

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ



УДК 528.082

Статья поступила: 17.05.2025

Принята к публикации: 30.06.2025

Опубликована: 17.07.2025

Развитие геопространственного обеспечения маркшейдерско-геодезической информации в условиях цифровизации и интеллектуализации

Е. Д. Подрядчикова ¹ 

¹ Тюменский индустриальный университет

¹ e-mail: podryadchikova_ed@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено современным подходам к обеспечению маркшейдерско-геодезической информации в условиях цифровизации и интеллектуализации. Анализ показывает, что автоматизация процессов, таких как лазерное сканирование и аэрофотосъемка, достигла значительных успехов, однако некоторые задачи требуют участия человека. Исторический анализ демонстрирует эволюцию маркшейдерско-геодезической сферы: начиная от простых моделей месторождений до внедрения трехмерного моделирования и использования алгоритмов искусственного интеллекта. В статье программное обеспечение для обработки маркшейдерско-геодезической информации разделено на несколько категорий. Эти инструменты могут быть усовершенствованы с применением искусственного интеллекта и цифровых двойников для улучшения управления и автоматизации процессов. Цифровые технологии играют ключевую роль в дальнейшем развитии геопространственного обеспечения маркшейдерско-геодезической информации.

Ключевые слова: маркшейдерско-геодезическая информация, искусственный интеллект, геопространственные данные, цифровые двойники

Финансирование: исследование выполнено при поддержке гранта Некоммерческой организацией "Благотворительный фонд "ЛУКОЙЛ".

DOI: <https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-2-37-49>



Submitted: 17.05.2025

Accepted: 30.06.2025

Published: 17.07.2025

Development of surveying and geodetic works in the context of digitalization and intelligentization

Ekaterina D. Podryadchikova¹ 

¹ Industrial University of Tyumen

¹ e-mail: podryadchikova_ed@mail.ru

Abstract. The article presents the results of research on modern approaches to providing surveying and geodetic information in the context of digitalization and intellectualization. The analysis shows that the automation of processes such as laser scanning and aerial photography has achieved significant success, but some tasks require human involvement. A historical analysis reveals the evolution of the surveying and geodetic field, starting from simple models of deposits to the implementation of three-dimensional modeling and the use of artificial intelligence algorithms. In the article, the software for processing surveying and geodetic information is divided into several groups. These tools can be enhanced with the application of artificial intelligence and digital twins to improve management and automate processes. Digital technologies play a key role in the further development of geospatial support for surveying and geodetic information.

Key words: *mining and surveying information, artificial intelligence, geospatial data, digital twins*

Funding: the research was carried out with support of a grant from the non-profit organization "LUKOIL Charity Fund".

DOI: <https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-2-37-49>

Введение. Геопространственное обеспечение маркшейдерско-геодезической информации — это методы сбора данных, использование технологий и инструментов, а также применение геопространственных данных в маркшейдерско-геодезической деятельности (Мустафин, Васильев, Глазунов, 2022, 34). Геопространственное обеспечение включает в себя комплексные решения автоматизации геологических, маркшейдерских и технологических задач при работе с векторными, каркасными и блочными моделями представления геопространственных данных.

Современные маркшейдерско-геодезические работы в наибольшей степени интегрированы с компьютерными технологиями, например, процесс предварительной обработки данных лазерного сканирования и аэрофотосъемки практически полностью автоматизирован (Вальков, Валькова, Мустафин, 2023, 44). При этом остается большой объем задач, которые выполняются вручную. К ним можно отнести редактирование цифровой модели рельефа, контроль параметров съемки и обработки спутниковых данных, анализ облаков точек лазерного отражения и т. д. Специалистам приходится работать с огромным количеством неструктурированных данных, поэтому важно развитие модулей автоматизированного анализа и обработки

геопространственных маркшейдерско-геодезических данных (Дубровский, 2015, 240).

Источниками первичной информации для гео моделирования маркшейдерско-геодезических данных служат: геологические, топографические и гипсометрические планы; вертикальные и горизонтальные стратиграфические сечения; данные опробования геологоразведки и аэрофотосъемки. Зачастую маркшейдерско-геодезическая информация не может быть описана только математическими уравнениями, что обусловлено сложностью и многофакторностью процессов (Яконовская, Жигульская, 2021, 73).

Материалы и методы. Исторически сложилось, что в маркшейдерско-геодезической сфере эпоха цифровизации началась с внедрения геоинформационных систем (ГИС). Первыми проектами стали простые модели месторождений, позволяющие оценивать запасы и содержание полезных ископаемых; они датируются началом 1960-х годов (Наговицын, 2023).

