

УДК 004.048:550.8.053

Пространственная интеграция данных между системами геомоделирования и геоинформационными системами: современные подходы и решения

- Гильванов Ринат Гаффанович** — канд. воен. наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы». Научные интересы: информационные системы, виртуальная и дополненная реальность, иммерсивные технологии. E-mail: gilvanov1950@mail.ru
- Забродин Андрей Владимирович** — канд. ист. наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы». Научные интересы: информационные системы, аналитика данных, проектирование баз данных, веб-разработка, облачные технологии. E-mail: zabrodin@pgups.ru
- Надеева Миля Ренатовна** — магистрант 2-го курса направления 09.04.02 «Информационные системы и технологии». Научные интересы: цифровая трансформация геологоразведки, интеграция данных систем геомоделирования и ГИС, семантическая интероперабельность геопространственных данных, машинное обучение в геологии, архитектура цифрового двойника месторождения. E-mail: milyanadeeva@yandex.ru

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Гильванов Р. Г., Забродин А. В., Надеева М. Р. Пространственная интеграция данных между системами геомоделирования и геоинформационными системами: современные подходы и решения // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2026. № 1 (45). С. 81–90. DOI: 10.20295/2413-2527-2026-145-81-90

Аннотация. Рассматривается проблема пространственной интеграции данных между системами геомоделирования и геоинформационными системами — ключевая задача цифровой трансформации нефтегазовой отрасли. **Цель:** системный анализ существующих подходов к решению этой проблемы: использование стандартных форматов, программных интерфейсов и корпоративных платформ. **Результаты:** на основе сравнительного анализа и критической оценки специализированных инструментов выявлены их принципиальные ограничения: потеря семантики, зависимость от версий программного обеспечения, высокая стоимость внедрения, отсутствие поддержки двусторонней синхронизации и автоматического разрешения конфликтов данных. Показано, что для преодоления этих ограничений требуется разработка новой архитектуры интеграционных решений. **Практическая значимость:** полученные выводы могут быть полезны для проектирования более эффективных систем обмена геопространственной информацией, способных повысить качество геологической интерпретации, сократить сроки принятия решений и оптимизировать взаимодействие между подразделениями в нефтегазовой компании. **Обсуждение:** в качестве перспективных направлений развития предложены внедрение открытых стандартов OGC, применение методов машинного обучения для автоматизации преобразования данных, а также реализация концепции цифрового двойника месторождений.

Ключевые слова: геоинформационная система, пространственные данные, интеграция, обмен данными, геомоделирование, Petrel, архитектура плагинов, цифровой двойник месторождений, гибридное геомоделирование

2.3.1 — системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки);
2.3.5 — математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки)

Введение

В условиях активной цифровой трансформации нефтегазовой отрасли все большее значение приобретает интеграция специализированных приложений для геомоделирования с современными геоинформационными системами (ГИС). Программные комплексы класса E&P, такие как Schlumberger Petrel [1], позволяют создавать детализированные трехмерные цифровые модели месторождений — от структурного моделирования и анализа фильтрационно-емкостных свойств до гидродинамических расчетов [2]. Между тем современные ГИС-платформы, включая ArcGIS и QGIS с отраслевыми модулями, обеспечивают широкий спектр возможностей — от пространственного анализа и тематической визуализации до обработки растровых и векторных данных и интеграции разнородных геоданных [3, 4].

Проблематика интеграции пространственных данных

Несмотря на широкие возможности геомоделирующих комплексов и ГИС, их совместное использование связано с рядом серьезных трудностей. Наиболее значимыми проблемами являются:

- различия в форматах данных и связанные с этим сложности преобразования;
- ограничения по масштабируемости при работе с большими объемами геофизической информации;
- вопросы безопасности и контроля доступа к критически важным данным.

Преодоление этих ограничений позволяет существенно повысить эффективность работы с геопространственной информацией [5].

