

УДК 528.94:622.33

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-2-105-112

Компонентный подход к созданию информационного слоя специализированной ГИС для уточнения геометрии угольного пласта

Л. Н. Бурмин^{1✉}, Ю. А. Степанов¹

¹ Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

e-mail: LNBurmin@mail.ru

Аннотация. В статье обосновывается актуальность применения ГИС для горнодобывающих предприятий при поддержке принятия решений на основе данных о геологической структуре. В статье рассматривается компонентный подход к конструированию ГИС для уточнения гипсометрии пласта, позволяющий комплексировать данные, полученные в результате геофизической разведки. Описывается прикладное значение данных геофизической разведки. Приводятся примеры постановки комплексных задач, реализующих потенциал привязки геофизических данных к пространственным координатам. Представлена информационная модель информационного слоя ГИС для управления геофизическими данными и принятия управленческих решений, связанных с оценкой гипсометрии пласта, что позволит значительно повысить точность и оперативность в принятии решений, связанных с планированием и оптимизацией добычи. Интеграция геофизических данных с пространственными координатами в рамках ГИС-системы обеспечит более детальное представление о геологической структуре месторождения, что, в свою очередь, позволит более эффективно прогнозировать поведение угольных пластов, учитывать возможные геологические риски и минимизировать непредвиденные остановки производства. Такой подход будет способствовать улучшению контроля над производственными процессами, сокращению издержек и повышению общей эффективности работы предприятия.

Ключевые слова: ГИС, геофизическая разведка, компонентный подход, атрибутивно-пространственные данные, информационная модель, поддержка принятия решений, комплексирование данных, ведение горных работ, гипсометрия породного массива

Для цитирования:

Бурмин Л. Н., Степанов Ю. А. Компонентный подход к созданию информационного слоя специализированной ГИС для уточнения геометрии угольного пласта // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 2. – С. 105–112. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-2-105-112

Введение в проблематику

Геофизическая разведка играет ключевую роль в современной горной промышленности и научных исследованиях в этой области. Способы геофизической разведки предоставляют данные о структуре и составе земных образцов, позволяя определять геометрию пластов, проводить геотехнические оценки, контролировать безопасность и многое другое. Среди способов геофизической разведки выделяются акустическая, сейсморазведка, электроразведка, радиоманнитная разведка и др. Каждый из них имеет специфические ха-

рактеристики и области применения в зависимости от решаемой задачи и контекста ведения горных работ.

Одной из сложностей, с которой сталкиваются специалисты в области геофизической разведки, является неопределенность потенциальных задачи на ранних стадиях реализации проекта. Использование одного способа разведки может привести к нехватке данных для проведения комплексной оценки гипсометрии пласта. Более гибким видится подход, позволяющий динамически адаптировать данные результатов нескольких способов разведки к разным классам задач. Большинство

современных ГИС, направленных на расчёт экономической части ведения горных работ и оценку запасов, не позволяют комплексно учитывать данные, полученные в результате мероприятий по геофизической разведке. Существуют отдельные программные модули для отдельных видов геофизической разведки, однако они направлены на визуализацию результатов работы конкретного оборудования в закрытом формате данных, который не подразумевает экспорт в другие системы или делает его довольно сложным.

В связи с этим актуальной является задача разработки интегрального информационного слоя ГИС для построения пространственно-атрибутивной модели угольного пласта, которая позволяла бы учесть дополнительные данные при решении задач, возникающих в процессе ведения горных работ. Такой подход позволил бы организовать в ГИС набор компокуемых модулей, способных адаптироваться к различным сценариям разведки и взаимодействовать между собой для достижения более всесторонних и точных результатов.

Краткий обзор основных способов разведки и описание типичных задач

В области геофизической разведки существует многочисленное разнообразие способов, каждый из которых представляет собой инструмент для получения информации о внутренних структурах и свойствах горных пород. Подземная добыча полезных ископаемых, таких как уголь и пластовые месторождения, представляет особую важность в горнодобывающей индустрии. Для эффективной и безопасной добычи необходимо проводить геофизическую разведку, и в этом контексте важно понимать разнообразие способов разведки. Наиболее популярными методами сбора данных, применимыми в данной области, являются акустическая разведка, сейсморазведка, электроразведка, зондирование становлением поля в ближней зоне и георадиолокация. Каждый из этих способов обладает разными характеристиками (частота, длина волны, сопротивление) и структурой данных, которые являются основными исходными компонентами информационной модели для исследования гипсометрии место-

рождений и оптимизации процесса добычи. Это делает актуальной разработку метода сбора и анализа данных для построения комплементарной модели, состоящей из разных характеристик, полученных разными способами геофизической разведки в рамках единого информационного слоя из баз данных.

