

Интеллектуальные модули для системы мониторинга сельскохозяйственных земель региона («УралГИС-Агро»)

В. Н. Максимова • Т. А. Макаровских • А. Э. Жулев • Н. Е. Левченко

Южно-Уральский государственный университет

Современные глобальные вызовы человечеству требуют комплексного решения различных практических задач, в том числе и решения задач развития сельского хозяйства, в котором использование географических информационных систем (ГИС) и технологий Интернета вещей стало неотъемлемой частью ведения учета и прогнозирования развивающихся процессов. Целью исследования является разработка подключаемых интеллектуальных модулей для информационной системы «УралГИС-Агро». Система имеет многомодульную структуру, что позволяет подключать дополнительные интеллектуальные модули для решения задач определения заброшенных невостребованных объектов землепользования и сегментации территорий. Предлагаемое решение использует данные дистанционного зондирования (ДЗЗ) и данные из базы информационной системы для детекции проблемы (в рассматриваемом случае – зарастания лесом) при помощи анализа вегетационного индекса для разных объектов в разные периоды времени. По результатам работы модуля можно определить точное местоположение проблемных объектов и провести их экспертную оценку либо анализ с использованием интеллектуальных методов и данных более высокой точности. По результатам тестирования модуля были определены площади невостребованных заросших участков сельскохозяйственных угодий, определена выгода для региона в случае передачи обнаруженных объектов в лесфонд, а также возможные расходы на восстановление данных земель как сельскохозяйственных. Использование инструмента сегментации позволит сельхозпроизводителям указывать при ведении отчетности области угодья, используемые в разных целях и для возделывания разных культур. Обсуждены возможности использования результатов полученного анализа и определены направления дальнейших исследований

Точное земледелие; принятие решений; интеллектуальный модуль; мониторинг; ДЗЗ.

ВВЕДЕНИЕ

Современные глобальные вызовы человечеству требуют комплексного решения различных практических задач, поэтому в настоящее время преобладают междисциплинарные исследования. В частности, продовольственная проблема, задачи загрязнения окружающей среды, потребность в экологически чистых средах и другие решаются на основе интеграции научных подходов и методов. Одной из таких областей является сельское хозяйство, в котором использование географических информационных систем (ГИС) и технологий Интернета вещей стало неотъемлемой частью ведения учета и прогнозирования развивающихся процессов [Sih25, Кок25, Саи25].

Цифровая трансформация в настоящее время затрагивает практически все отрасли. Сельское хозяйство не стало исключением. Современные информационные системы для управления и мониторинга в сфере аграрно-промышленного комплекса (АПК) нацелены не только на инвентаризацию и ведение бухгалтерской деятельности, но и охватывают использование

Максимова В. Н., Макаровских Т. А., Жулев А. Э., Левченко Н. Е. Интеллектуальные модули для системы мониторинга сельскохозяйственных земель региона («УралГИС-Агро») // СИИТ. 2026. Т. 8, № 1(25). С. 111-126. DOI: [10.54708/SIIT-2026-no1-p111](https://doi.org/10.54708/SIIT-2026-no1-p111). EDN: ZFZCZG.

Maksimova V. N., Makarovskikh T. A., Zhulev A. E., Levchenko N. E. "Intelligent modules for the regional agricultural land monitoring system (UralGIS-Agro)" // SIIT. 2026. Vol. 8, no. 1(25), pp. 111-126. DOI: [10.54708/SIIT-2026-no1-p111](https://doi.org/10.54708/SIIT-2026-no1-p111). EDN: ZFZCZG. (In Russian).

технологий GPS для учета рабочего времени и расхода ГСМ, ГИС для мониторинга состояния сельскохозяйственных, лесных и водных угодий, а также интеллектуальных систем для оценки таких важнейших показателей, как урожайность, детекции заболеваний, поиски проблемных участков (лесные пожары, последствия засух, зарастание заброшенных земель, эрозии и пр.). Как отдельное направление исследований развиваются и методы высокоточного ресурсосберегающего умного сельского хозяйства и точного земледелия [Пор21]. Последнее предполагает оптимизацию процессов и внедрение инноваций для улучшения эффективности вариантов ведения хозяйства [Пор21]. Еще одним катализатором для внедрения цифровых технологий и развития отечественных разработок для АПК для ведения точного земледелия стали задачи обеспечения продовольственной безопасности и независимости, повышения конкурентоспособности произведенной на территории государства продукции [Яку17].

Термин «точное земледелие» был введен в конце XX века и подразумевал систему высокотехнологичного менеджмента в сельском хозяйстве, включающую ГИС, GPS, статистические методы, технологии дистанционного зондирования (ДЗЗ), а также Интернет вещей, ключевым сегментом которой является активная цифровизация отраслевых решений и информационных систем. Таким образом, исследования в области точного земледелия являются междисциплинарными, объединяющими в себе как знания в области сельского хозяйства, так и искусственного интеллекта, распознавания изображений, математического моделирования, статистики.

Основной целью внедрения технологий точного земледелия является изменение процесса принятия решения и, как следствие, получение существенного повышения эффективности управления агротехническими предприятиями, роста доходов сельхозпроизводителей и улучшения качества продукции. Следует отметить, что большинство задач, которые позволяют решить разработки в области точного земледелия, не могли быть решены ранее, поскольку даже при наличии простых и понятных алгоритмов решения задачи требовали использования и анализа данных больших объемов в динамике.

Как было отмечено выше, одним из важнейших ресурсов информационного обеспечения современных систем точного земледелия являются методы и средства ДЗЗ. Актуальной задачей, стоящей перед разработчиками и аграриями по всей стране, является создание отечественной научно-технической платформы, использующей актуальные космические снимки высокого разрешения [Яку19]. Наличие этой информации позволило бы создать мощную систему сбора данных, мониторинга и прогнозирования состояния сельскохозяйственных, лесных и водных объектов как региона в частности, так и страны в целом. При наличии данных ДЗЗ, информации о погодных, почвенных, хозяйственно-экономических и прочих внешних условиях можно создать систему, например, оценки урожайности с учетом вышеперечисленных условий.

Известен метод оценки состояния объектов землепользования как в данный момент времени, так и в динамике. Он основан на использовании различных индексов (вегетационных, водных и пр.). Данные индексы рассчитываются по простым формулам на основе данных мультиспектральных космических снимков. Каждый отдельно взятый индекс представляет собой комбинацию фиксируемых величин отражения в различных спектрах электромагнитного излучения, как правило, оптического диапазона [Яку19]. Ограничением в использовании такой информации является наличие доступа к высококачественным данным ДЗЗ либо использование дорогостоящего оборудования для проведения аэрофотосъемки отдельных угодий. Поэтому актуальна разработка методов первичного анализа данных ДЗЗ на основе свободно доступной информации для локализации проблем и значительного снижения объема исследуемых объектов при помощи дорогостоящих методов.