Автоматизация преобразования форматов данных и структур пространственных данных сокращает цикл их обработки, комплексный анализ в едином информационном пространстве повышает точность интерпретаций, а использование согласованных наборов данных укрепляет взаимодействие между геологическими, геофизическими и инженерными подразделениями.

Достижение перечисленных эффектов невозможно без использования современных методов

интеграции. Наибольшее значение здесь имеют открытые стандарты обмена данными, такие как платформа OSDU (Open Subsurface Data Universe), а также облачные технологии, которые обеспечивают хранение и обработку больших объемов информации. Важную роль играют ETL-процессы, позволяющие автоматизировать передачу данных между разнородными системами, и разработка специализированных API и пользовательских коннекторов, расширяющих возможности взаимодействия. Перспективным направлением становится применение методов искусственного интеллекта, которые помогают сопоставлять данные по смыслу и повышать качество их интеграции [6].

Статья посвящена изучению современных методов и технологий, применяемых для решения обозначенных проблем. При этом особое внимание уделяется практическому аспекту — оценке применимости интеграционных решений в реальных проектах нефтегазовой отрасли.

Методология интеграции пространственных данных

В современной практике интеграции систем геомоделирования и геоинформационных технологий выделяют три основных подхода, каждый из которых имеет свои особенности реализации и ограничения.

Обмен данными через промежуточные форматы

Один из наиболее распространенных способов интеграции основан на использовании стандартизированных форматов обмена. К ним относятся:

- GRDECL/ASCII — для передачи дискретных грид-моделей;
- GeoTIFF — для описания растровых геологических поверхностей;
- Shape-файл/GeoJSON — для представления векторных объектов инфраструктуры.

Преимущества такого подхода очевидны: он обеспечивает совместимость с широким спектром программных платформ, относительно прост в реализации и не требует значительных вычислительных ресурсов.

Однако использование стандартизованных форматов обмена имеет и ряд ограничений:

1. Потеря метаданных. При сериализации данных часть служебной информации (атрибутов, связей, описаний) часто теряется, что снижает качество последующей интерпретации.

2. Ручной контроль целостности. Проверка корректности и полноты преобразованных данных в большинстве случаев выполняется вручную, что замедляет процесс и повышает риск ошибок.

3. Ограниченная поддержка структур. Промежуточные форматы не рассчитаны на хранение сложных геологических моделей, например неструктурированных сеток, что существенно ограничивает их применение в практических задачах.

Данный метод можно рассматривать как эффективное решение для базового обмена пространственными данными и взаимодействия разнородных систем. Однако функциональные ограничения не позволяют в полной мере использовать его при интеграции сложных геологических моделей и многоуровневых структур, что становится критичным при интеграции детализированных геологических моделей. Именно эти недостатки обусловили развитие альтернативных подходов, основанных на использовании специализированных SDK и программных интерфейсов.

Специализированные SDK и программные интерфейсы

Более продвинутый подход к интеграции основан на использовании специализированных SDK и программных интерфейсов. К таким инструментам относятся:

- API Petrel Ocean — обеспечивает доступ к ядру систем геомоделирования;
- ArcPy/GDAL — для автоматизации процессов в среде ГИС;
- REST API — для облачной интеграции.

Практический эффект данного подхода демонстрирует опыт компании «Газпром нефть», где автоматизация обновления картографического материала с применением API Petrel Ocean и ArcPy позволила сократить время подготовки документации более чем на 80%.

Преимущества данного подхода:

1. Высокая точность. Обеспечивается минимальная потеря информации при передаче данных.

2. Гибкость. Возможность реализации сложных преобразований и адаптации под конкретные задачи.

3. Поддержка потоковой обработки. Актуально для сценариев с большими объемами информации.

Ограничения подхода:

1. Требуются специализированные навыки программирования и знание архитектуры систем.

2. Обновления платформ могут нарушать совместимость разработанных решений.

Несмотря на указанные ограничения, использование SDK и API обеспечивает более глубокую интеграцию по сравнению со стандартизованными форматами обмена и позволяет реализовывать более сложные сценарии обработки данных. Однако высокая сложность внедрения и зависимость от инфраструктуры делают данный метод оправданным прежде всего в крупных проектах с высокими требованиями к автоматизации и точности [7].

