

ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИЕЙ В ЦЕЛЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ

В.Н. Максимова, maksimovavn@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9197-5599>
Т.А. Макаровских, makarovskikh.t.a@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3656-9632>
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цифровая трансформация агропромышленной отрасли началась еще в начале 2000-х годов. За это время разработано немало подходов для контроля состояния сельскохозяйственных угодий, автоматизации ухода за культурами, высокоточного внесения удобрений, мониторинга здоровья животных и оптимизации работы сельскохозяйственной техники. Тем не менее инвентаризация сельскохозяйственных угодий не проводилась более 30 лет, и, следовательно, актуальна разработка методов оценки проблемных объектов природопользования с целью определения направлений их дальнейшего применения. Основной целью внедрения технологий точного земледелия является изменение процесса принятия решения и, как следствие, получение существенного повышения эффективности управления агротехническими предприятиями, уменьшения загрязнения окружающей среды, роста доходов сельхозпроизводителей и улучшения качества продукции. **Цель исследования:** разработать универсальный интеллектуальный модуль для информационной системы «УралГИС-Агро», который позволяли бы детектировать проблемные объекты природопользования на основе спутниковых снимков. **Материалы и методы.** Для детекции проблемных объектов природопользования использованы методы анализа изображений, полученных с помощью дистанционного зондирования земли (спутниковые снимки). В частности, разработанная методика позволяет анализировать индексы (вегетационный, водный), и на основе полученных значений осуществляется принятие решения о состоянии объекта. **Результаты.** Полученный модуль является универсальным. В зависимости от получаемых входных данных о контурах объектов и вычисляемых индексах он позволяет получить анализ объекта в требуемом контексте. Обоснована экономическая эффективность разработанной системы. **Заключение.** По результатам работы модуля были определены проблемные объекты природопользования в Челябинской области, определена выгода для региона в случае передачи обнаруженных объектов другим собственникам, а также возможные расходы на восстановление данных земель как сельскохозяйственных. Рассмотренный в статье интеллектуальный модуль, являющийся частью технологии определения оптимального использования проблемных объектов природопользования, позволяет в дальнейшем решить проблему сбалансированного развития территории на основе геопространственного анализа и алгоритмов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: интеллектуальная система, комплекс программ, точное земледелие, принятие решений, мониторинг

Для цитирования: Максимова В.Н., Макаровских Т.А. Технология определения оптимального использования проблемных объектов природопользования на основе управления геоинформацией в целях пространственного развития территории // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2025. Т. 25, № 3. С. 108–115. DOI: 10.14529/ctcr250310

Brief report

DOI: 10.14529/ctcr250310

TECHNOLOGY FOR DETERMINING THE OPTIMAL USE OF PROBLEMATIC NATURAL RESOURCE MANAGEMENT OBJECTS BASED ON GEOINFORMATION MANAGEMENT FOR THE PURPOSE OF SPATIAL DEVELOPMENT OF THE TERRITORY

V.N. Maksimova, maksimovavn@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9197-5599>

T.A. Makarovskikh, makarovskikh.t.a@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3656-9632>

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The digital transformation of the agro-industrial sector began in the early 2000s. During this time, many approaches have been developed to monitor the condition of agricultural land, automate crop care, high-precision fertilization, monitor animal health, and optimize the operation of agricultural machinery. Nevertheless, the inventory of agricultural land has not been carried out for more than 30 years and, therefore, it is relevant to develop methods for assessing problematic environmental management facilities in order to determine the directions of their further application. The main goal of introducing precision farming technologies is to change the decision-making process and, as a result, to significantly improve the management efficiency of agricultural enterprises, reduce environmental pollution, increase agricultural producers' incomes and improve product quality. **Aim.** To develop a universal intelligent module for the UralGIS-Agro information system, which would allow detecting problematic environmental management objects based on satellite images. **Materials and methods.** Methods of analyzing images obtained using remote sensing of the Earth (satellite images) were used to detect problematic environmental management objects. In particular, the developed methodology makes it possible to analyze the indices (vegetation, water) and, based on the values obtained, a decision is made on the condition of the facility. **Results.** The resulting module is universal. Depending on the input data about the contours of the objects and the calculated indexes, it allows you to get an analysis of the object in the required context. The economic efficiency of the developed system is calculated. **Conclusion.** Based on the results of the module, problematic environmental management facilities in the Chelyabinsk region were identified, the benefits for the region were determined if the discovered facilities were transferred to other owners, as well as the possible costs of restoring these lands as agricultural. The intelligent module considered in this article is part of the technology for determining the optimal use of problematic environmental management facilities, it allows us to further solve the problem of balanced development of the territory based on geospatial analysis and artificial intelligence algorithms.