Несмотря на обилие публикаций и научных разработок в области точного земледелия, цифровизация сельского хозяйства в России проходит очень медленно. Это связано с такими общеизвестными проблемами, как неготовность специалистов в области АПК, дороговизна предлагаемых методов, оборудования и технологий, неясные перспективы, отсутствие единой

стратегии внедрения. До недавнего времени большинство агропроизводителей использовали решения иностранных компаний, которые, на первый взгляд, содержали практически весь необходимый, но простейший функционал, несмотря на наличие нерешенных, но актуальных для российских производителей задач. Поэтому разработка и развитие российского программного обеспечения в области сельского хозяйства фокусировались на решении учетных задач и взаимодействии с государственными структурами¹. Существовали и академические разработки [Руб08, Яку16, Яку07], которые по большей части являются методологическими.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РОССИИ

Среди наиболее крупных легитимных систем можно назвать ЕФИС ЗСН. Это единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения, предназначенная для обеспечения актуальными и достоверными сведениями о таких землях, включая данные об их местоположении, состоянии и фактическом использовании. За счет авторизации пользователей ЕФИС ЗСН позволяет осуществлять сбор, агрегацию данных как в пределах границ каждого поля, муниципального образования, субъекта Российской Федерации, так и вести учет отраслевых верифицированных, геопривязанных сведений о землях сельскохозяйственного назначения на федеральном уровне. Данная система позволяет создавать и редактировать существующие данные о сельскохозяйственных угодьях по заявкам пользователей. Созданные полигоны проходят модерацию, когда они проверяются на наличие пересечений с уже существующими полями. Границы объектов воспринимаются системой как векторные полигоны, благодаря чему пользователь может редактировать контуры, например, исключать из обращения не возделываемые участки поля. Отредактированные полигоны также проходят модерацию. Тем не менее, основной функционал данной системы связан с сохранением информации об объектах, а модули анализа в ней отсутствуют.

С другой стороны, разработанное на известной и широко используемой по всей стране платформе решение 1С:ERP Агропромышленный комплекс 2 (1С:ERP АПК)¹ позволяет решать широкий спектр прикладных задач, начиная от ведения бухгалтерии и автоматизации всех бизнес-процессов предприятия, учета топлива для сельскохозяйственной техники, заканчивая мобильными решениями для агрономов. Но данная система также практически не использует аналитических модулей и направлена большей частью на решение экономических и бизнес-задач.

До недавнего времени российские сельхозпроизводители активно использовали различные иностранные разработки. Одной из наиболее удачных и широко распространенных является OneSoil . Это один из крупнейших международных проектов в области точного земледелия. В своих публикациях² разработчики платформы указывают, что данные о сельскохозяйственных угодьях заносятся в систему пользователями самостоятельно, и далее система при помощи методов искусственного интеллекта распознает реальные границы сельскохозяйственных угодий. На начало 2020-х годов в систему занесено большое количество земель из Восточной Европы, лидером по количеству загруженной информации является Украина. Все данные пользователей поступают в алгоритмы OneSoil в общем виде. Несмотря на широкое распространение данной платформы и ее возможности в плане анализа состояния сельскохозяйственных угодий по данным спутниковых снимков, следует отметить, что она не подходит для использования крупными производителями и органами муниципального управления по следующим причинам.

¹ 1С:ERP Агропромышленный комплекс 2: сайт. – Воронеж. URL: http://chernozemie-inteko.ru/products-of-inteco/ERP_APK/index.php. (дата обращения 12.03.2026)

² Как OneSoil работает с большими данными для сельского хозяйства?: сайт. URL: <https://blog.onesoil.ai/ru/how-onesoil-uses-data-science>. (дата обращения 12.03.2026)

1. Компания OneSoil расположена в Швейцарии, сервера компании также находятся за пределами РФ. Следовательно, использование данного ПО противоречит требованиям продовольственной безопасности.

2. Информация о сельскохозяйственных угодьях поступает напрямую от пользователя и уточняется благодаря нейросетевым алгоритмам. Несомненно, такой подход имеет высокую точность и научную ценность, но не является легитимным.

3. В системе невозможно выполнить сегментацию сельскохозяйственных угодий, на одном поле может произрастать несколько разных культур, и программное обеспечение определяет средний вегетационный индекс по всем культурам, что, очевидно, приводит к получению неадекватных прогнозов.

Следовательно, актуальна разработка легитимного программного обеспечения, работающего с текущей информацией о сельскохозяйственных угодьях.

Подобных разработок существует достаточно большое количество (например, AgroMon, SkyScout), они пользуются большой популярностью благодаря интуитивно понятному интерфейсу и широкому функционалу, а отсутствие возможности привязки к географическим координатам и российским информационным системам восполняется за счет установленного на компьютеры пользователей дополнительного оборудования. Тем не менее возможное прекращение технической поддержки подобных решений подталкивает сельхозпроизводителей к поиску отечественных решений, не уступающих по качеству.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА «УРАЛГИС-АГРО» ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Первая версия интеллектуальной информационной системы «УралГИС-Агро» [Мак24] вышла в 2015 году и была предназначена для информационно-аналитического обеспечения сельскохозяйственной отрасли региона. За десять лет своего существования система была расширена и дополнена оригинальным функционалом, востребованным как сельхозпроизводителями, так и лицами, принимающими управленческие решения. Поскольку система имеет модульную структуру, она позволяет подключать новые программные модули, обеспечивающие решение важных для пользователя прикладных задач.

Рабочее пространство информационной системы «УралГИС-Агро» представляет собой картографический интерфейс, приведенный на рис. 1.

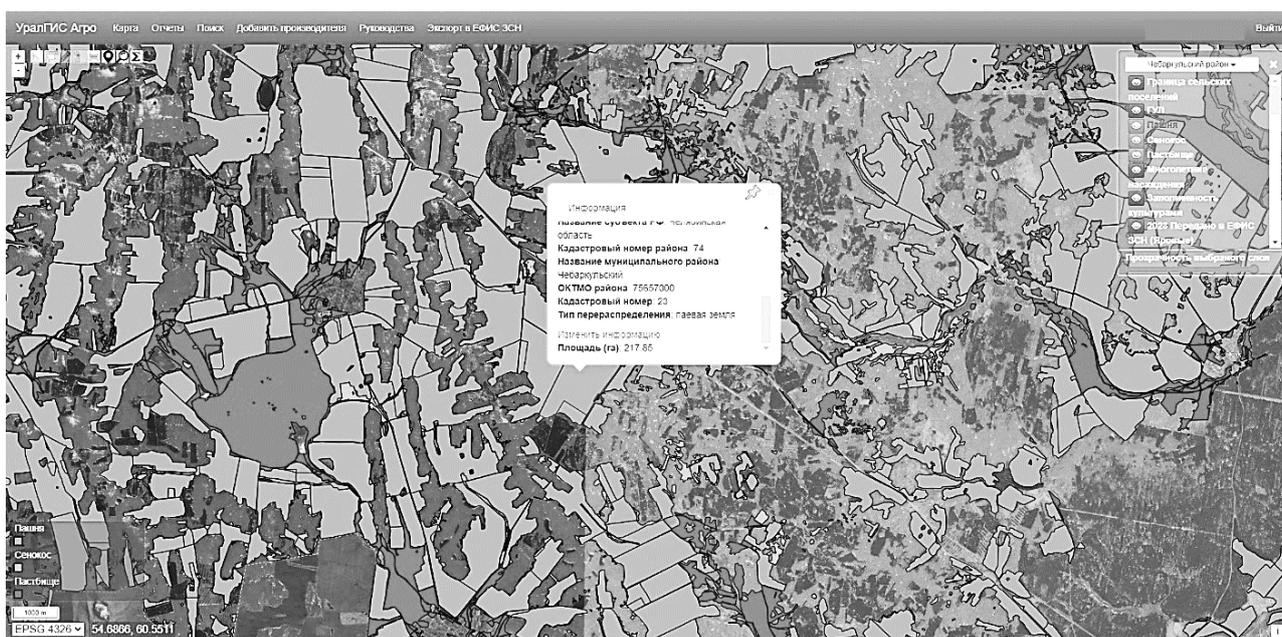


Рис. 1 Интерфейс системы «УралГИС-Агро»

Система функционирует как веб-приложение, взаимодействующее с базой данных, расположенной на удаленном сервере, и позволяет решать не только учетные задачи (ведение реестра о посевных площадях, подсчет площадей сельскохозяйственных угодий по видам принадлежности), но и осуществлять межведомственное взаимодействие, а также проводить анализ полученных данных ДЗЗ для посевных площадей (мониторинг неиспользуемых земель, определение неучтенных объектов, поиск экономически-привлекательных объектов землепользования). Система имеет эргономичный интерфейс и позволяет как администратору системы, так и конечному пользователю формировать отчеты и тематические карты земель сельскохозяйственного назначения и визуализировать результаты сопоставительного анализа путем вывода информации на актуальную карту. Полученные результаты могут быть также выведены на печать либо сохранены в отдельный файл.