Корпоративные системы управления данными

Наиболее комплексным методом интеграции являются корпоративные платформы управления данными, которые обеспечивают централизованное хранение, обработку и синхронизацию пространственной информации.

Промышленными решениями являются:

- платформа FME — универсальная система преобразования данных [3];
- Petrosys PRO — программное обеспечение для картографирования, моделирования и анализа данных;
- платформа данных OSDU — открытая облачная платформа для работы с геологическими и производственными данными.

Практика применения корпоративных систем демонстрирует их высокую эффективность. Так, в компании Shell внедрение ежедневной синхронизации данных на базе сервера FME позволило повысить точность информации на 32%, сократить время согласования между подразделениями и обеспечить прозрачность процессов конверсии данных.

Преимущества подхода:

1. Возможность реализации интеграции на уровне корпоративных сценариев.

2. Автоматическая проверка корректности и целостности данных при обмене.

3. Адаптация решений к росту объемов информации и числа пользователей.

Ограничения подхода:

1. Высокая стоимость внедрения, значительные капитальные затраты на приобретение лицензии и сопровождение.

2. Необходимость в развитой ИТ-инфраструктуре и поддержке высококвалифицированных специалистов.

Корпоративные системы управления данными, несомненно, предоставляют наиболее полный функционал для интеграции геодезирования и ГИС, объединяя поддержку сложных процессов, валидацию и масштабируемость. Однако высокая стоимость и требования к инфраструктуре ограничивают их применение в небольших проектах, делая данный подход оправданным преимущественно для крупных компаний и долгосрочных проектов (инициатив).

Рассмотренные подходы к интеграции пространственных данных демонстрируют различный уровень глубины и сложности реализации. Стандартизированные форматы удобны и универсальны, но ограничены при работе со сложными моделями. SDK и API обеспечивают точность и гибкость, однако требуют высокой квалификации и зависят от стабильности версий программного обеспечения. Корпоративные платформы предоставляют наиболее широкий функционал, включая масштабируемость и встроенную валидацию, но связаны с высокими затратами и инфраструктурными ограничениями [8].

Таким образом, выбор методологии определяется как техническими требованиями проекта, так и ресурсными возможностями организации.

Критическая оценка существующих решений

Представленные выше методологические подходы описывают общие принципы интеграции

пространственных данных. На практике они реализуются через специализированные программные инструменты, которые обеспечивают взаимодействие геодезирующих комплексов и ГИС. При этом эффективность таких инструментов зависит не только от заложенных возможностей, но и от существующих ограничений. Ниже приведены наиболее показательные примеры.

Специализированными инструментами интеграции являются:

1. Blueback Spatial Image Connector (Blueback Reservoir)

Предлагает подключение к сервисам веб-картографии. Его достоинство — простота и удобство интеграции. Однако функциональность ограничивается статичными изображениями, что не позволяет эффективно работать с динамическими данными.

2. GIS Data Link (GeoCap)

Предназначен для экспорта трехмерных моделей в среду ГИС. Данное решение позволяет упростить обмен пространственной информацией, но при работе с большими массивами данных возникают проблемы производительности, требующие дополнительной оптимизации [9].

3. Petrosys PRO

Предоставляет профессиональные инструменты визуализации и подготовки документации. Система демонстрирует высокую производительность и востребована в корпоративной среде. В то же время она ориентирована преимущественно на специализированные задачи и не может рассматриваться как универсальное средство интеграции.

Перечисленные решения демонстрируют реальную практическую ценность и активно применяются в отрасли. Однако их специализация и ограниченность функционала не позволяют рассматривать данные решения как комплексные инструменты пространственной интеграции. Это подчеркивает необходимость разработки более универсальных инструментов, которые сочетали бы гибкость, масштабируемость и способность работать со сложными структурами данных [10, 11].