Keywords: intellectual system, software, precision farming, decision making, monitoring

For citation: Maksimova V.N., Makarovskikh T.A. Technology for determining the optimal use of problematic natural resource management objects based on geoinformation management for the purpose of spatial development of the territory. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2025;25(3): 108–115. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr250310

Введение

Цифровая трансформация агропромышленной отрасли началась еще в начале 2000-х годов и наблюдается в течение 10–15 лет в агропромышленном комплексе (АПК) по всему миру. Современные технологии точного земледелия включают в себя использование не только GPS, ГИС, но и технологий оценки урожайности, систем автопилотирования, дистанционного зондирования земли и других инструментов. За это время разработано немало подходов для контроля состояния сельскохозяйственных угодий, автоматизации ухода за культурами, высокоточного внесения удобрений, мониторинга здоровья животных и оптимизации работы сельскохозяйственной техники.

Тем не менее инвентаризация сельскохозяйственных угодий не проводилась более 30 лет, и, следовательно, актуальна разработка методов оценки проблемных объектов природопользования с целью определения направлений их дальнейшего применения, поскольку ресурсосберегающее земледелие предполагает оптимизацию процессов и внедрение инноваций для улучшения эффек-

тивности вариантов ведения хозяйства [1]. Основной целью внедрения технологий точного земледелия является изменение процесса принятия решения и, как следствие, получение существенного повышения эффективности управления агротехническими предприятиями, уменьшения загрязнения окружающей среды, роста доходов сельхозпроизводителей и улучшения качества продукции [2].

Можно много говорить о преимуществах внедрения технологий точного земледелия, но в настоящее время в России накоплен сравнительно небольшой опыт применения таких технологий, большинство агропроизводителей используют иностранные решения, доступ к которым во многом зависит от текущей политической ситуации в государстве. Следовательно, развитие отечественных решений в области ТЗ является перспективной задачей. Определенные наработки в области точного земледелия начали появляться в РФ в 2010-х годах. Большинство таких разработок являются академическими и посвящены методологии формирования технологий точного земледелия [3]. Если подойти с другой стороны, то появился и ряд компаний по продвижению на отечественный рынок технических средств точного земледелия, а также созданию отечественных технических средств и программного обеспечения [4–6].

Несмотря на наличие внушительных успехов в цифровизации отрасли, системная инвентаризация сельскохозяйственных угодий не проводилась более 30 лет и, следовательно, актуальна разработка методов оценки проблемных объектов природопользования с целью определения направлений их дальнейшего применения. Поэтому разработка технологии автоматизированного определения оптимального использования проблемных объектов природопользования в целях рационального пространственного развития территории является актуальной задачей. Ее решение позволит снизить экологическую нагрузку на природу внедрением энергосберегающей экологически безопасной технологии производства товаров и обеспечить промышленность или население новым видом информационных услуг и т. п.

1. Описание общей идеи интеллектуального модуля

Рассмотрим технологию автоматизированного определения наиболее эффективного использования проблемных объектов природопользования в целях пространственного развития территории с использованием инструментов ландшафтного планирования и искусственного интеллекта.