Геоаналитическая система «УралГИС-Агро» официально легитимна, обновление геопространственных данных осуществляется на основе выгрузки актуальных космических снимков группировки Santinel.

В настоящее время система пополняется вновь разрабатываемыми интеллектуальными модулями для первичного грубого анализа больших объемов данных ДЗЗ и формирования списков объектов для принятия управленческих решений. К ним относится модуль анализа зарастания объектов землепользования, алгоритм функционирования которого может быть обобщен на случай решения более комплексных задач, а также модуль, обеспечивающий работу инструмента сегментации объектов «Агрокарандаш». Эти модули обсуждаются ниже.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДУЛИ СИСТЕМЫ «УРАЛГИС-АГРО»

Как было отмечено в предыдущем разделе, система использует геопространственные данные со спутника Santinel, находящиеся в открытом доступе. Загружаемые изображения хранятся в формате GeoTIFF, формате, который позволяет сохранить многослойное растровое изображение. Каждый слой этого изображения соответствует одному из двенадцати каналов съемки.

После обработки загруженных снимков, покрывающих весь регион, сохраняется бесшовное мозаичное цветосинтезирующее изображение. Часть несущих информацию пикселей этого изображения может быть перекрыта облаками (поскольку повышенная облачность характерна для Челябинской области, количество снимков с перекрытиями облаками достаточно велико). Использование таких снимков может привести к получению ряда погрешностей анализа. С целью снижения погрешности используются только снимки с характеристиками, приведенными в [Мак246]. Информация об объектах землепользования муниципальных районов хранится в базе данных системы «УралГИС-Агро» в бинарном формате.

Описанные в статье модули разработаны на языке Python 3, в котором среди библиотек для работы с геоинформацией имеются те, которые обеспечивают возможность получения из мультиспектрального снимка фрагмента, соответствующего полигону, данные о котором хранятся в базе данных информационной системы. В частности, использована библиотека Shapely, которая преобразует данные из бинарного формата во внутренние объекты (полигоны либо линии) и использует их для обрезки изображений. Для дальнейшего анализа используется изображение в матричном представлении для каждого хранящегося в базе данных полигона.

Рассмотрим работу со спутниковым изображением на примере решения задачи детекции сельскохозяйственных земель, заросших лесом. Для определения степени зарастания используется индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Обычно значения этого индекса используются при исследовании качества вегетации, поскольку он описывает плотность растительности на территории на основе спутниковых либо мультиспектральных снимков. Значение индекса варьируется от -1 до 1 (табл. 1).

Таблица 1

Перечень значений *NDVI* и соответствующие им объекты

Значение	Соответствие
[-1; 0.1]	Здания, сооружения, дороги, водные объекты, горы, облака, снег
(0.1; 0.2]	Открытая почва
[0.2; 0.4]	Слабая разреженная растительность
[0.4; 0.6]	Умеренная растительность
[0.6; 1]	Здоровая густая растительность

Из табл. 1 следует, что для анализа растительности индекс *NDVI* всегда имеет положительные значения от 0.2 до 1. Данный индекс позволяет получить грубое представление о количестве зеленой массы на исследуемом участке. Для точного понимания смысла полученных значений индекса следует учитывать дату проведения съемки (сезон), тип исследуемой культуры, ее сорт и даже региональные особенности произрастания растения, а также особенности проведения съемки. Последнее не всегда представляется возможным, что влечет повышение погрешности проводимых вычислений. Обычно вегетационный индекс используют при оценке состояния здоровья культур, оценке засоренности полей и прогнозировании урожайности. В нашей работе покажем, как использовать значения этого индекса для анализа зарастания объектов землепользования.

Для расчета показателя используется следующая формула:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где *NDVI* – нормированный разностный вегетационный индекс; *NIR* – отражение в ближнем инфракрасном спектре (полоса 8 снимка Santinel); *RED* – отражение в красной области спектра (4 полоса снимка Santinel). После извлечения пикселей снимка, лежащих внутри контура исследуемого полигона, рассчитаем значения вегетационного индекса для каждого пикселя.

Программный модуль для выявления объектов землепользования, заросших лесом

Зарастание сельскохозяйственных земель является одной из значимых экономических и экологических проблем. Данная проблема особенно актуальна в Уральских и Сибирских регионах РФ. Очевидно, что земли, относящиеся к категории сельскохозяйственных, должны использоваться по назначению и по закону они не могут долго простаивать и не возделываться совсем. В последнем случае требуется изъять их у собственника.

Данная проблема является одной из актуальных учетных задач в сельскохозяйственной отрасли, поскольку последние данные учета земель сельскохозяйственного назначения датированы 1990 гг. За эти годы поля, устроенные в лесной зоне, начали покрываться древесной растительностью. За тридцать лет успел вырасти полноценный молодой лес, что значительно осложняет поиск бывшего поля и снижает возможности его дальнейшего возделывания [Мун22].

В частности, на территории Челябинской области на учете стоит более миллиона сельскохозяйственных угодий. Причем, информация о большинстве из них, как и во всей стране, не обновлялась последние 20–30 лет. В 2021 году Рослесинфорг начал работы по второму циклу государственной инвентаризации лесов. Это может позволить провести анализ зарастающих земельных участков для оценки потенциала ведения лесного хозяйства на таких участках³.

³ В 15 регионах России в 2023 году начнут поиск заросших лесом пашен: сайт. - Редакция сайта ТАСС. – 18 января 2023. -

URL: <https://tass.ru/ekonomika/16822533> (дата обращения 12.03.2026).

Поскольку в базе данных рассматриваемой интеллектуальной системы «УралГИС-Агро» хранятся не только спутниковые снимки региона за последние десять лет, но и данные о границах объектов сельскохозяйственного назначения, целесообразно отказаться от нейросетевых методов анализа больших изображений с целью уточнения границ объектов, как это было сделано в OneSoil⁴, где предлагается комплексный подход, в котором лесные территории определяются нейросетевым алгоритмом дешифрования, а впоследствии посредством наложения слоя с информацией о сельскохозяйственных угодьях и слоя с детектированными лесными территориями производится поиск заросших участков. Поэтому для первичной детекции проблемных объектов землепользования в системе «УралГИС-Агро» достаточно разработать алгоритм, позволяющий анализировать вегетационный индекс для каждого исследуемого объекта в разные моменты времени и определять аномальные изменения его значений (не характерные для регулярно возделываемых угодий). Для решения этой задачи был разработан программный модуль, позволяющий определять участки, формально относящиеся к невозделываемым территориям, как заросшие. После проведения дополнительной экспертизы выявленных участков лицом, принимающим решения, их можно либо изымать из землепользования и переводить в лесфонд, либо организовать рекультивацию и возобновить возделывание сельскохозяйственных культур.