Акустическая разведка использует звуковые волны для определения физических свойств среды, таких как плотность и скорость звука [1]. Акустическая разведка может использоваться для определения геологической структуры подземных пластов, оценки их плотности и состава. Этот способ часто применяется для определения горизонтов угольных пластов и контроля над процессами внутри шахт.

Сейсморазведка основана на использовании сейсмических волн, которые распространяются через горные породы и затем отражаются от различных слоев и структур [2]. Этот способ является ключевым для поиска месторождений углеводородов, изучения земной коры и прогнозирования сейсмической активности. Сейсморазведка широко используется для обнаружения и оценки месторождений угля и других полезных ископаемых. Сейсмические данные помогают в поиске месторождений, определении их геологической структуры и мониторинге стабильности шахт.

Электроразведка изучает проводимость пород с помощью электрических сигналов [3]. Этот способ активно используется в горнодобывающей промышленности для поиска металлических включений, зон обводненности, а также позволяет определить их химический состав.

Зондирование становлением поля в ближней зоне [4] позволяет исследовать электромагнитные свойства земли на небольших глубинах. Данные, полученные в результате способа разведки, используются для обнаружения подземных объектов, исследования геологической структуры и контроля качества материалов. Применяется для изучения геофизических свойств горных пород, таких как магнитная восприимчивость и электромагнитная проводимость. Способ позволяет оценить геоэлектрические параметры среды по кривым сопротивления и проводимости.

Георадиолокация применяется для обнаружения и изучения объектов с использованием радиоволн [5]. Этот способ широко используется в геодезии, археологии и геофизике для измерения расстояний, определения глубины подземных объектов и создания карт местности. В горном деле может использоваться для обнаружения и исследования подземных структур и пустот, что важно для контроля безопасности в шахтах и изучения гипсометрии пласта и составления технического паспорта участка.

Данные, полученные в результате разведки, представляют собой ценный ресурс для решения разнообразных задач при ведении горных работ. Комбинированное применение способов может улучшить достоверность получаемых результатов. Процесс комплексирования разнородных данных георазведки видится целесообразным посредством гибкой компоновки ГИС с открытой архитектурой. Это позволит реконфигурировать систему в зависимости от постановки решаемой задачи в рамках ведения горных работ.

Методы и материалы

В виду разнородности и количества данных разведки, довольно сложно учесть их совокупное влияние на горнотехническую систему. Эта сложность повышает вероятность ошибки при решении задач, связанных с гипсометрией горного массива, что может привести к нерациональным решениям и финансовым потерям.

Для упрощения работы с данными представляется концепция модульного подхода к компоновке ГИС. Этот подход основан на идее создания набора программных компонентов, каждый из которых представляет собой отдельный способ разведки. Ключевая особенность модульного подхода заключается в его гибкости и способности комбинировать способы на основе текущих задач и данных, которые становятся доступными по мере развития проекта на разных этапах ведения горных работ. Такой подход позволяет исследователям и инженерам адаптировать методы моделирования к конкретным условиям и получать более точные результаты,

даже если исходные задачи остаются частично неизвестными [6].

В качестве примера классов решаемых задач, которые требуют комбинирования различных способов геофизической разведки и других инженерных изысканий, можно привести следующие.

1. Определение структуры месторождений. Комбинирование способов сейсморазведки и зондирования становлением поля в ближней зоне может быть необходимо для определения гипсометрии и глубины месторождений полезных ископаемых. Сейсморазведка позволяет исследовать геологическую структуру, в то время как зондирование становлением поля может раскрывать информацию о магнитных и электромагнитных характеристиках горных пород.

2. Контроль стабильности шахт. Горнодобывающие предприятия часто сталкиваются с задачей контроля стабильности шахт и карьеров. Для этого могут использоваться сейсморазведка, георадиолокация и акустическая разведка. Сейсморазведка позволяет выявить потенциальные опасности, связанные с землетрясениями, георадиолокация помогает обнаруживать подземные пустоты, а акустическая разведка используется для контроля над состоянием шахт и структур.

3. Поиск новых месторождений. Комбинация геофизической разведки с методами дистанционного зондирования с использованием подсистем анализа данных, входящих в состав геоинформационных систем, позволяет проводить поиск новых месторождений.