Сущность технологии состоит в разработке автоматизированных подсистем (модулей) оценки экономической привлекательности брошенных объектов природопользования (земли сельскохозяйственного назначения, земли лесного фонда, водных объектов). Выявление брошенных объектов основано на обработке структурированной базы данных. Оценка экономической привлекательности брошенных объектов природопользования основана на применении алгоритмов искусственного интеллекта и геопространственного анализа. Данные методы лежат в основе инструментария ландшафтно-рекреационного подхода.

Предложенная технология [7] включает в себя разработку и применение итоговой геоинформационной системы пространственного развития территории с учетом рекомендуемого использования проблемных объектов природопользования на основе ландшафтно-рекреационного подхода и алгоритмов искусственного интеллекта. Благодаря оценке экономической привлекательности проблемных объектов природопользования система позволяет рассчитать доходы региона от рационального использования брошенных объектов природопользования (сдача в аренду, передача в другие категории земель, привлечение инвестиционных проектов и т. д.).

Суть технологии основана:

- на разработке автоматизированных подсистем обработки данных по оценке состояния объектов природопользования;
- разработке автоматизированной подсистемы учета больших данных оценки рекреационного использования объектов природопользования и социально-экономической составляющей в целях пространственного развития территории;
- разработке автоматизированных подсистем оценки ландшафтных свойств объектов природопользования: земель, водных объектов, лесов;
- разработке автоматизированных подсистем оценки экономической привлекательности: земель, водных объектов, лесов.

Полный цикл анализа объектов землепользования состоит из трех этапов.

1. Анализ спутникового снимка [8] и выявление потенциальных проблемных объектов [9–12].
2. Уточнение результатов, полученных на первом этапе путем съемки с использованием БПЛА либо проведения экспертной оценки [13, 14].
3. Формирование рекомендаций по дальнейшему использованию выявленных проблемных объектов.

Потенциальные проблемы участков землепользования можно подразделить на следующие категории: поля, заросшие хвойной либо лиственной растительностью; заболоченные водоемы; лесные массивы после пожара.

Для выявления всех типов объектов достаточно использовать нормализованные индексы NDVI (для работы с данными по полям и лесам) и NDWI (для анализа данных о водных объектах).

Индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) является одним из наиболее важных и значимых индексов при исследовании качества вегетации, он описывает плотность растительности на территории на основе спутниковых либо мультиспектральных снимков. Значение индекса варьируется от -1 до 1 . Причем чем выше значение индекса, тем более развитой растительности он соответствует. Для анализа растительности индекс NDVI всегда имеет положительные значения от $0,2$ до 1 [15].

Нормализованный разностный водный индекс (NDWI, Normalized Difference Water Index) используется для мониторинга лесных пожаров, поиска полезных ископаемых и так далее. Значения индекса также находятся в диапазоне от -1 до 1 . Обычный диапазон для зеленой растительности составляет от $-0,1$ до $0,4$. Считается, что водные объекты принимают значения от $0,2$ до 1 , объекты, не содержащие влагу, принимают значения меньше 0 .

2. Исходные данные для функционирования интеллектуального модуля

Как было отмечено в предыдущем разделе, система использует геопространственные данные, находящиеся в открытом доступе: мультиспектральные снимки из космоса со спутника Sentinel. Изображения со спутника хранятся в формате GeoTIFF, который представляет собой многослойное растровое изображение, состоящее из миллионов пикселей. Каждый слой этого изображения соответствует одному из каналов съемки. Снимок представляет собой бесшовное мозаичное цветосинтезирующее изображение, в ряде случаев часть пикселей этого изображения перекрыта облаками, что может привести к получению ряда погрешностей анализа. С целью снижения погрешности используются снимки с характеристиками, приведенными в [9]. В частности, используются снимки, охватывающие только вегетационный период в Уральском регионе (с мая по сентябрь), периодичность съемки – $1-5$ суток (зависит от количества и качества снимков, получаемых со спутника), диапазон углов Солнца – $20-90$ градусов; угол визирования – $40/40$; допустимый процент облачности – 15% (данное ограничение резко уменьшает количество пригодных для анализа снимков для исследуемого региона).