Сравнение инструментов интеграции представлено в табл. 1.

Сравнение специализированных инструментов интеграции

Инструмент	Назначение	Преимущества	Ограничения	Типичная область применения
Blueback Spatial Image Connector	Подключение к веб-картам (статические изображения)	Простота; удобство	Только статические данные, без динамики	Быстрая интеграция картографических слоев
GeoCap GIS Data Link	Экспорт 3D-моделей в ГИС	Упрощает обмен моделями	Проблемы производительности при больших данных	Передача 3D-моделей в среду ГИС
Petrosys PRO	Визуализация; картография; документация	Высокая производительность; корпоративная востребованность	Специализация; не универсальное решение	Подготовка отчетности, карт, презентаций
FME (Safe Software)	ETL-инструмент; преобразование форматов	Поддержка сотен форматов; автоматизация	Лицензионная стоимость; требует настройки	Массовая конверсия и синхронизация данных
OSDU Data Platform	Облачная платформа для геоданных	Открытые стандарты; масштабируемость	Высокие требования к инфраструктуре	Единое корпоративное хранилище данных

Сравнительный анализ методологических подходов к интеграции пространственных данных

Сравнение существующих методов интеграции позволяет систематизировать наиболее важные особенности различных подходов к интеграции, демонстрируя их основные преимущества и основные недостатки.

1. Экспорт данных в стандартные форматы (Direct)

Подход отличается простотой и гибкостью, не требует специальных программных средств и подходит для разовых преобразований (например, конвертации ASCII в SHP).

Вместе с тем его ограничения очевидны:

- необходимость ручной настройки параметров преобразования для каждого типа данных;
- отсутствие механизмов автоматической проверки результатов конверсии;
- дискретный характер обмена, который не способствует работе в режиме реального времени.

2. Интеграции с использованием специализированных плагинов

Преимущества метода:

- высокий уровень автоматизации обменных процессов;

- сохранение семантики данных за счет использования собственных форматов;
- возможность настройки параметров преобразования.

Вместе с тем данный подход не лишен недостатков:

- строгое соблюдение архитектурных ограничений, предлагаемых API;
- подверженность проблеме несовместимости версий при обновлении платформ;
- ограниченная поддержка пользовательских типов данных.

3. Отсутствие универсальных решений

Анализ рынка программного обеспечения показывает отсутствие комплексных решений, способных предложить:

- непрерывную передачу данных;
- двустороннюю синхронизацию в реальном времени;
- автоматическое разрешение конфликтов версий.

Современные коммерческие продукты (Petrel-GIS Connector, FME) имеют лишь частичную реализацию предъявляемых требований.

4. Проблема преобразований координат

По данным исследования Wood Mackenzie (2023), в 78 % случаев интеграции возникает

необходимость конвертации координат между различными системами — от локальных до глобальных (WGS-84, PZ-90) и специализированных (например, координаты устья/забоя скважины).

Это влечет совокупные риски:

- потерю точности при работе с детализированными моделями;
- расхождения в определении опорных картографических реперов.

5. Дополнительные технологические ограничения

Помимо указанных проблем, интеграция осложняется рядом фундаментальных различий в архитектуре используемых систем:

- Модели данных. Геоинформационные системы традиционно опираются на реляционную парадигму, в то время как многие геоинформационные комплексы используют объектно-ориентированные модели, что затрудняет сопоставление структур и требует дополнительных преобразований [11].

- Системы контроля версий. В ГИС применяются собственные механизмы управления изменениями, несовместимые с инструментами, используемыми в геоинформационном моделировании. В результате возникают сложности при согласовании совместной работы.

- Пространственное индексирование. Различия в подходах к пространственному индексированию (например, R-деревья, квадродеревья и их модификации) приводят к снижению производительности при интеграции больших наборов данных и ограничивают возможности оптимизации запросов.

Результаты сравнительного анализа демонстрируют: существующие методы решают лишь частные задачи интеграции, оставляя нерешенными ключевые проблемы совместимости, масштабируемости и автоматизации.