Для обнаружения заросших территорий в системе «УралГИС-Агро» был использован алгоритм, представленный на рис. 2.

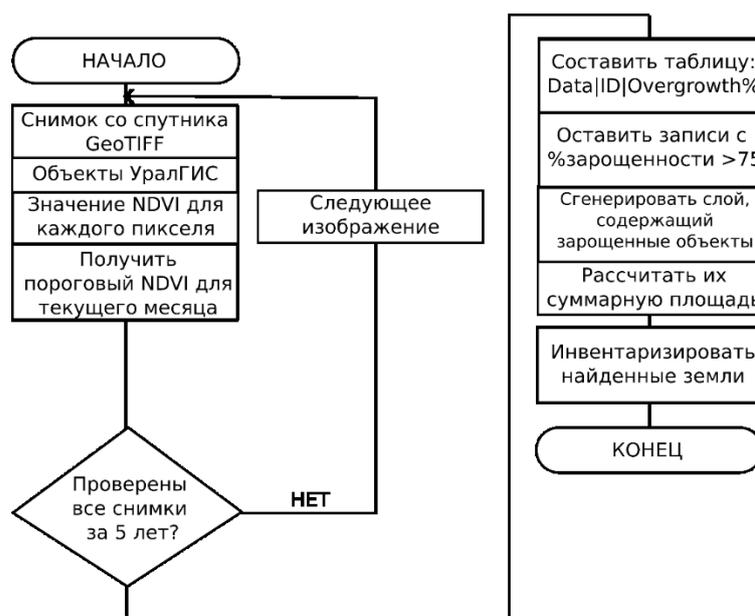


Рис. 2 Алгоритм выявления заросших полигонов

В основе алгоритма лежит следующее наблюдение. Лес покрывается зеленой листвой в середине апреля и сбрасывает ее в начале октября. Этот промежуток времени полностью покрывает период вспашки, посева, выращивания с сбора урожая в Уральском регионе. То есть, когда возделываемые объекты обрабатываются, изменяется их вегетационный индекс. Например, после проведения пахотных работ он близок к нулю, после сбора урожая он также резко понижается, в то время как значение вегетационного индекса для лесных массивов остается практически неизменным на протяжении всего рассматриваемого периода. Следует также учесть и возможность нахождения ряда участков под паром. В этом случае

⁴ Как устроен дата саенс в OneSoil?: сайт. URL: <https://blog.onesoil.ai/ru/how-onesoil-uses-data-science> (дата обращения 12.03.2026).

в течение сезона они могут зарастать сорной растительностью, что тоже может быть распознано как повышенное значение вегетационного индекса. Таким образом, для определения зарастания сельскохозяйственных угодий определим процентное соотношение площадей с повышенной вегетацией. Под постоянно заросшей (залесенной) территорией, которая должна быть рассмотрена экспертом в качестве претендента для передачи в лесной фонд, будем понимать территорию, которая на протяжении пяти вегетационных периодов (с мая по сентябрь включительно) постоянно имела повышенную вегетацию.

В [Мун22] критерий зарослости определяется более комплексно: в него входят участки, более, чем на 50 % заросшие сорными насаждениями; дерн высотой более 15 см (за исключением пастбищ); земли, подверженные деградации. Неиспользуемыми признаются участки, на которых работы ведутся менее чем на 25 % территории. Данные признаки не относятся к рекультивируемым участкам, земле под паром либо территориям, нарушенным из-за чрезвычайных ситуаций. Поскольку все перечисленные причины временно выводят землю из обращения, в системе «УралГИС-Агро» и проводится анализ на протяжении нескольких вегетационных периодов, чтобы максимально исключить вероятность простоя из-за указанных причин.

Таким образом, интеллектуальный модуль системы «УралГИС-Агро» в качестве входной информации принимает снимок со спутника на некоторую дату, используя данные информационной базы, определяет принадлежность пикселей снимка хранящимся в базе сельскохозяйственным угодьям, а затем рассчитывает значение индекса NDVI для каждого пикселя и сравнивает полученные значения с пороговыми для определения повышенной вегетации. Один пиксель на снимке соответствует участку 30 на 30 метров⁵.

Простейшим способом определения пороговых значений NDVI, по которым детектируется повышенная вегетация, является принятие табличного значения 0.4, соответствующего области с умеренной растительностью. Однако использование этого значения влечет за собой значительные погрешности в определении проблемных объектов, поскольку реальное значение для местности, заросшей лесом, может существенно отличаться в зависимости от времени года, климатических условий и прочих факторов. Поэтому оправдано использование динамических пороговых значений, рассчитанных для каждого месяца, участвующего в исследовании. Основной проблемой при использовании динамических показателей является отсутствие открытых данных о значениях вегетационного индекса для определенных видов растительности и различных регионов РФ. Одним из источников, в котором приводятся значения NDVI для смешанной лесной растительности (8 видов лиственных и хвойных деревьев) в летний период, является работа [Мун22] (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2

Пороговые значения вегетационного индекса для смешанных лесов с мая по сентябрь

Месяц	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
NDVI для смешанного леса	0.49	0.68	0.59	0.49	0.51
NDVI для поля, засеянного яровой пшеницей	0.09	0.19	0.35	0.28	0.25

Когда сельскохозяйственный объект используется по назначению, значения вегетационного индекса значительно отличаются от значений, полученных для лесной растительности. Например, при возделывании яровой пшеницы в одном из муниципальных районов Челябинской области имеем следующие значения NDVI по данным приложения OneSoil (табл. 2, рис. 3). На рис. 3 данная информация приведена графически.

⁵ Landsat Science. Picturing a Pixel: сайт. – 15 июля 2014. - URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/picturing-a-pixel> (дата обращения 12.03.2026)

Воспользоваться OneSoil для определения вегетационных индексов для лесных угодий не представляется возможным, поскольку программа ориентирована только на анализ данных для земель сельскохозяйственного назначения. Уточнение данных значений для Челябинской области является темой будущих исследований. Для этого в системе «УралГИС-Агро» можно воспользоваться информацией о контурах лесных объектов и рассчитать для них среднее значение индекса для каждого месяца.

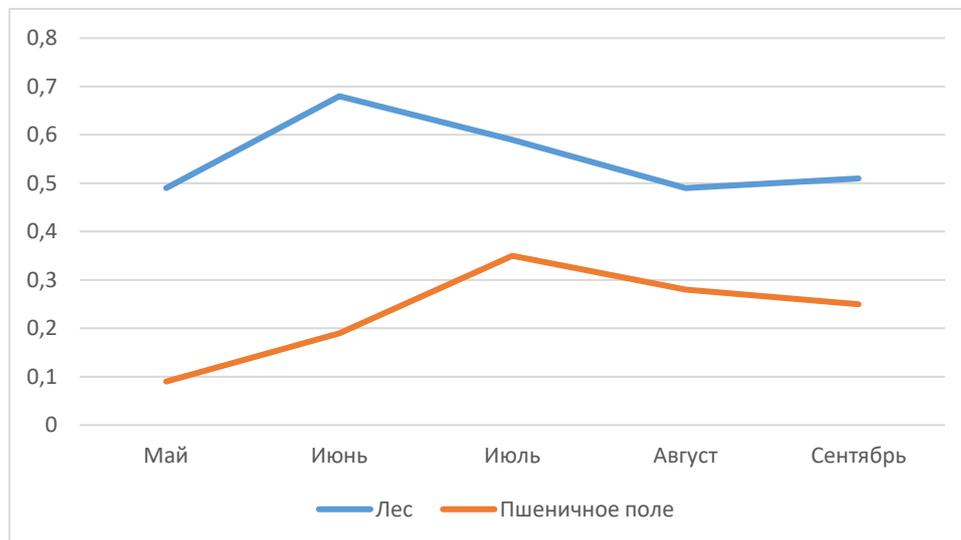


Рис. 3 Графики изменения значения NDVI для лесных массивов и сельскохозяйственных угодий в период с мая по сентябрь

Выдвинутое предположение о том, что значения вегетационного индекса для сельскохозяйственных угодий и лесных объектов отличаются, находит свое подтверждение. Поэтому расчет вегетационного индекса для каждого пикселя исследуемого объекта позволяет практически безошибочно определить объекты, на которых не было проведено пахотных и посевных работ (в рамках допустимой погрешности).

