видны.

2. Выделение контуров полей (рис.1): используя инструмент «Полигон» в Google Earth Pro, следует обвести границы каждого поля, фиксируя его площадь и периметр. Это позволяет точно определить размеры и форму каждого поля.

3. Сохранение контуров полей: каждый выделенный контур поля следует сохранить в виде отдельного файла в формате, совместимом с программами обработки геоданных (например, KML).

4. Создание каталога полей: необходимо создать каталог, в котором будут храниться данные о каждом поле, включая порядковый номер, площадь, периметр, стадию севооборота и другие характеристики.



Рисунок 1 – Выделение границ полей с указанием параметров

5. Загрузка файлов в программу для обработки геоданных: полученные файлы следует загрузить в специализированную программу, например QGIS, для дальнейшего анализа.

6. Анализ с помощью индекса NDVI (рис.2): В QGIS можно использовать индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) для анализа уровня зелености и здоровья растительности на каждом поле.

7. Дополнительный анализ данных: можно также проанализировать другие данные, такие

как информация о посевах и обработке почвы, для оценки эффективности использования угодий.

8. Оптимизация использования земель: использование Google Earth и индекса NDVI позволяет контролировать состояние растительности на полях и оценивать эффективность использования сельскохозяйственных угодий в рамках севооборота, что способствует оптимизации использования земель и повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

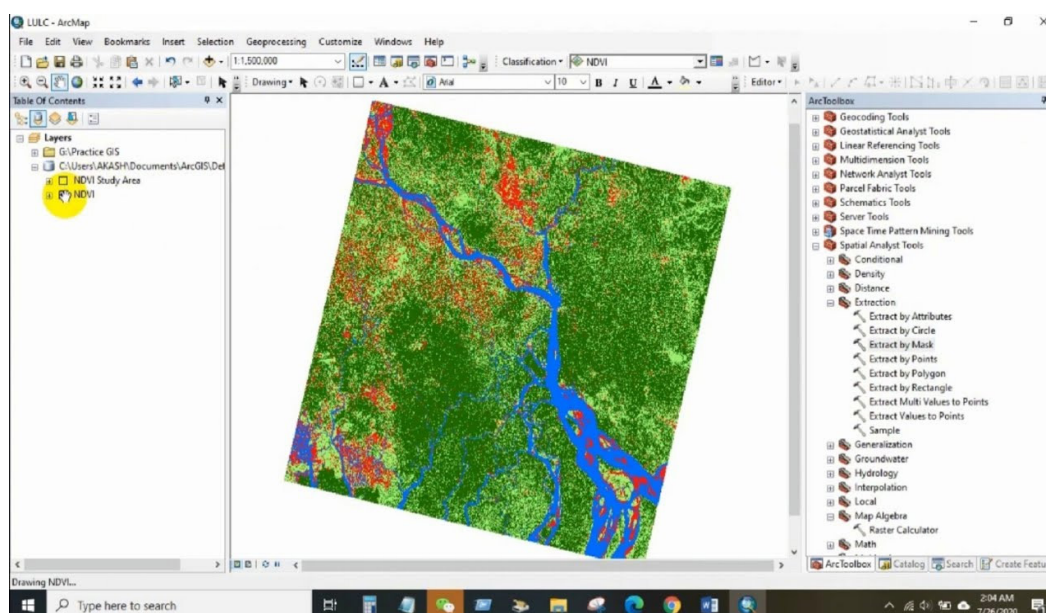


Рисунок 2 – Анализ индекса NDVI в QGIS

После загрузки исходных спутниковых снимков в Google Earth Pro для целей агрономического исследования, процесс выделения границ исследуемых сельскохозяйственных полей и создания их каталога может быть описан следующим образом:

- Процедура выделения границ полей: Используя функционал Google Earth Pro, проводится детальное определение границ сельскохозяйственных полей. Это достигается путём визуализации и последующего обвода контуров каждого поля на спутниковых изображениях, что позволяет получить точную геометрическую информацию о границах полей.

- Разработка каталога полей: создается структурированный каталог, включающий в себя сведения о каждом выделенном поле. В этот каталог вносятся данные, такие как порядковый номер

поля согласно кадастру, площадь, периметр, а также информация о текущей стадии севооборота и другие релевантные агрономические характеристики (рис. 3, 4, 5).

- Инструменты измерения в Google Earth Pro: для определения площади и периметра полей используются встроенные инструменты Google Earth Pro. Измерение площади и линий осуществляется посредством соответствующих функций программы, что обеспечивает точность и надежность получаемых данных.

- Научное применение данных: собранные данные могут быть использованы для проведения различных агрономических исследований, например, для анализа эффективности землепользования, оценки уровня плодородия почвы или планирования сельскохозяйственных работ.