Информация о контурах объектов интереса (сельскохозяйственных угодьях, принадлежащих определенному муниципальному образованию) хранится в базе данных системы «Урал ГИС-Агро» в бинарном формате [12].

После извлечения пикселей снимка, лежащих внутри контура исследуемого полигона, получим матрицу значений вегетационного индекса для каждого диапазона, используя формулу для вычисления индексов NDVI либо NDWI. Выбор индекса зависит от детектируемой проблемы.

Для детекции проблемы потребуются пороговые значения, находящиеся в диапазоне $[a, b]$, где a – нижнее пороговое значение для исследуемой проблемы, a, b – верхнее пороговое значение. Значения a и b определяются опытным путем с помощью той же технологии, которая описывается для детекции проблемных объектов.

3. Описание модуля для детектирования проблемных участков природопользования с использованием ДЗЗ

Общая структура модуля детекции проблемных объектов [7, 12] природопользования и определения пороговых значений приведена на рисунке.



Структура интеллектуального модуля для детекции проблемных объектов природопользования
The structure of an intelligent module for detecting problematic environmental management objects

Входными данными являются бесшовные снимки за период, контуры объектов, для которых необходимо рассчитать показатель, исследуемый индекс (номера каналов спутникового снимка для проведения расчетов), диапазон пороговых значений, вне которого объект не считается проблемным.

Интеллектуальный модуль позволяет разбить по пикселям обрезанное по контуру объекта интереса спутниковое изображение, рассчитать индекс для каждого пикселя, определить процент пикселей, попавших в проблемный диапазон (без учета пустых значений). В результате будет сформирован список попавших в проблемный диапазон объектов и каждому проблемному объекту будет присвоен класс проблемы: заросшее хвоей либо лиственными лесами, заболоченный объект либо лес после пожара.

Описанный модуль [12] разработан на языке Python 3, в котором имеется инструментальный для работы с геоинформацией. В частности, имеются библиотеки, обеспечивающие возможность получения из мультиспектрального снимка фрагмента, соответствующего полигону, заданному в бинарном формате. В частности, использована библиотека Shupely, которая преобразует данные из бинарного формата во внутренние объекты (полигоны либо линии) и использует их для обрезки изображений. На выходе получим изображение в матричном представлении для каждого полигона, хранящегося в базе данных.

Данные значения являются приблизительными. Для точного понимания, что означают те или иные данные, следует учитывать конкретный сезон, тип растительности, сорт сельскохозяйственной культуры и даже региональные особенности произрастания растения, а также особенности проведения съемки. Последнее не всегда представляется возможным, что влечет повышение погрешности проводимых вычислений.

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, лесных и водных угодий. Помимо всего прочего, при осмотре невозможно количественно оценить степень заросленности либо заболоченности отдельно взятого участка.

Заключение

Рассмотренный в статье интеллектуальный модуль, являющийся частью технологии определения оптимального использования проблемных объектов природопользования, позволяет в дальнейшем решить проблему сбалансированного развития территории на основе геопространственного анализа и алгоритмов искусственного интеллекта. Сущность данных подходов заключается в применении уникальной технологии автоматизированного определения наиболее эффективного использования проблемных объектов природопользования в целях пространственного развития территории. Применение данной технологии позволит решить проблему, связанную с обеспечением устойчивого и сбалансированного пространственного развития, являющимся одной из стратегических целей России, что следует из Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года.