Используя разработанный подход (см. рис. 2), можно определить перечень заросших объектов и рассчитать их площадь. Под заросшим будем понимать объект, для которого доля пикселей с повышенной вегетацией превышает 75 % (Постановление Правительства РФ от 8 июня 2022 г. N 1043⁶) на протяжении пяти вегетационных периодов подряд. Данные ограничения позволяют исключить ситуацию, когда заросшими признаются объекты, недообследованные в связи с недостатком данных из-за повышенной облачности, снизить погрешность при анализе снимков, полученных в разное время суток и под разными углами, исключить из рассмотрения земли, не возделываемые в течение нескольких периодов ввиду различных объективных причин.

Подход представлен в виде интеллектуального модуля, результатом выполнения которого является список идентификационных номеров (ID) объектов (полигонов), определенных как заросшие лесом [Мак246]. Данные полигоны в базе данных помечаются как претенденты для передачи в лесной фонд после проведения осмотра и экспертной оценки.

На данном этапе возможно проведение уточняющего интеллектуального анализа полученной информации с использованием данных ДЗЗ более высокого разрешения, методов искусственного интеллекта. При этом можно воспользоваться критериями заросченности, аналогичными приведенным в [Мун22]. Такие модули более ресурсозатратны, нежели анализ данных

⁶ Постановление Правительства РФ от 8 июня 2022 г. N 1043 «О внесении изменений в Положение об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения».

по открытым спутниковым снимкам, поэтому их целесообразно применять только к объектам, определенным как заросшие с использованием модуля [Мак246].

Несмотря на простоту выполняемых действий, данная процедура при отсутствии автоматизации определения вегетационного индекса и анализа имеющихся в базе данных полигонов практически не выполнима для региона, поскольку объем анализируемых данных велик и составляет порядка 10^7 объектов. По той же причине невозможен и осмотр всех сельскохозяйственных угодий группой экспертов. Помимо всего прочего, при осмотре с земли невозможно количественно оценить степень заросленности отдельно взятого участка в соответствии с критериями, приведенными в Постановление Правительства РФ от 8 июня 2022 г. N 1043.

Для формирования перечня заросших территорий для муниципальных образований Челябинской области, разработанный модуль был интегрирован в уже существующую и успешно функционирующую в виде веб-приложения систему «УралГИС-Агро».

По результатам работы модуля получены результаты, приведенные в табл. 3, где приводятся 5 (из 22) муниципальных районов Челябинской области, в которых находится наибольшее число заросших площадей. В последних двух столбцах таблицы указываются выгода для региона в случае передачи всех обнаруженных объектов в лесфонд (из расчета, 100 тыс. руб. за га), а также возможные расходы на восстановление данных земель как сельскохозяйственных в соответствии со средней стоимостью восстановления за 1 га.

Таблица 3

**Пять районов Челябинской области,
содержащих наибольший процент залесенных территорий**

Район	Площадь пашни, га	Площадь залесенных, га	Залесенных, %	Передача в лесфонд, млн руб.	Восстановление для пашни, млн руб.
1	68482.20	17150.30	25.04	1 715	343
2	12963.83	2169.30	16.73	216	43
3	96817.46	10276.69	10.61	1 027	206
4	94778.36	9801.73	10.34	980	196
5	99488.55	9552.47	9.60	955	191
Итого	372530.4	48950.48	13.14	4 895	979

Таким образом, использование данного интеллектуального модуля в составе информационной системы «УралГИС-Агро» позволяет определить новые возможности для пополнения местных бюджетов за счет привлечения инвесторов и арендаторов муниципальных инвестиционно-привлекательных сельскохозяйственных земель (в табл. 3 приведена потенциальная прибыль после восстановления заброшенных заросших объектов) либо переоформления детектированных заросших участков в качестве лесных объектов и передача объектов в лесфонд. В данном случае можно рассчитать и оценить потенциальную выгоду для региона из расчета 100 тыс. руб. за 1 га леса (см. табл. 3).

Отметим, что разработанный подход легко обобщается для решения других практических задач определения проблем и классификации объектов землепользования, если абстрагироваться от смысловой нагрузки индексов и параметризовать пороговые значения, допустить произвольную длину векторов пороговых значений и периода исследования. В этом случае схема алгоритма для получения значения вегетационного индекса для отдельно взятого объекта будет аналогична представленной на рис. 2. В зависимости от полигонов, передаваемых в качестве исходных данных, и условий фильтрации результатов с помощью похожего подхода можно решить, например, следующие задачи.

Определение среднего вегетационного индекса для лесных объектов как для лесов в целом, так и для классификации хвойных и лиственных массивов.

Определение заболоченности и пересыхания водоемов. В данном случае кроме вегетационного может быть использован и водный индекс, который определяется аналогичным образом, но для его расчета используются другие диапазоны на спутниковом снимке.

Определение лесных объектов, поврежденных во время пожаров.

Интеллектуальный модуль для детекции различных проблем объектов землепользования в дальнейшем может позволить осуществить сбор данных для формирования эконометрической модели анализа эффективности использования земель региона.

Инструментарий для сегментации территорий

Задача сегментации территорий имеет достаточно простую формулировку и на первый взгляд кажется очевидной. Однако границы сельскохозяйственных угодий – информация, которая должна соответствовать официальным границам поставленных на кадастровый учет в органах регистрации РФ (управление Росреестра). По этой причине произвольное изменение границ объектов запрещено. При наличии ошибок и неточностей возможно внесение такой информации ответственным лицом либо жесткая модерация внесенных изменений.

Одной из возможностей системы, доступных для пользователей системы, должна быть возможность сегментации сохраненных в базе данных объектов, поскольку в рамках границы одного сельскохозяйственного угодья его владелец может посадить несколько культур либо может частично возделывать территорию. В системе OneSoil такой функционал не доступен, поэтому в ней представляется проблематичным, например, анализ динамики вегетационного индекса для угодья с разнородными посевами. Подобный инструмент присутствует только в системе ЕФИС ЗСН, но данная система не использует интеллектуальных модулей для работы с имеющейся информацией.

В интерфейс системы «УралГИС-Агро» интегрирован инструмент «Карандаш», который позволяет пользователю проводить отрезки внутри контуров объектов, доступных ему для редактирования. Отрезок начинается вблизи одной из точек контура и заканчивается в другой такой же точке и пересекает контур. Инструмент доступен только на слое «СевооборотГОД.Базовый», где ГОД – текущий год.