Следующим этапом можно выделить период с начала 1970-х до конца 1980-х годов, когда началось активное внедрение трехмерного цифрового блочного моделирования и геостатистического анализа.

Современный этап можно охарактеризовать использованием интерактивной

графики и высококачественной визуализации, что позволяет специалистам видеть поверхности и модели объектов в реальном времени.

Одним из ключевых направлений федерального проекта «Геология: возрождение легенды», реализуемого в 2025–2027 гг., значится внедрение информационных технологий, таких как алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) для анализа и интерпретации сложной маркшейдерско-геодезической информации, и технологий цифровых двойников (ЦД) (Паспорт Федерального проекта, 2021). Следовательно, цифровизация и интеллектуализация — это два ключевых направления, которые оказывают значительное влияние на маркшейдерско-геодезическое обеспечение.

В статье (Элементы искусственного интеллекта..., 2023) подчеркивается, что развитие ИИ может привести к новой эре в роботизированной маркшейдерии и геодезии, обеспечивая более высокую точность и эффективность.

К основным тенденциям интеллектуализации полевых работ маркшейдерско-геодезической отрасли можно отнести:

- разработка роботизированных систем тахеометров и спутников приемников, беспилотных авиационных систем

с возможностью самонастройки и адаптации к изменяющимся условиям;

- улучшение планирования сети маршрутов и плотности точек измерения для наземных и воздушных съемок;

- применение методов машинного обучения для обработки данных без необходимости перепрограммирования (Флегонтов, Воронов, Флегонтов, Воронов, 2022,55).

Перспективами развития камеральной обработки маркшейдерско-геодезических данных, помимо расширения функционала геопространственного обеспечения, является использование ИИ — как традиционного, так и генеративного. Традиционный ИИ ориентирован на интеллектуальное выполнение конкретных задач. Он относится к системам, которые предназначены для обучения на определенном наборе входных данных и позволяют принимать решения или делать прогнозы.

В настоящее время модели генеративного ИИ обучаются на наборе исходных данных, согласно которому способны анализировать и выявлять закономерности, а также генерировать новые данные, комбинируя и модифицируя данные исходного набора.

Важной особенностью применения генеративных методов ИИ в проектировании

и планировании маркшейдерских работ является использование методов оптимизации, учитывающих множество природных и технологических параметров и ограничений.

Генеративный ИИ, выполняя конкретные задачи, может создавать новые данные, анализировать и комбинировать информацию из больших наборов исходных данных, выявляя сложные закономерности и генерируя оригинальные решения (Jing Liu, 2023). Это открывает новые возможности для оптимизации и инноваций в различных областях, включая маркшейдерско-геодезические работы.

Алгоритмы традиционного ИИ способны обрабатывать совокупности влияющих параметров на гораздо более детальном уровне, что позволит усовершенствовать концепцию оптимального проектирования и планирования маркшейдерских работ — как с точки зрения экономической эффективности, так и промышленной безопасности (Артемов, Носырев, 2024, 92).

Важной частью технологического развития геопространственного обеспечения маркшейдерско-геодезической информации становятся ЦД как часть цифрового производства (Maan Nabib 2023). ЦД создаются с целью эффективного соединения в реальном времени физического и цифрового образа объекта

через взаимодействие людей, оборудования и аналитического программного обеспечения. В условиях конкуренции главной задачей промышленных предприятий, в том числе горнодобывающей промышленности, остается максимизация производительности за счет оптимизации производственных процессов, минимизации простоев и повышения эффективности использования ресурсов (Жидков, Абакумова, Ракитина, 2023, 6)

Это становится возможным благодаря переходу на управление на основе ЦД путем получения аналитики о производственных и экономических процессах в режиме реального времени, позволяющих снизить затраты на сырье, логистику, обслуживание и ремонт, а также увеличить качество и объемы продукции горных предприятий (Гурбанмырадов, Мырадова, Бегмырадов, 2025, 49).

Создание ЦД горных предприятий в полном объеме — это достаточно непростая задача, которая успешно реализуется благодаря интеграции современных технологий и методов управления. В основе создания ЦД, как правило, лежит трехмерная информационная модель объекта.

Целью данного исследования является выявление основных групп программного обеспечения маркшейдерско-геодезической

информации и их назначений, а также формулирование возможностей применения ИИ и ЦД для дальнейшего совершенствования этих систем.

Основные задачи исследования заключаются в следующем:

- Провести классификацию программного обеспечения для обработки маркшейдерско-геодезических данных, выделив основные группы и их функциональные назначения;
- Разработать схему интеграции инновационных технологий, включая ИИ и ЦД, на различных этапах работ с маркшейдерско-геодезической информацией;
- Определить потенциальные преимущества применения ИИ и ЦД в системах маркшейдерско-геодезической информации.