В связи с этим перспективными направлениями развития можно считать:

- разработку унифицированных онтологий предметной области, обеспечивающих единое понимание и сопоставимость данных;

- создание адаптивных механизмов преобразования координат, позволяющих минимизировать ошибки при работе с различными системами;

- реализацию конвейеров непрерывного обмена данными, ориентированных на двустороннюю синхронизацию в реальном времени;

- внедрение интеллектуальных систем валидации, автоматизирующих контроль качества пространственной информации.

Одним из перспективных направлений является применение технологий семантических сетей и машинного обучения, которые открывают возможности для разработки самонастраивающихся интеграционных систем [12].

В табл. 2 представлено сравнение уже существующих инструментальных подходов к интеграции пространственных данных.

Перспективы развития систем пространственной интеграции

Анализ современного состояния технологий геоинформационного моделирования и интеграции ГИС позволяет выделить несколько стратегически значимых направлений их развития:

1. Архитектура, основанная на открытых стандартах

Наиболее перспективным подходом является создание модульных расширений, опирающихся на международные стандарты OGC (WMS 3.0, WFS 3.0, WPS), современные форматы хранения (GeoPackage, COG) и протоколы обмена (OGC API — Features, OGC API — Processes).

2. Кросс-платформенные технологии

Широкие возможности открывают библиотеки Python (NumPy, GeoPandas, PyProj), инструменты пространственной обработки данных (GDAL 3.6+, PDAL) [13], а также контейнеризация с использованием Docker и Kubernetes, позволяющая разрабатывать переносимые и масштабируемые приложения.

3. Функциональные компоненты

Перспективные решения должны включать унифицированный интерфейс для отображения семантических атрибутов, модуль преобразования координат с поддержкой динамических систем

Сравнение инструментальных подходов к интеграции пространственных данных

Подход	Примеры	Преимущества	Ограничения	Область применения
Стандартизированные форматы (Direct)	GRDECL, GeoTIFF, GeoJSON	Простота и универсальность; не требует сложных навыков; совместимость со многими системами	Потеря метаданных; ручная проверка целостности; ограниченная поддержка сложных структур	Разовый обмен; базовые конверсии
SDK и API	Petrel Ocean API, ArcPy, GDAL, REST API	Высокая точность; гибкость; поддержка потоковой обработки	Требуются навыки программирования; возможные проблемы совместимости при обновлениях	Крупные проекты с высокими требованиями к автоматизации
Корпоративные платформы управления данными	FME, Petrosys PRO, OSDU	Масштабируемость; автоматическая проверка целостности; интеграция на уровне предприятия	Высокая стоимость; требования к ИТ-инфраструктуре	Долгосрочные проекты в крупных компаниях

и пользовательских трансформаций, а также многоуровневую систему журналирования и управления версиями данных.

4. Передовые технологии

Особый интерес представляют векторизованные пространственные операции, механизмы постепенной синхронизации изменений и применение методов машинного обучения для автоматической классификации атрибутов, оптимизации конверсий и прогнозирования конфликтов данных.

5. Архитектурные принципы

Развитие интеграционных решений тесно связано с внедрением микросервисной архитектуры, принципов достоверности данных и концепции цифрового двойника, что обеспечивает масштабируемость и воспроизводимость процессов.

Теоретическая ценность перспективных решений заключается в формировании целостной методологии пространственной интеграции, а ее практическая значимость — в уменьшении технологических разрывов между системами, повышении точности геопропространственного анализа и оптимизации процессов принятия решений.

Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на формализации требований к системам нового поколения и разработке соответствующих эталонных архитектур, способных обеспечить устойчивую интеграцию в условиях постоянно растущих объемов данных.

Заключение

Проведенный анализ современных подходов к интеграции систем геодезирования и ГИС свидетельствует о том, что существующие методы — обмен через стандартизированные форматы, применение SDK/API и внедрение корпоративных платформ — обладают принципиальными ограничениями, не позволяющими в полной мере обеспечить семантическую целостность, масштабируемость и оперативность обмена пространственными данными [11].