Инструмент работает по следующему принципу:

- пользователь выделяет контур, который он предполагает разделить;
- когда пользователь подводит курсор мыши к границе контура, рядом с курсором отображается красный кружок, означающий точку начала сегментации;
- при нажатии на кнопку мыши, начало сегмента фиксируется, и при движении мыши, если курсор находится внутри разделяемого контура, рисуется предполагаемый отрезок для сегментации;
- если при движении курсора отрезок пересекает любую границу контура, рядом с курсором отображается красный кружок, означающий точку конца сегментации (учитывается первое пересечение отрезка и границы);
- при нажатии на кнопку мыши отрезок фиксируется, и выполняется сегментация с последующим копированием карточек сельскохозяйственного объекта и присвоением новых номеров сегментированным участкам.

Работа с инструментом «Агрокарандаш» ведется на слое «СевооборотГОД.Базовый» с заданными на нем объектами, соответствующими записанным в региональную базу данных полигонам для пашен, пастбищ и сенокосов. Данные соответствуют информации об объектах из федеральных информационных систем.

На выходе будет получено два новых полигона на слое «СевооборотГОД.Базовый», для каждого полигона создана своя карточка объекта, в которой дублированы поля сегментированного объекта и обновлена информация о текущих границах и площади.

Панель инструментов с расположенными на ней кнопками для обеспечения работы системы «Агрокарандаш» выглядит следующим образом (рис. 3).



Рис. 3 Панель инструментов «УралГИС-Агро»

Здесь цифрой «1» помечен инструмент для проведения сегментации; цифрой «2» – инструмент группового выделения; цифрой «3» – инструмент объединения (операция, обратная сегментации, реализуемая только для разделенных карандашом объектов и для сельскохозяйственных угодий, имеющих общую границу).

Последовательность работы с инструментом включает следующие пять шагов.

Шаг 1. Выбрать инструмент сегментации «1».

Шаг 2. Выбрать контур для проведения операции сегментации из числа доступных для редактирования текущим пользователем. Выделение доступно только на слое «Текущий год – для передачи в ЕФИС ЗСН».

Шаг 3. Указать точки начала и конца отрезка сегментации (рис. 4). Отметим, что отрезок должен пересекать контур объекта, но его конечных точки могут находиться за контуром объекта (не лежать на нем). При необходимости отредактировать разделяющую кривую достаточно нажать мышью на любую из точек кривой и потянуть ее. Разрешается создавать кривую без самопересечений.



Рис 4 Построение первоначального отрезка

Шаг 4. Найти пересечение построенного отрезка с выделенным контуром и произвести сегментацию. Операция выполняется при помощи библиотеки GDAL, в функции которой передается информация о концах отрезка и разрезаемом полигоне.

Шаг 5. Зафиксировать изменения в базе данных. Полученным полигонам присвоить новые имена, обновить карточки объектов (рис. 5).

Данная операция является обратимой. При нажатии на кнопку «2» можно выбрать два контура с общей границей (рис. 6, а).

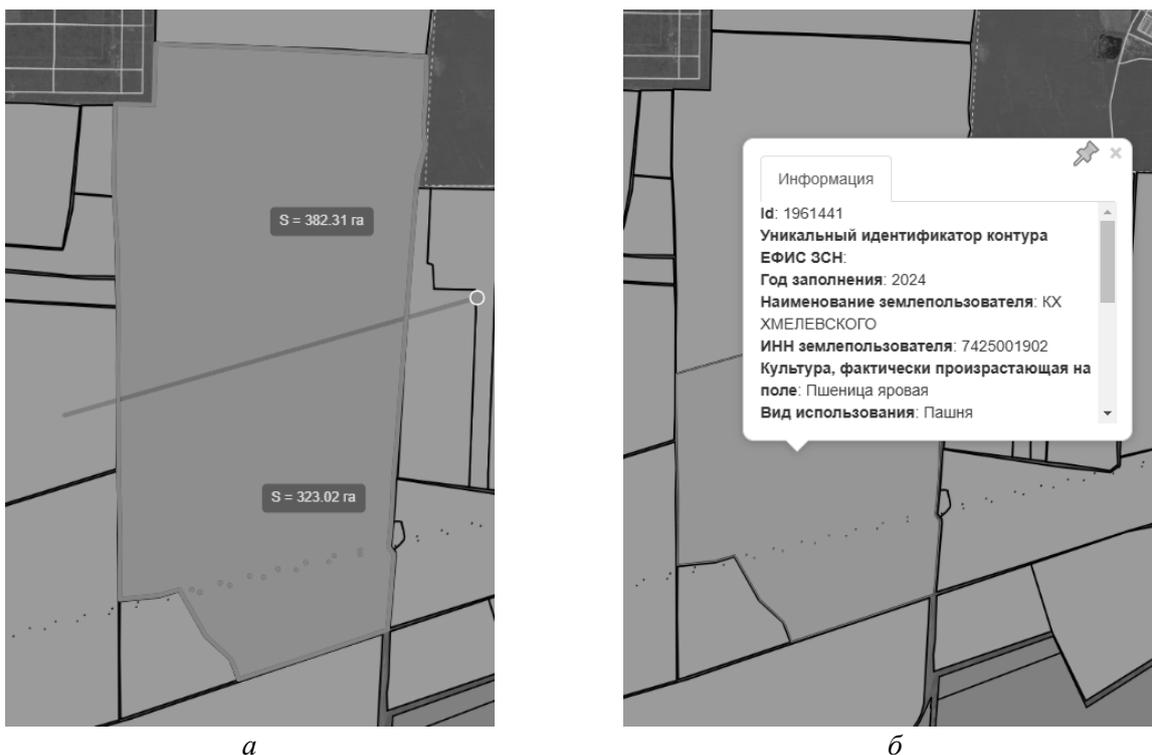


Рис. 5 Фиксация разрезающего отрезка (а) и отображение карточки нового объекта (б)

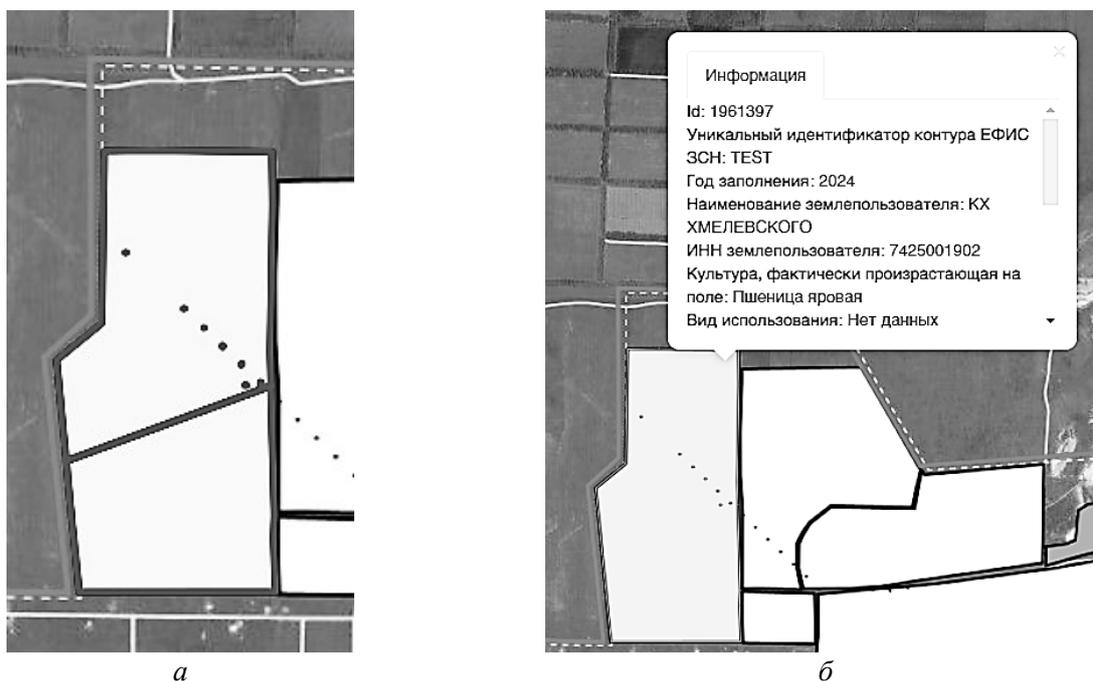


Рис. 6 Выделение смежных контуров (а); объединение контуров и формирование общей карточки нового объекта (б)