4. Мониторинг экологических параметров. Горнодобывающая промышленность часто сталкивается с задачами мониторинга воздействия добычи на окружающую среду. Комбинирование акустической разведки и георадиолокации может быть использовано для наблюдения изменений в звуковой среде и обнаружения возможных экологических последствий деятельности угольного предприятия в виде горных ударов, изменения ландшафта и т. п.

5. Оценка состояния шахт и инфраструктуры. Комплексная оценка состояния горнотехнической системы может включать в себя использование данных результатов проведения

исследования способом сейсморазведки для мониторинга структурных изменений в массиве и акустической разведки с целью контроля над состоянием шахтовых сооружений.

Несмотря на разнородность этих задач, их решение основывается на общих разнородных исходных данных, что демонстрирует необходимость комбинирования различных способов геофизической разведки и инженерных подходов для решения задач ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях.

Потенциал привязки атрибутивных данных к координированному пространству

Привязка геофизических данных к пространственным координатам, или геопривязка, является одной из основных решаемых задач в области построения тематических карт, отображающих геометрию породного массива [7]. Эта процедура позволяет представить данные в контексте географической информации и использовать их для создания карт, моделей и прогнозов, а также для обеспечения точности визуализации и анализа как исходных, так и получаемых данных. Это позволяет визуализировать и анализировать данные на карте, выявлять пространственные паттерны и коррелировать их с географической информацией, такой как топография, ландшафт, инфраструктура и т. п.

Моделирование геологических структур. Геопривязанные геофизические данные позволяют строить 3D-модели геологических структур и месторождений полезных ископаемых [8]. Эти модели могут быть использованы для прогнозирования распределения полезных ископаемых и оптимизации добычи.

Мониторинг изменений во времени. Привязка данных к пространственным координатам позволяет проводить мониторинг изменений во времени. Это важно для отслеживания эволюции месторождений, землетрясений, изменений в горных условиях и экологических параметрах.

Планирование инфраструктуры и безопасности. Геопривязанные данные помогают в планировании инфраструктуры для

горнодобывающих предприятий, а также в обеспечении безопасности в шахтах и карьерах. Это включает в себя определение опасных зон, мониторинг стабильности структур и планирование аварийных сценариев.

Прогнозирование рисков и ресурсов. Привязанные к пространственным координатам геофизические данные позволяют более точно прогнозировать геологические риски, такие как землетрясения и оползни, а также определять ресурсы, такие как запасы полезных ископаемых и водные ресурсы [9].

Геоотчеты и визуализация. Геопривязанные данные могут быть использованы для создания геоотчетов и визуализации результатов геофизической разведки. Это облегчает обмен информацией между различными структурами и партнерами в проектах.

Привязка данных к пространственным координатам дает возможность более эффективного использования геофизической информации в горнодобывающей индустрии и других смежных областях [10]. Она обеспечивает контекст и точность, что помогает принимать обоснованные решения, сокращать риски и оптимизировать процессы.

Обсуждение

Структура информационного слоя для компонентного подхода. Концептуальная модель информационного слоя для хранения и управления геофизическими данными может быть организована в системе объектно-ориентированных баз данных, которые содержат все геофизические данные и связанную информацию (рис. 1). Горнотехническая часть (рис. 2) слоя описывает контекст горнотехнической системы. Метаданные описывают инфраструктурные особенности работы с системой. Интеграционная часть позволяет организовать интерфейс для передачи данных, полученных в результате анализа, во внешние системы предприятия. Компонуемая часть представляет собой модульную структуру для комплексирования результатов геофизической разведки.

БД результатов геофизической разведки. Описывает данные о геофизических измерениях, полученных из различных спосо-

бов разведки. Каждая запись в этой таблице представляет собой одно измерение и может включать в себя следующие свойства: идентификатор измерения (ID), дату и время измерения, географические координаты (широта, долгота, высота), способ разведки (например, сейсморазведка, акустическая разведка), значения измеренных параметров (например, плотность, скорость звука).

БД гипсометрии пластов. Представляет собой абстрактное отображение 3D-модели геологической структуры, созданные на основе геофизических данных. Включает идентификатор модели (ID), географические координаты области моделирования, 3D-данные о структуре (например, распределение плотности или проводимости).

БД результатов геологического анализа. Описывает модель геологических характеристик месторождений и горных пород, которые получены на основе геофизических данных: идентификатор месторождения (ID), географические координаты месторождения, геологические параметры (например, тип породы, глубина месторождения).