Результаты. Одним из важнейших классов программного обеспечения, применяемых на горных предприятиях, являются инструменты для создания трехмерных геологических и геомеханических моделей. Трехмерные модели объектов на сегодняшний день предоставляют информацию высокого качества, точности и детализации. Традиционно координаты характерных точек горных выработок получают по наблюдениям спутниковых навигационных систем или тахеометрической съемки. При этом активно внедряются и более производительные технологии, такие как:

цифровая аэрофотосъемка с беспилотных воздушных судов, наземное и воздушное лазерное сканирование. Все программное обеспечение маркшейдерско-геодезической информации можно сгруппировать в следующие категории:

- специализированные горные программы;
- системы управления производством;
- системы регистрации производства;
- горные системы общего назначения;
- геоинформационные системы.

Основное назначение перечисленного программного обеспечения маркшейдерско-геодезической информации представлено на рисунке 1.

Указанные категории программного обеспечения могут в дальнейшем использоваться совместно с ИИ и ЦД для:

- повышения эффективности управления горными работами;
- автоматизации производственных процессов;
- более точного моделирования и прогнозирования.

На рисунке 2 представлена схема укрупненных этапов маркшейдерско-геодезических работ, с выделением используемой группы программного обеспечения и потенциальным вариантом внедрения ИИ и ЦД.



Рисунок 1. Программное обеспечение, применяемое для обработки маркшейдерско-геодезической информации

Figure 1. Software used for processing surveying and geodetic information

Цифровизация и интеллектуализация в области маркшейдерско-геодезического обеспечения позволит повысить эффективность, точность и достоверность выполняемых работ. Применение

современных технологий ЦД и методов ИИ способствует оптимизации и автоматизации различных этапов маркшейдерских и геодезических работ, что, в свою очередь, повышает их качество и надежность.



Рисунок 2. Укрупненные этапы маркшейдерско-геодезических работ и применение ИИ и ЦД

Figure 2. Consolidated Stages of Surveying and Geodetic Works and the Application of Artificial Intelligence and Digital Twins

Обсуждение. Цифровые технологии развиваются с большой скоростью; они играют и будут играть одну из самых ключевых ролей в формировании безопасной и высокопроизводительной горной промышленности.

Состояние горнодобывающей промышленности как одной из ключевых отраслей в российской экономике, которая формирует

бюджет страны, диктует применение цифровых технологий в качестве фактора роста производительности труда и повышения промышленной безопасности. Кроме того, цифровизация способствует улучшению условий труда и повышению промышленной безопасности за счет автоматизации и роботизации опасных и вредных производственных операций.

Сведения об авторе

Подрядчикова Екатерина Дмитриевна – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; **ORCID:** 0000-0002-3463-1359; **E-mail:** podryadchikova_ed@mail.ru

Information about the author

Ekaterina D. Podryadchikova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Geodesy and Cadaster, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia; **ORCID:** 0000-0002-3463-1359; **E-mail:** podryadchikova_ed@mail.ru

© Подрядчикова Е. Д., 2025

Для цитирования: Подрядчикова Е. Д. Развитие геопространственного обеспечения маркшейдерско-геодезической информации в условиях цифровизации и интеллектуализации // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», No 2/2025
<https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-2-37-49>, EDN: KZNRFE

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемов И. В., Носырев М. Б. Анализ современных способов прикладного использования сверточных нейронных сетей в горной промышленности // Маркшейдерия и недропользование. – 2024. – № 1(129). – С. 90-94. – DOI: 10.56195/20793332_2024_1_90_94. EDN: WCNXDK
2. Вальков В. А., Валькова Е. О., Мустафин М. Г. Методика уточнения цифровых моделей рельефа открытых горных выработок по материалам лазерного сканирования и аэрофотосъемки // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – № 3(125). – С. 40-52. – DOI: 10.56195/20793332_2023_3_40_52. EDN: RVANLL
3. Гурбанмырадов М., Мырадова Дж., Бегмырадов С. Цифровой двойник горного предприятия // Символ науки. – 2025. – № 1-1-2. – С. 49-51. EDN: VNCAGZ
4. Дубровский А. В. Возможности применения геоинформационного анализа в решении задач мониторинга и моделирования пространственных структур // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № S5. – С. 236-242. EDN: UXVYFB
5. Жидков Р. Ю., Абакумова Н. В., Ракитина Н. Н. Оценка точности и достоверности инженерно-геологических моделей на основе принципов машинного обучения // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2023. – № 6. – С. 4-15. – DOI: 10.31857/S0869780923060115. EDN: CURLAY
6. Мустафин М. Г., Васильев Б. Ю., Глазунов В. В. Развитие методов построения цифровой модели рельефа по данным многоточечных маркшейдерско-геодезических измерений // Маркшейдерский вестник. – 2022. – № 2(147). – С. 33-40. EDN: VTVDVF
7. Наговицын О. В. Развитие горно-геологической информационной системы в современных реалиях российской горнодобывающей отрасли // Горная промышленность. – 2023. – № S5. – С. 35-40. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5S-35-40. EDN: HMYIOU
8. Основные методические подходы к моделированию оперативной обстановки чрезвычайной ситуации / А. В. Флегонтов, Г. Б. Воронов, А. А. Флегонтов, А. Г. Воронов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 6. – С. 50-59. DOI: 10.30533/0536-101X-2022-66-6-50-59; EDN: OFSPUN