После проверки, что контуры действительно имеют общую границу, при нажатии на кнопку «3» происходит объединение объектов и формирование новой карточки объекта, в которой заполненными будут только те поля, которые содержат идентичную информацию для обоих объединяемых полигонов (рис. 6, б). Использование такого инструмента позволит сельхозпроизводителям указывать при ведении отчетности области угодья, используемые

в разных целях и для возделывания разных культур. При дальнейшем анализе данных по спутниковым снимкам сегментированные участки будут определяться как отдельные территории и расчет показателей и индексов будет вестись для каждого такого участка по отдельности, что позволит построить более качественные и точные модели прогнозирования урожайности, анализа состояния угодья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены подключаемые к информационной системе «УралГИС-Агро» интеллектуальные модули анализа и обработки данных. Эти модули позволяют путем взаимодействия с базой данных информационной системы и анализа снимков со спутников получать информацию о состоянии сельскохозяйственных объектов региона, которую затруднительно определить без использования цифровых технологий. Результаты, получаемые интеллектуальными модулями, позволяют в значительной мере сократить и автоматизировать поиск проблемных и заброшенных объектов землепользования. Полученные данные при таком грубом анализе могут быть повторно обработаны при помощи более ресурсозатратных высокоточных методов либо направлены экспертам, принимающим решения, для дальнейшего анализа. Наличие результатов такого анализа позволяет сократить время и ресурсы для проведения высокоточного анализа. Полученный перечень проблемных (в данном случае заросших лесом) объектов землепользования в дальнейшем может быть рассмотрен экспертами с целью выявления потенциальных инвестиционно-привлекательных объектов.

Направлениями дальнейших исследований является анализ динамики вегетационного индекса для разных типов растительности, определение паттернов пороговых значений вегетационного индекса для региона, разработка регрессионной модели для определения инвестиционной привлекательности объектов землепользования и повышение точности определения непригодных для возделывания площадей и определения возможностей их дальнейшего использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- | | | |
|----------|---|---|
| [Sih25] | Sihag D., Singh A., et al. (2025). Machine-based monitoring of crops: a review // Systems Engineering and Information Technologies. 7(3(22)). 11–19. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no3-p11 . EDN: SGNYQG . | Sihag D., Singh A., et al. (2025). Machine-based monitoring of crops: a review // Systems Engineering and Information Technologies, 7(3(22)), 11-19. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no3-p11 . EDN: SGNYQG . |
| [Кок25] | Кокутин С. Н., Сергиев С. А. Методы интеллектуального анализа радиолокационных изображений, получаемых с бортовых авиационных систем // СИИТ. 2025. Т. 7, № 4(23). С. 124–154. EDN: TTBCME . | Kokutin S. N., Sergiev S. A. Methods of intellectual analysis of radar images obtained from on-board aviation systems // SIIT. 2025. Vol. 7, No. 4(23), pp. 124-154. EDN: TTBCME . (In Russian). |
| [Мак24] | Макимова В. Н., Макаровских Т. А., Жулев А. Э., Левченко Н. Е. УралГИС-Агро: Свид. о рег. программы для ЭВМ RU 2024683613, 14.10.2024. EDN: AKZGCH . | Maksimova V. N., Makarovskikh T. A., Zhulev A. E., Levchenko N. E. UralGIS-Agro: Computer program RU 2024683613, 10/14/2024. (In Russian). EDN: AKZGCH . |
| [Мак24б] | Макаровских Т. А., Жулев А. Э., Максимова В. Н., Дернова О. А. Автоматизация идентификации залесенных территорий на основе ДЗЗ // XIV Всеросс. совещ. по проблемам управления (ВСПУ-2024), 17-20 июня. 2024, М.: ИПУ, 2024. С. 2421–2425. EDN: HNFIEG . | Makarovskikh T. A. Zhulev A. E., et al. Automation of identifications foresten terratorium on the basis of RSE // All-Russ. Council on Problem Management (VSPU-2024): 17-20 June 2024, Moscow. P. 2421–2425. (In Russian). EDN: HNFIEG . |
| [Мун22] | Мунзер Н. Разработка методики применения данных космических съемок для мониторинга лесов: дис. ... канд. техн. наук, 2022. 150 с. EDN: ACQLZX . | Munzer N. Development of a methodology for using space imagery data for forest monitoring: dissertation, 2022. 150 p. EDN: ACQLZX . (In Russian). |
| [Пог21] | Погоньшев В. А., Погоньшева Д. А., Ториков В. Е. Нейронные сети в цифровом сельском хозяйстве // Вестник Брянской ГСХА. 2021. № 5 (87). С. 68–71. EDN: MDJBSL . | Pogonyshv V.A., Pogonyshva D.A., Torikov V.E. Neural networks in digital agriculture // Bulletin of the Bryansk Agricultural Academy. 2021. No. 5 (87), pp. 68-71. (In Russian). EDN: MDJBSL . |
| [Руб08] | Рубцов С. А., Голованов И. Н., Каштанов А. Н. Аэрокосмические средства и технологии для точного земледелия. М.: МСХА, 2008. 330 с. | Rubtsov S. A., Golovanov I. N., Kashtanov A. N. Aerospace tools and technologies for precision farming. Moscow: MSHA, 2008. 330 p. |

- [Сай25] Саитова Г. А., Габдуллина Э. Р. Методика определения проективного покрытия полей на основе дистанционного мониторинга // СИИТ. 2025. Т. 7, № 2(21). С. 48–55. EDN: [XTKJHQ](#).
- [Яку07] Якушев В. П., Якушев В. В. Информационное обеспечение точного земледелия. СПб.: ПИЯФ РАН, 2007. 384 с. EDN: [PVPBKH](#).
- [Яку16] Якушев В. П., Лекомцев П. В. и др. Анализ экономической эффективности возделывания яровой пшеницы в системе точного земледелия // Агрофизика. 2016. № 1. С. 43–52. EDN: [VQXNSX](#).
- [Яку17] Якушев В. П., Якушев В. В., Матвеев Д. А. Роль и задачи точного земледелия в реализации национальной технологической инициативы // Агрофизика. 2017. № 1. С. 51–65. EDN: [YGIZPV](#).
- [Яку19] Якушев В. П. Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета «Умное сельское хозяйство» // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. №2. С. 11–15. EDN: [ZBFLJJ](#).
- Saitova G. A., Gabdullina E. R. Methodology for determining the projective coverage of fields based on remote monitoring // SIIT. 2025. T. 7, No. 2(21), pp. 48-55. EDN: [XTKJHQ](#). (In Russian).
- Yakushev V. P., Yakushev V. V. Information Support for Precision Agriculture. St. Petersburg, 2007, 384 p. (In Russian). EDN: [PVPBKH](#).
- Yakushev V. P., Lekomtsev P. V., et al. Analysis of the economic efficiency of spring wheat cultivation in the precision farming system // Agrophysics. 2016. No. 1, pp. 43-52. (In Russian). EDN: [VQXNSX](#).
- Yakushev V. P., Yakushev V. V., Matvienko D. A. The role and tasks of precision agriculture in the implementation of the national technological initiative // Agrophysics. 2017. No. 1, pp. 51-65. (In Russian). EDN: [YGIZPV](#).
- Yakushev V. P. Digital technologies of precision agriculture in the implementation of the priority "Smart agriculture" // Bulletin of Russian Agricultural Science. 2019. No. 2, pp. 11-15. (in Russian). EDN: [ZBFLJJ](#).