БД отчетов. В этой БД можно хранить результаты анализа данных, отчеты о безопасности и производительности, а также документацию, связанную с горнодобывающими операциями, а также другие аналитические данные и отчеты, созданные на основе геофизических данных. Включает географические координаты, в рамках которых сформирован отчет, результаты анализа, графики и текстовые описания.

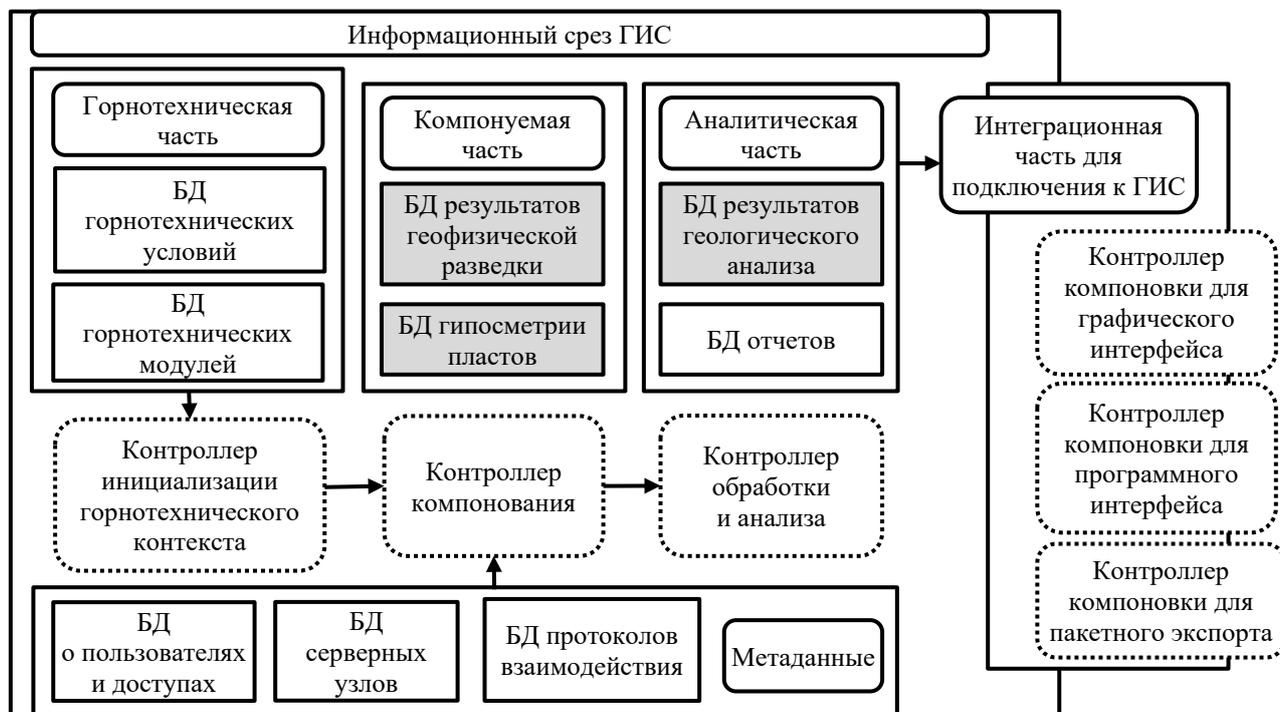


Рис. 1. Концептуальная модель компонуемого информационного слоя

Для принятия управленческих решений в области горнодобывающей промышленности, связанных с выемкой угля и безопасностью, описанная структура должна быть интегрирована в общую систему с базами данных, содержащими сведения о технологиях выемки, видах крепей и некоторых аспектах безопасности.

Горно-техническая часть (рис. 2) хранит информацию о месторождениях, включая их географические координаты, типы угля и геологические характеристики. Содержит сведения о технологиях и методах выемки угля. Каждая запись может содержать описание технологии, ее характеристики и применение. База данных применяемых механизмов со-

держит данные о различных типах передвижных крепей и их характеристиках.

Также необходимо предусмотреть набор баз данных, агрегирующих в себе некоторый

объем промежуточной агрегированной информации и метаданных для управления асинхронным доступом пользователей и аудитом данных и общего конфигурирования ГИС.