Список литературы

1. Погонишев В.А., Погонишева Д.А., Ториков В.Е. Нейронные сети в цифровом сельском хозяйстве // Вестник Брянской ГСХА. 2021. № 5 (87). С. 68–71. DOI: 10.52691/2500-2651-2021-87-5-68-71
2. 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.
3. Якушев В.П. Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета «Умное сельское хозяйство» России // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 2. С. 11–15. DOI: 10.30850/vrsn/2019/2/11-15
4. Рубцов С.А., Голованов И.Н., Каштанов А.Н. Аэрокосмические средства и технологии для точного земледелия. М.: МСХА, 2008. 330 с.
5. Анализ экономической эффективности возделывания яровой пшеницы в системе точного земледелия / В.П. Якушев, П.В. Лекомцев, Т.С. Первак, В.В. Воропаев // Агрофизика. 2016. № 1. С. 43–52.
6. Якушев В.П., Якушев В.В. Информационное обеспечение точного земледелия. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. 384 с.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2024683613 / В.Н. Максимова, Т.А. Макаровских, А.Э. Жулев, Н.Е. Левченко; УралГИС-Агро. Заявл. 26.09.2024; опубл. 14.10.2024.
8. EarthExplorer: официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 16.01.2025).
9. Автоматизация идентификации залесенных территорий на основе ДЗЗ / Т.А. Макаровских, А.Э. Жулев, В.Н. Максимова, О.А. Дернова // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2024): сб. науч. тр., 17–20 июня 2024 г., Москва / под общ. ред. Д.А. Новикова. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2024. С. 2156–2160.
10. Интеллектуальная система мониторинга сельскохозяйственных земель региона (УралГис Агро) / В.Н. Максимова, Т.А. Макаровских, А.Э. Жулев, А.С. Макаровских // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (памяти проф. Н.И. Юсуповой) ITIDS'2024: тр. X Междунар. науч. конф. В 2 т. Уфа, 2024. Т. 1. С. 134–140.
11. Макаровских Т.А., Жулев А.Э., Максимова В.Н. Инструменты искусственного интеллекта как средство повышения качества мониторинга сельскохозяйственных угодий // Новые информационные технологии в образовании: сб. науч. тр. XXIV Междунар. науч.-практ. конф. М., 2024. С. 339–341.
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2023682961. Программный модуль для автоматизации идентификации залесенных территорий на основе ДЗЗ / В.Н. Максимова, Т.А. Макаровских, А.Э. Жулев, О.А. Дернова. № 2023682145; заявл. 26.10.2023; опубл. 01.11.2023.
13. Построение маршрута дрона для мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур / Т.А. Макаровских, А.В. Панюков, Е.В. Ращупкин и др. // Цифровая индустрия: состояние и перспективы развития 2023 (ЦИСП'2023): сб. науч. ст. Челябинск, 2024. С. 313–325.
14. Построение маршрута дрона для мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур / Т.А. Макаровских, А.В. Панюков, Е.В. Ращупкин и др. // Приборы. 2024. № 8 (290). С. 1–11.
15. Кусаинова М.Д., Таменов Т.Б., Тойшиманов М.Р., Сыздық Ә.Б., Исакова Г., Нұрғали Н.Д. Динамический мониторинг NDVI в агрономических испытаниях агрокультур с использованием беспилотного летательного аппарата // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2023. № 2 (117). С. 148–161. DOI: 10.51452/kazatu.2023.2(117).1386