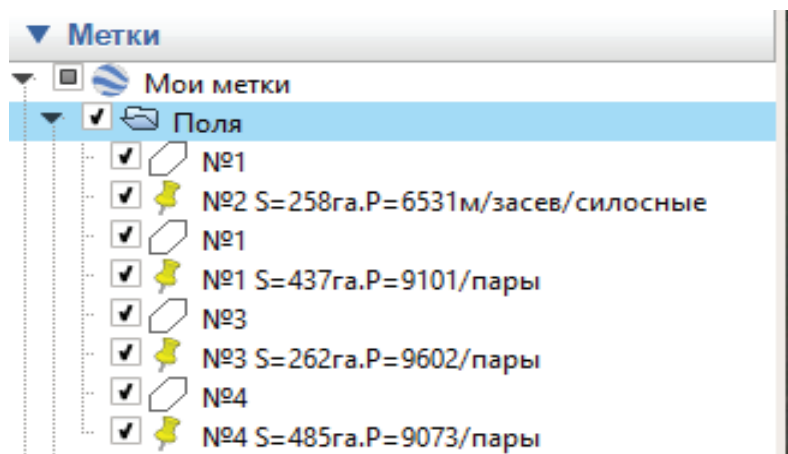


Рисунок 3 – Каталог исследуемых полей



Рисунок 4 – Выделенное поле с характеристиками

Вид	Высота	Измерения
Периметр:	6 531	Метры
Площадь:	258	Гектары

Рисунок 5 – Периметр и площадь исследуемого поля

Этот методологический подход к выделению границ полей и созданию их каталога с использованием ГИС-технологий и Google Earth Pro представляет собой важный инструмент в современном агрономическом управлении и исследовании, позволяющий повысить эффективность и точность аграрного планирования.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования были успешно применены методы дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий, в частности, использование Google Earth Pro для выявления границ исследуемых сельскохозяйственных полей. Спутниковые данные позволили точно определить стадии роста культур на каждом поле, что стало основой для разработки долгосрочного плана севооборота. Важность этого подхода подтверждается существующими исследованиями, которые демонстрируют улучшение урожайности и эффективности использования земель при внедрении продуманных планов севооборота.

Существует множество исследований и публикаций, подчеркивающих важность севооборота в сельском хозяйстве. Примером могут служить статьи, опубликованные в журнале «Агроному», в которых обсуждаются различные стратегии севооборота и их влияние на урожайность и устойчивость агроэкосистем. Другие релевантные исследования включают работы, посвященные изучению воздействия различных сельскохозяйственных практик на почвенное плодородие и урожайность.

Эти исследования подчеркивают значимость комплексного подхода к севообороту, учитывающего как агрономические, так и экологические аспекты для достижения устойчивого развития в сельском хозяйстве.

Перспективная модель севооборота, представленная в таблице 1, отражает план использования различных культур на сельскохозяйственных полях в течение пятилетнего периода. Этот подход является частью устойчивых агрономических практик, направленных на оптимизацию использования земельных ресурсов и улучшение урожайности.

- Паровая стадия (Пар): Период, когда поле не используется для выращивания культур. Это способствует восстановлению плодородия почвы, уменьшает заселенность вредителями и болезнями, а также увеличивает содержание органических веществ в почве.

- Выращивание озимых культур: Озимые, такие как пшеница или рожь, обычно сеются осенью и собираются летом следующего года. Они помогают поддерживать структуру почвы и уменьшать эрозию.

- Яровые культуры: Культуры, которые сеют весной и собирают летом или осенью того же года. Яровые культуры, такие как ячмень или овес, помогают разнообразить севооборот и снижают риск распространения болезней и вредителей.

- Выращивание кукурузы: Кукуруза обычно требует значительных количеств удобрений и воды, но также способствует улучшению структуры почвы и её плодородия.

Таблица 1 – План использование земельных земель

Поле/год	2023	2024	2025	2026	2027
1	Пар	Озимые	Яровые	Кукуруза	Яровые
2	Озимые	Яровые	Пар	Яровые	Кукуруза
3	Яровые	Кукуруза	Озимые	Яровые	Пар
4	Кукуруза	Озимые	Яровые	Пар	Яровые

Эта модель севооборота способствует поддержанию плодородия почвы, уменьшению зависимости от химических удобрений и пестицидов, а также улучшает урожайность благодаря разнообразию выращиваемых культур. Такой подход учитывает экологические, экономические и социальные аспекты сельского хозяйства,

что является ключевым фактором устойчивого развития.

Заключение

Данное исследование подтверждает значимость и практическую применимость ГИС-

технологий и данных дистанционного зондирования земли в контексте сельского хозяйства, особенно в области планирования севооборота и управления сельскохозяйственными угодьями. Результаты исследования демонстрируют, что применение этих технологий способствует повышению эффективности аграрного производства, улучшению управления аграрными ресурсами и поддержанию устойчивости агроэкосистем.