ОБ АВТОРАХ | ABOUT THE AUTHORS

МАКСИМОВА Валентина Николаевна

Южно-Уральский государственный университет, Россия.
maksimovavn@susu.ru ORCID: [0000-0001-9197-5599](https://orcid.org/0000-0001-9197-5599).

Доц. каф. информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах. Канд. пед. наук (Челяб. гос. пед. ун-т, 2000). Иссл. в обл. ситуационного управления и геоинформатики.

МАКАРОВСКИХ Татьяна Анатольевна

Южно-Уральский государственный университет, Россия.
makarovskikh.t.a@susu.ru ORCID: [0000-0002-3656-9632](https://orcid.org/0000-0002-3656-9632).

Проф. каф. сист. программирования, доц. Д-р физ.-мат. наук (ЮУрГУ, 2020). Магистр прогр. инженерии (ЮУрГУ, 2024). Иссл. в обл. исследования операций, теории графов, высокопроизводит. вычислений.

ЖУЛЕВ Александр Эдуардович

Южно-Уральский государственный университет, Россия.

Аспирант, преподаватель кафедры системного программирования. Магистр программной инженерии (ЮУрГУ, 2024). Иссл. в области исследования операций и высокопроизводительных вычислений.

E-mail: zhulevae@susu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6647-0934>

ЛЕВЧЕНКО Никита Евгеньевич

Южно-Уральский государственный университет, Россия.

Аспирант каф. системного программирования. Магистр прикладной математики и информатики (ЮУрГУ, 2023). Иссл. в области искусственного интеллекта.

E-mail: levchenkone@susu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4562-1488>

MAKSIMOVA Valentina Nikolaevna

South Ural State University, Russia.
maksimovavn@susu.ru ORCID: [0000-0001-9197-5599](https://orcid.org/0000-0001-9197-5599).

Assoc. Prof., Dept. of Information and analytical support of management in social and economic systems. Cand. Sci. (Pedag.) (Chelyabinsk State Pedagogical Univ, 2000). Research in the field of situational management and geoinformatics.

MAKAROVSKIKH Tatiana Anatolievna

South Ural State University, Russia.
makarovskikh.t.a@susu.ru ORCID: [0000-0002-3656-9632](https://orcid.org/0000-0002-3656-9632).

Prof. Computer Science Dept. Dr. Phys. and Math. Sci. (South Ural State Univ., 2020). Master of Program Engineering (ibid., 2024). Research in the field of operations research, graph theory, and high-performance computing.

ZHULEV Alexandr Eduardovich

South Ural State University, Russia.

Postgraduate student, lecturer at the Department of Computer science. Master's Degree in Software Engineering (SUSU, 2024). Research in the field of operations research and high-performance computing.

E-mail: zhulevae@susu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6647-0934>

LEVCHENKO Nikita Evgenievich

South Ural State University, Russia.

Postgraduate student, Department of Computer science. Master's Degree in Applied Mathematics and Computer Science (SUSU, 2023). Research in the field of.

E-mail: levchenkone@susu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4562-1488>

МЕТАДАННЫЕ | METADATA

Заглавие: Интеллектуальные модули для системы мониторинга сельскохозяйственных земель региона («УралГИС-Агро»).

Авторы: Максимова В. Н., Макаровских Т. А., Жулев А. Э., Левченко Н. Е.

Аннотация: Современные глобальные вызовы человечеству требуют комплексного решения различных практических задач, в том числе и решения задач развития сельского хозяйства, в котором использование географических информационных систем (ГИС) и технологий Интернета вещей стало неотъемлемой частью ведения учета и прогнозирования раз-

Title: Intelligent modules for the regional agricultural land monitoring system (UralGIS-Agro).

Authors: Maksimova V. N., Makarovskikh T. A., Zhulev A. E., Levchenko N. E.

Abstract: Modern global challenges to humanity require a comprehensive solution to various practical tasks, including solving the problems of agricultural development, in which the use of geographic information systems (GIS) and Internet of Things technologies has become an integral part of accounting and forecasting of developing processes. The purpose of the research is

вивающихся процессов. Целью исследования является разработка подключаемых интеллектуальных модулей для информационной системы «УралГИС-Агро». Система имеет многомодульную структуру, что позволяет подключать дополнительные интеллектуальные модули для решения задач определения заброшенных невогребованных объектов землепользования и сегментации территорий. Предлагаемое решение использует данные дистанционного зондирования (ДЗЗ) и данные из базы информационной системы для детекции проблемы (в рассматриваемом случае – зарастания лесом) при помощи анализа вегетационного индекса для разных объектов в разные периоды времени. По результатам работы модуля можно определить точное местоположение проблемных объектов и провести их экспертную оценку либо анализ с использованием интеллектуальных методов и данных более высокой точности. По результатам тестирования модуля были определены площади невогребованных заросших участков сельскохозяйственных угодий, определена выгода для региона в случае передачи обнаруженных объектов в лесфонд, а также возможные расходы на восстановление данных земель как сельскохозяйственных. Использование инструмента сегментации позволит сельхозпроизводителям указывать при ведении отчетности области угодья, используемые в разных целях и для возделывания разных культур. Обсуждены возможности использования результатов полученного анализа и определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: Точное земледелие; принятие решений; интеллектуальный модуль; мониторинг; ДЗЗ.

Язык: Русский.

Статья поступила в редакцию 12 января 2026 г.

to develop plug-in intelligent modules for the UralGIS-Agro information system. The system has a multi-module structure, which makes it possible to connect additional intellectual modules to solve the problems of identifying abandoned unclaimed land use sites and segmenting territories. The proposed solution uses remote sensing data and data from the information system database to detect the problem (in this case, overgrowth) by analyzing the vegetation index for different objects in different time periods. Based on the results of the module, it is possible to determine the exact location of problematic objects and conduct their expert assessment or analysis using intelligent methods and data of higher accuracy. Based on the test results of the module, the areas of unclaimed overgrown agricultural land were determined, the benefits for the region were determined if the discovered objects were transferred to the forest fund, as well as the possible costs of restoring these lands as agricultural. Using the segmentation tool will allow agricultural producers to indicate when reporting areas of land used for different purposes and for cultivating different crops. The possibilities of using the results of the obtained analysis are discussed and the directions of further research are determined.

Key words: Precision farming, decision making, intelligent module, monitoring, remote sensing.

Language: Russian.

The article was received by the editors on 12 January 2026.