БД строительных материалов	БД применяемых механизмов	БД горнотехнических факторов	БД горнотехнических условий
БД методов добычи	БД горных пород	БД комплексов потенциальных мероприятий	БД геотехнологических модулей

Рис. 2. Модуль «Горнотехническая часть»

Такая структура информационного слоя позволяет рационализировать процесс управленческих решений, связанных с горнодобывающими операциями. Она позволяет управлять и анализировать пространственно-атрибутивные геофизические данные в контексте технологий выемки, безопасности и производительности, что помогает оптимизировать добычу угля и обеспечивать безопасность в шахтах.

Заключение

Модульный подход представляет собой анализ геофизических данных с помощью методов ГИС, позволяя интегрировать различные геофизические компоненты с координированным пространством для решения широкого круга задач, связанных с уточнением гипсометрии пласта. Дальнейшее развитие в области пространственно-атрибутивного моделирования включает в себя следующие аспекты:

1. Развитие новых методов и технологий, таких как применение искусственного интеллекта и машинного обучения, для более точного анализа данных и определения задач.

2. Интеграция с ГИС. Более глубокая интеграция геофизических данных с геоинформационными системами, что упростит анализ и визуализацию результатов.

3. Управление рисками и безопасностью. Развитие методов мониторинга и управления рисками в горнодобывающей индустрии, что поможет предотвращать аварии и обеспечивать безопасность персонала, а также моделировать поведение горного массива путем имитационного изменения его цифровой модели.

4. Экологические аспекты. Усиление внимания к экологическим аспектам горнодобывающей деятельности, включая мониторинг и уменьшение воздействия на окружающую среду.

5. Обучение и обмен знаниями. Обмен знаний и передача опыта между специалистами в области геофизической разведки, что способствует развитию отрасли.

С учетом этих перспектив предлагаемый подход к управлению данными, полученными в результате геофизической разведки, может стать гибким инструментом для принятия управленческих решений и оптимизации горнодобывающих процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбачев А. С., Шилов В. И. Мониторинг массива горных пород по параметрам искусственного акустического сигнала. Прогноз геологических нарушений при добыче угля // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 2. – С. 6–16. – EDN WQXDPE.

2. Степанов Д. В., Бондарук Н. С. Разработка компрессионно-вакуумных ударных машин для использования в подземных горных выработках при прогнозировании опасных горно-динамических явлений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки

и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 5. – С. 216–223. – DOI 10.18303/2618-981X-2018-5-216-223. – EDN YORDYD.

3. Гайсин Р. М., Набатов В. В. Выделение аномальных зон в подземной электроразведке методом аналитического продолжения // ГИАБ. – 2018. – № 6. – С. 107–112. – DOI 10.25018/0236-1493-2018-6-0-107-112. – EDN OVHNIL.

4. Семинский И. К., Буддо И. В., Суров Л. В., Агафонов Ю. А. Опыт 3D-моделирования сигналов становления электромагнитного поля в условиях осадочного чехла юга Сибирской платформы // Вестник ИрГТУ. 2012. – № 6 (65). – С. 49–53. – EDN OZGQDF.

5. Кавардаков А. А., Кузин Е. Г., Пудов Е. Ю. Опыт применения георадиолокации в условиях шахты Котинская для оценки состояния подготовительных горных выработок // ГИАБ. – 2016. – № 12. – С. 166–173. – EDN XRUSBZ.

6. Соколов С. В., Салтымаков Е. А., Кормин А. Н. Комплексные геофизические исследования состояния угленородного массива в условиях Кузбасса // Вестник КузГТУ. 2017. – № 2 (120). – С. 66–71. – EDN YMVOZX.

7. Аленичев В. М. Формирование геоинформации для диагностики состояния горного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – DOI 10.25018/0236-1493-2021-51-0-217. – EDN RQUNLI.

8. Павлов Д. С. Перспективы использования трехмерного моделирования в структурной геологии // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2006. – № 3. – С. 71–75. – EDN PZOWOE.

9. Рагозин А. Л. Общие закономерности формирования и количественная оценка природных рисков на территории России // Проблемы анализа риска. – 2006. – Т. 3. – № 2. – С. 174–194. – EDN NUETFX.

10. Рундквист Д. В., Ряховский В. М. Роль геоинформатики в фундаментальных исследованиях в области наук о Земле // Открытое образование. – 2010. – № 5. – С. 57–61. – EDN NCGUFD.

Об авторах

Леонид Николаевич Бурмин – кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых технологий.

Юрий Александрович Степанов – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой цифровых технологий.