Выявленные различия в архитектуре, моделях данных и механизмах контроля версий между геодезирующими комплексами и геоинформационными системами обуславливают невозможность создания единой универсальной платформы, одинаково эффективно решающей все задачи интеграции.

Результаты проведенного исследования позволяют утверждать, что дальнейшее развитие интеграционных решений должно осуществляться в русле смены парадигмы: отказ от попыток создания монолитных универсальных платформ в пользу формирования адаптивной экосистемы специализированных парных интерфейсов и коннекторов, функционирующих на базе открытых стандартов (OGC, OSDU) и микросервисной архитектуры.

Предлагаемый подход, в отличие от унифицированных решений, характеризуется следующими принципиальными возможностями:

- сохранить вычислительную специализацию и функциональную автономность каждой из интегрируемых систем;

- обеспечить онтологическую совместимость данных за счет унифицированных протоколов обмена, учитывающих семантику предметной области;

- реализовать двустороннюю синхронизацию в реальном времени и автоматическое разрешение конфликтов версий;

- интегрировать интеллектуальные механизмы валидации и алгоритмы машинного обучения для повышения качества и достоверности передаваемой информации.

Таким образом, разработка стандартизированных, но адаптируемых интерфейсов взаимодей-

ствия представляет собой наиболее перспективное направление, отвечающее современным требованиям цифровой трансформации нефтегазовой отрасли. Предложенный подход создает методологическую основу для формирования целостной информационной среды геологоразведки и разработки месторождений, открывая возможности для практической реализации концепции цифровых двойников и обеспечения устойчивой интеграции в условиях растущих объемов и сложности геопространственных данных. В более широком контексте предложенные подходы могут быть применены и в других сферах, где требуется работа с большими объемами пространственной информации — от экологии до градостроительства [14].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Программная платформа Petrel // Официальный сайт компании «Шлюмберже». URL: <http://digital.slb.ru/products/petrel/> (дата обращения: 29.09.2025).
2. Шутов Д. А., Соилов Б. С. Применение цифровых двойников в геологии / науч. рук. Ю. Г. Смирнов // Севергеозотех-2022: материалы XXIII Международной молодежной научной конференции (Ухта, Россия, 16–18 марта 2022 года). Ухта: Ухтинский гос. технический ун-т, 2022. С. 229–232.
3. FME Workbench essentials // ArcGIS Pro. URL: <http://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/data/data-interoperability/fme-workbench-essentials.htm> (дата обращения: 29.09.2025).
4. QGIS Documentation. URL: <http://docs.qgis.org/3.40/en/docs/index.html> (дата обращения: 29.09.2025).
5. Кондратьев А. А. Цифровая трансформация в нефтегазовой сфере // Вестник науки. 2023. № 11 (68). Т. 2. С. 804–821.
6. Марков Н. Г. Геоинформационные системы предприятий нефтегазовой отрасли: функциональность, архитектура и перспективы развития // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 9. С. 16–32.
7. Зайнуллин Р. И., Гузаиров М. Б. Новые подходы к хранению и обработке больших массивов геоданных // Инновации и инвестиции. 2014. № 12. С. 164–166.
8. Скворцов А. В. Геоинформатика: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2006. 336 с.
9. Мое А. DataLink for ArcGIS // Atlassian Confluence. 2015. 20 October. URL: <http://geocap.atlassian.net/wiki/spaces/ug/pages/22053150> (дата обращения: 29.09.2025).
10. OGC API — Features — Part 1: Core corrigendum. Version 1.0.1 / С. Portele [et al.] (eds). Open Geospatial Consortium, 2022. URL: <http://www.opengis.net/doc/IS/ogcapi-features-1/1.0.1> (дата обращения: 29.09.2025).
11. ДеМерс М. Н. Географические информационные системы. Основы / пер. с англ. В. Андрианова. М.: Дата+, 1999. 502 с.
12. Технологии семантического веба для поддержки фундаментальных исследований в геологии / И. В. Бычков [и др.] // Электронные библиотеки. 2025. Т. 28, № 4. С. 740–780. DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-4-740-780.
13. GDAL Documentation. URL: <http://gdal.org/en/stable/index.html> (дата обращения: 29.09.2025).
14. Иванов А. Г., Крылов С. А., Дворников А. В. Современные средства и методы обучения по курсу «Геоинформационное картографирование» // Приложение к журналу «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка»: сборник статей по итогам научно-технической конференций. 2009. № 2–1. С. 178–182.