Сочетание спутникового мониторинга и анализа ГИС открывает новые возможности для развития комплексных и интегрированных подходов в сельском хозяйстве. Это включает в себя возможность интеграции с передовыми агротехнологиями, такими как точное земледелие и ав-

томатизированные системы управления. Таким образом, данное исследование вносит важный вклад в развитие сельскохозяйственных наук, обеспечивая основу для дальнейшего изучения и оптимизации аграрного сектора.

Значительный потенциал интеграции ГИС и ДЗЗ в агрономические практики подчеркивает важность этих технологий для современного сельского хозяйства. Исследование предоставляет ценные данные, которые могут быть использованы аграрными специалистами, учеными и экологами для разработки эффективных стратегий управления земельными ресурсами, повышения урожайности и поддержания устойчивости сельскохозяйственных систем.

Литература

- Marais, M. Hardy, M. Booyse, and A. Botha, Effects of Monoculture, Crop Rotation, and Soil Moisture Content on Selected Soil Physicochemical and Microbial Parameters in Wheat Fields, *Applied and Environmental Soil Science* 2012 <https://doi.org/10.1155/2012/593623>
- Association of Equipment Manufacturers (2023). The environmental benefits of precision agriculture quantified <https://www.aem.org/news/the-environmental-benefits-of-precision-agriculture-quantified>
- C. Ball, I. Bingham, R. M. Rees, C. A. Watson, and A. Litterick. 2005. The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. *Canadian Journal of Soil Science*. **85**(5): 557-577. <https://doi.org/10.4141/S04-078>
- David Cleary (2017). Precision Agriculture: Potential and Limits. The Nature Conservancy <https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/precision-agriculture-potential-and-limits/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- Ghosh, Parmita, and Siva P. Kumpatla. 2022. 'GIS Applications in Agriculture'. *Geographic Information Systems and Applications in Coastal Studies*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.104786.
- Li, H., Li, C., Song, X. et al. Impacts of continuous and rotational cropping practices on soil chemical properties and microbial communities during peanut cultivation. *Sci Rep* **12**, 2758, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06789-1>
- Masoud, K.M.; Persello, C.; Tolpekin, V.A. Delineation of Agricultural Field Boundaries from Sentinel-2 Images Using a Novel Super-Resolution Contour Detector Based on Fully Convolutional Networks. *Remote Sens*. 2020, *12*. <https://doi.org/10.3390/rs12010059>
- Mathias Schaefer, Nguyen Xuan Thinh Evaluation of Land Cover Change and Agricultural Protection Sites: A GIS and Remote Sensing Approach for Ho Chi Minh City, Vietnam, *Heliyon* **5**, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01773>
- Mourtzinis, S., Esker, P.D., Specht, J.E. et al. Advancing agricultural research using machine learning algorithms. *Sci Rep* **11**, 17879 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97380-7>
- Rani, S., Mishra, A.K., Kataria, A. et al. Machine learning-based optimal crop selection system in smart agriculture. *Sci Rep* **13**, 15997 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42356-y>
- S. Huang, L. Tang, J.P. Hupy, Y. Wang, G. Shao A commentary review on the use of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the era of popular remote sensing, *J. For. Res.*, **32** (2021), pp. 1-6
- Shikha Sharma (2023). Precision Agriculture: Reviewing the Advancements, Technologies, and Applications in Precision Agriculture for Improved Crop Productivity and Resource Management. *Reviews In Food and Agriculture*, **4**(2): 45-49. DOI: <http://doi.org/10.26480/rfna.02.2023.41.45>
- Shogelova, N., Sartin, S., Zveryachenko, T. (2022). Devising recommendations based on a comprehensive assessment of the soil-geobotanical condition of land plots for executing afforestation activities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, **2**(10 (116)), 30–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255054>
- Thomas van Klompenburg, Ayalew Kassahun, Cagatay Catal, Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 177, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709>.
- Wang, M.; Wang, J.; Cui, Y.; Liu, J.; Chen, L. Agricultural Field Boundary Delineation with Satellite Image Segmentation for High-Resolution Crop Mapping: A Case Study of Rice Paddy. *Agronomy* **2022**, *12*, 2342. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102342>