9. Паспорт Федерального проекта «Геология – возрождение легенды», 2021 г.
10. Элементы искусственного интеллекта в роботизированной геодезии // Межотраслевой журнал навигационных технологий «Вестник ГЛОНАСС», 2023. 2 июня. С. 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik-glonass.ru/news/tech/elementy-iskusstvennogointellekta-v-robotizirovannoy-geodezii/> (дата обращения 16.06.2025)
11. Яконовская Т. Б., Жигульская А. И. Особенности 3D-моделирования торфяных месторождений в геоинформационной среде Micromine // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1(9). – С. 71-85. – DOI: 10.46573/2658-5030-2021-1-71-85. EDN: VBKZCJ
12. Jing L. Research on Digital Management Construction of Surveying and Mapping Geographic Information Data Archives // Journal of Global Humanities and Social Sciences. – 2023. – № 4(06). P. 265-69. – DOI: 10.61360/BoniGHSS232015280601
13. Maan H. Geodetic Data Processing Using Soft Computing Techniques. – 2023. – DOI: 10.5772/intechopen.1002249

REFERENCES

1. Artemov I.V., Nosyrev M.B. Analysis of modern engineering applications of convolutional neural networks in mining industry // Mine surveying and subsurface use. 2024;1(129):90-94. (In Russ.) https://doi.org/10.56195/20793332_2024_1_90_94
2. Valkov V.A., Valkova E.O., Mustafin M.G. Methodology for refining digital relief models of open-pit mine workings based on laser scanning and aerial photography // Mine surveying and subsurface use. 2023;3(125):40-52. (In Russ.) https://doi.org/10.56195/20793332_2023_3_40_52
3. Gurbanmyradov M., Myradova D., Begmyradov S. Digital twin of a mining enterprise // Symbol of science: international scientific journal. 2025;1-1-2:49-51. (In Russ.)
4. Dubrovsky A.V. Possibilities of using geoinformation analysis in solving problems of monitoring and modeling spatial structures // Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying. 2015;S5:236-242. (In Russ.)
5. Zhidkov R.Yu., Abakumova N.V., Rakitina N.N., Lesnikov G.A., Rekun V.S., Petrov A.K. Accuracy and reliability assessment of engineering geological models based on machine learning // Geocology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology. 2023;6:4-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869780923060115>
6. Mustafin M.G., Vasiliev B.Yu., Glazunov V.V. Development of methods of digital elevation model generation based on the data of multi-point surveying and geodetic measurements // Mine surveying bulletin. 2022;2(147):33-40. (In Russ.)
7. Nagovitsyn O.V. Development of mining and geological information system in the present-day situation in the russian mining industry // Mining industry journal. 2023;S5:35-40. (In Russ./Eng) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-35-40>
8. Flegontov A.V., Voronov G.B., Flegontov A.A., Voronov A.G. The main methodological approaches to modeling the emergency operational environment // Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying. 2022;66-6:50-59. (In Russ.)
9. Passport of the Federal project "Geology – the rebirth of a legend", 2021
10. Elements of artificial intelligence in robotic geodesy // Bulletin of GLONASS, 2023. URL: <http://vestnik-geodezii.ru/news/tech/elementy-iskusstvennogointellekta-v-robotizirovannoy-geodezii/> (accessed 06.16.2025)
11. Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I. Features of 3D modeling of peat in the geoinformation environment micromine // Bulletin of the Tver State Technical University. Series: technical sciences. 2021;1(9):71-85. (In Russ.) <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2021-1-71-85>
12. Jing L. Research on Digital Management Construction of Surveying and Mapping Geographic Information Data Archives // Journal of Global Humanities and Social Sciences. 2023;4(06):265-69. <https://doi.org/10.61360/BoniGHSS232015280601>
13. Maan H. Geodetic Data Processing Using Soft Computing Techniques. 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1002249>