Получено: 17.09.2024

© Л. Н. Бурмин, Ю. А. Степанов, 2025

Component approach to creation of information layer of specialized GIS for specification of coal seam geometry

L. N. Burmin^{1✉}, *Yu. A. Stepanov*¹

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

e-mail: LNBurmin@mail.ru

Abstract. The article substantiates the relevance of applying GIS to mining enterprises for decision support based on geological structure data. The article explores a component-based approach to constructing a GIS for refining seam hypsometry, which allows integrating data obtained from geophysical surveys. The practical significance of geophysical survey data is described. Examples are provided of formulating complex tasks that leverage the potential of linking geophysical data to spatial coordinates. An informational model of the GIS data layer is presented for managing geophysical data and making managerial decisions related to seam hypsometry evaluation. This approach will

significantly improve the accuracy and efficiency of decision-making related to planning and optimizing production. The integration of geophysical data with spatial coordinates within a GIS system will provide a more detailed representation of the geological structure of a deposit, thereby enabling more effective predictions of coal seam behavior, accounting for potential geological risks, and minimizing unforeseen production stoppages. This approach will contribute to enhanced control over production processes, cost reduction, and increased overall operational efficiency.

Keywords: GIS, geophysical survey, component-based approach, attribute-spatial data, information model, decision support, data integration, mining operations, hypsometry of coal seam

REFERENCE

1. Gorbachev, A. S., & Shilov, V. I. (2022). Monitoring of rock massif by parameters of artificial acoustic signal. Prediction of geological disturbances during coal mining. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti truda v ugol'noy promyshlennosti [Vestnik of the Scientific Center for Occupational Safety in the Coal Industry]*. No. 2. pp. 6–16. EDN WQXDPE [in Russian].
2. Stepanov, D. V., & Bondaruk, N. S. (2018). Development of compression-vacuum percussion machines for use in underground mine workings in predicting hazardous mining dynamic events. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]*. Vol. 5, pp. 216–223, DOI 10.18303/2618-981X-2018-5-216-223. EDN YORDYD [in Russian].
3. Gaisin, R. M., & Nabatov, V. V. (2018). Detection of anomalous zones in underground electrical exploration by analytical continuation method. *GIAB [GIAB]*. No. 6, pp. 107–112, DOI 10.25018/0236-1493-2018-6-0-107-112. EDN OVHNIL [in Russian].
4. Seminskiy, I. K., Buddo, I. V., Surov, L. V., & Agafonov, Yu. A. (2012). The experience of 3D modeling of electromagnetic field formation signals in the conditions of the sedimentary cover of the southern Siberian platform. *Vestnik IrGTU [Vestnik IrGTU]*. Vol. 6 (65). pp. 49–53. EDN OZGQDF [in Russian].
5. Kavardakov, A. A., Kuzin, E. G., Pudov, E. Yu. (2016). The experience of using georadiolocation in the conditions of the Kotinskaya mine to assess the state of preparatory mine workings *GIAB [GIAB]*. No. 12, pp. 166–173. EDN XRUSBZ [in Russian].
6. Sokolov, S. V., Saltymakov, E. A., & Kormin, A. N. (2017). Comprehensive geophysical studies of the state of the carboniferous massif in the conditions of Kuzbass. *Vestnik KuzGTU [Vestnik KuzGTU]*. No. 2 (120), pp. 66–71. EDN YMVOZX [in Russian].
7. Alenichev, V. M. (2021). Formation of geoinformation for the diagnosis of the state of a mining enterprise. *GIAB [GIAB]*. No. 5–1, DOI 10.25018/0236-1493-2021-51-0-217. EDN RQUNLI [in Russian].
8. Pavlov, D. S. (2006). Prospects for the use of three-dimensional modeling in structural geology. *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle [Vestnik SPbGU. Geosciences]* No. 3. pp. 71–75. EDN PZOWOE [in Russian]
9. Ragozin, A. L. (2006). General patterns of formation and quantitative assessment of natural risks in Russia *Problemy analiza riska [Risk analysis problems]*. Vol. 3, No. 2. pp. 174–194. EDN NUETFX [in Russian]
10. Rundkvist, D. V., & Ryakhovskiy, V. M. (2010). The role of geoinformatics in fundamental research in the field of Earth sciences. *Otkrytoe obrazovanie [Open education]*. No. 5. pp. 57–61. EDN NCGUFD [in Russian].

Author details

Leonid N. Burmin – Ph.D., Associate Professor of the Department of Digital Technologies.

Yuri A. Stepanov – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Digital Technologies.

Received 17.09.2024

© L. N. Burmin, Yu. A. Stepanov, 2025