References

1. Pogonyshv V.A., Pogonysheva D.A., Torikov V.E. Neural networks in digital agriculture. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2021;5(87):68–71. (In Russ.) DOI: 10.52691/2500-2651-2021-87-5-68-71
2. Yakushev V.P., Yakushev V.V., Matveenkov D.A. Objectives and goals of precision agriculture for national technology initiative implementation. *Agrofizika*. 2017;(1):51–65. (In Russ.)
3. Yakushev V.P. Digital technologies of precision farming in implementation of smart farming priority of Russian. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019;(2):11–15. DOI: 10.30850/vrsn/2019/2/11-15
4. Rubtsov S.A., Golovanov I.N., Kashtanov A.N. *Aerokosmicheskie sredstva i tekhnologii dlya tochnogo zemledeliya* [Aerospace tools and technologies for precision farming]. Moscow: Moscow Agricultural Academy, 2008. 330 p. (In Russ.)
5. Yakushev V.P., Lekomcev P.V., Pervak T.S., Voropaev V.V. Analysis of the economic efficiency of spring wheat cultivation in the system of precision agriculture. *Agrofizika*. 2016;(1):43–52. (In Russ.)
6. Yakushev V.P., Yakushev V.V. *Informatsionnoe obespechenie tochnogo zemledeliya* [Information support for precision agriculture]. St. Petersburg: Petersburg Nuclear Physics Institute of the Russian Academy of Sciences Publ., 2007. 384 p. (In Russ.)
7. Maksimova V.N., Makarovskikh T.A., Zhulev A.E., Levchenko N.E.; UralGIS-Agro. Certificate of state registration of a computer program RU 2024683613, 10/14/2024. Application dated 09/26/2024. (In Russ.)
8. EarthExplorer: official website [Electronic resource]. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 16.01.2025).
9. Makarovskikh T.A., Zhulev A.E., Maksimova V.N., Dernova O.A. [Automation of identification of wooded territories based on remote sensing]. In: *XIV All-Russian Meeting on Management Problems (VSPU-2024): collection of scientific papers, June 17–20, 2024, Moscow*. Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 2024. P. 2156–2160. (In Russ.)
10. Maksimova V.N., Makarovskikh T.A., Zhulev A.E., Makarovskikh A.S. Intelligent monitoring system for agricultural lands in the region (UralGIS Agro). In: *Information technologies for intellectual decision support (in memory of prof. N.I. Yusupova) ITIDS'2024. Proceedings of the X International Scientific Conference. In 2 volumes. Vol. 1*. Ufa, 2024. p. 134–140. (In Russ.)
11. Makarovskikh T.A., Zhulev A.E., Maksimova V.N. Artificial intelligence tools as a means of improving the quality of monitoring agricultural land. In: *New information technologies in education. Collection of scientific papers of the XXIV International Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2024. P. 339–341. (In Russ.)
12. Maksimova V.N., Makarovskikh T.A., Zhulev A.E., Dernova O.A. *A software module for automating identification of wooded territories based on remote sensing*. Certificate of state registration of a computer program RU 2023682961, no. 2023682145; decl. 10/26/2023; publ. 11/01/2023. (In Russ.)
13. Makarovskikh T.A., Panyukov A.V., Rashchupkin E.V., Maksimova V.N., Dernova O.A. Building a drone route for crop yield monitoring. In: *Digital Industry: The State and Prospects of Development in 2023 (CISP'2023). Collection of scientific articles*. Chelyabinsk, 2024. P. 313–325. (In Russ.)
14. Makarovskikh T.A., Panyukov A.V., Raschupkin E.V., Maksimova V.N., Dernova O.A. [Building a drone route for crop yield monitoring]. *Devices*. 2024;8(290):1–11. (In Russ.)
15. Kusainova M.D., Tamenov T.B., Toishimanov M.R., Syzdyk A.B., Iskakova G., Nurgali N.D. Dynamic monitoring of NDVI in agronomic testing of agro crops using an unmanned aerial vehicle. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agro Technical University*. 2023;2(117):148–161. (In Russ.) DOI: 10.51452/kazatu.2023.2(117).1386

Информация об авторах

Максимова Валентина Николаевна, канд. пед. наук, доц., директор Научно-образовательного центра «Геоинформационные системы», доц. кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, maksimovavn@susu.ru.

Макаровских Татьяна Анатольевна, д-р физ.-мат. наук, доц., проф. кафедры системного программирования, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, makarovskikh.t.a@susu.ru.

Information about the authors

Valentina N. Maksimova, Cand. Sci. (Education), Ass. Prof., Director of Scientific and Educational Center “Geoinformation Systems”, Ass. Prof. of the Department of Informational and Analytical Support of Control in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, maksimovavn@susu.ru.

Tatiana A. Makarovskikh, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Ass. Prof., Prof. of the Department of Computer Science, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, makarovskikh.t.a@susu.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.04.2025

The article was submitted 27.04.2025