References

- Shikha Sharma (2023). Precision Agriculture: Reviewing the Advancements, Technologies, and Applications in Precision Agriculture for Improved Crop Productivity and Resource Management. *Reviews In Food and Agriculture*, 4(2): 45-49. DOI: <http://doi.org/10.26480/rfna.02.2023.41.45>
- Shogelova, N., Sartin, S., Zveryachenko, T. (2022). Devising recommendations based on a comprehensive assessment of the soil-geobotanical condition of land plots for executing afforestation activities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (116)), 30–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255054>
- David Cleary (2017). Precision Agriculture: Potential and Limits. The Nature Conservancy <https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/precision-agriculture-potential-and-limits/>
- Association of Equipment Manufacturers (2023). The environmental benefits of precision agriculture quantified <https://www.aem.org/news/the-environmental-benefits-of-precision-agriculture-quantified>
- Marais, M. Hardy, M. Booyse, and A. Botha, Effects of Monoculture, Crop Rotation, and Soil Moisture Content on Selected Soil Physicochemical and Microbial Parameters in Wheat Fields, *Applied and Environmental Soil Science* 2012 <https://doi.org/10.1155/2012/593623>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- Thomas van Klompenburg, Ayalew Kassahun, Cagatay Catal, Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 177, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709>.
- Mathias Schaefer, Nguyen Xuan Thinh Evaluation of Land Cover Change and Agricultural Protection Sites: A GIS and Remote Sensing Approach for Ho Chi Minh City, Vietnam, *Heliyon* 5, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01773>
- Rani, S., Mishra, A.K., Kataria, A. et al. Machine learning-based optimal crop selection system in smart agriculture. *Sci Rep* 13, 15997 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42356-y>
- Mourtzinis, S., Esker, P.D., Specht, J.E. et al. Advancing agricultural research using machine learning algorithms. *Sci Rep* 11, 17879 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97380-7>
- Li, H., Li, C., Song, X. et al. Impacts of continuous and rotational cropping practices on soil chemical properties and microbial communities during peanut cultivation. *Sci Rep* 12, 2758, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06789-1>
- C. Ball, I. Bingham, R. M. Rees, C. A. Watson, and A. Litterick. 2005. The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. *Canadian Journal of Soil Science*. 85(5): 557-577. <https://doi.org/10.4141/S04-078>
- Ghosh, Parmita, and Siva P. Kumpatla. 2022. 'GIS Applications in Agriculture'. *Geographic Information Systems and Applications in Coastal Studies*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.104786.
- S. Huang, L. Tang, J.P. Hupy, Y. Wang, G. Shao A commentary review on the use of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the era of popular remote sensing, *J. For. Res.*, 32 (2021), pp. 1-6
- Wang, M.; Wang, J.; Cui, Y.; Liu, J.; Chen, L. Agricultural Field Boundary Delineation with Satellite Image Segmentation for High-Resolution Crop Mapping: A Case Study of Rice Paddy. *Agronomy* 2022, 12, 2342. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102342>
- Masoud, K.M.; Persello, C.; Tolpekin, V.A. Delineation of Agricultural Field Boundaries from Sentinel-2 Images Using a Novel Super-Resolution Contour Detector Based on Fully Convolutional Networks. *Remote Sens.* 2020, 12. <https://doi.org/10.3390/rs12010059>

Сведения об авторах:

Шогелова Назым Тулегеновна (корреспондентный автор) – магистр технических наук, докторант ФСТИМ, Международная образовательная корпорация (г. Алматы Казахстан, эл.почта: nazum-shogelova@mail.ru)

Сартин Сергей Александрович – физико-математических наук, доцент кафедры «Физика», Северо-Казахстанский университет имени М.Козыбаева (г. Петропавловск Казахстан, эл.почта: sartin78@mail.ru)

Смаилов Нурлан Маратович – магистрант кафедры «Физика», Северо-Казахстанский университет имени М.Козыбаева (г. Петропавловск Казахстан, эл.почта: sasartin@ku.edu.kz)

Толубекова Жанат Зекеновна – Кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства и геодезии, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина (г. Астана, Казахстан, эл.почта: zh.toleubekova@kazatu.edu.kz)

Первиков Александр Васильевич – Кандидат технических наук, профессор, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г.Томск, Россия, эл.почта: Pervikov@list.ru)

Information about authors:

Shogelova Nazym (Corresponding author) – Master of Technical Sciences, doctoral student of FSTIM, International Educational Corporation (Almaty, Kazakhstan, e-mail: nazym-shogelova@mail.ru).

Sartin Sergey – physico-mathematical sciences, associate professor of the department of «Physics», North-Kazakhstan University named after M.Kozybaev (Petropavlovsk Kazakhstan, e-mail: sartin78@mail.ru)

Smailov Nurlan – Master's student of the Department of «Physics», North-Kazakhstan University named after M.Kozybaev (Petropavlovsk Kazakhstan, e-mail: sasartin@ku.edu.kz)

Toleubekova Zhanat – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Geodesy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seyfullin (Astana, Kazakhstan, e-mail: zh.toleubekova@kazatu.edu.kz).

Alexander Pervikov – Candidate of Technical Sciences, Professor, Institute of Physics of Strength and Materials Science, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia, e-mail: Pervikov@list.ru).

Поступила впервые: 15 мая 2023 года

Повторна загружена: 26 января 2024 года

Принята: 27 марта 2024 года