Дата поступления: 19.01.2026

Решение о публикации: 25.02.2026

Spatial Data Integration in Geomodelling and Geoinformation Systems: Contemporary Approaches and Solutions

- Rinat G. Gilvanov** — PhD in Military Sciences, Associate Professor of the Information and Computing Systems Department. Research interests: information systems, virtual and augmented reality, immersive technologies. E-mail: gilvanov1950@mail.ru
- Andrey V. Zabrodin** — PhD in History, Associate Professor of the Information and Computing Systems Department. Research interests: information systems, data analytics, database design, web development, cloud technologies. E-mail: zabrodin@pgups.ru
- Milya R. Nadeeva** — 2nd year Master's Degree Student in 09.04.02 Information Systems and Technologies. Research interests: digital transformation of geological exploration, data integration of geomodelling and GIS systems, semantic interoperability of geospatial data, machine learning in geology, architecture of the digital twin of the deposit. E-mail: milyanadeeva@yandex.ru

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Gilvanov R. G., Zabrodin A. V., Nadeeva M. R. Spatial Data Integration in Geomodelling and Geoinformation Systems: Contemporary Approaches and Solutions, *Intellectual Technologies on Transport*, 2026, no. 1 (45), pp. 81–90. DOI: 10.20295/2413-2527-2026-145-81-90. (In Russian)

Abstract. *This paper addresses the integration of spatial data inside geomodelling and geoinformation systems, a pivotal task in the digital transformation of the oil and gas sector. **Purpose:** a systematic analysis of current approaches to solving this issue, including the use of standard formats, software interfaces, and corporate platforms. **Results:** a comparative analysis and critical evaluation of specialist tools have revealed principal limitations, such as semantic information loss, reliance on specific software versions, high implementation costs, and inadequate support for bidirectional synchronization and automated conflict resolution. These findings indicate the necessity for a revised integration architecture to mitigate these deficiencies. **Practical significance:** the findings offer guidance for developing more efficient geospatial-information exchange mechanisms that can enhance the quality of geological interpretation, shorten decision-making cycles, and optimize interdepartmental collaboration within oil and gas industry. **Discussion:** promising areas of development include adopting open OGC standards, applying machine-learning techniques to automate data conversion, and implementing digital-twin concepts of deposits.*

Keywords: *geographic information system, spatial data, integration, data exchange, geomodelling, Petrel, plugin architecture, digital twin of deposits, hybrid geomodelling*

REFERENCES

1. Programmaya platforma Petrel [Petrel Software Platform], *Schlumberger's official website*. Available at: <http://digital.slb.ru/products/petrel/> (accessed: September 29, 2025). (In Russian)
2. Shutov D.A., Soibov B.S. Primenenie tsifrovyykh dvoynikov v geologii [The Use of Digital Twins in Geology], *Severgeokotekh–2022: materialy XXIII Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii [Severgeokotekh-2022: Proceedings of the XXIII International Scientific Youth Conference]*, Ukhta, Russia, March 16–18, 2022. Ukhta, Ukhta State Technical University, 2022, pp. 229–232. (In Russian)
3. FME Workbench essentials, *ArcGIS Pro*. Available at: <http://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/data/data-interoperability/fme-workbench-essentials.htm> (accessed: September 29, 2025).
4. QGIS Documentation. Available at: <http://docs.qgis.org/3.40/en/docs/index.html> (accessed: September 29, 2025).

5. Kondratiev A.A. Tsifrovaya transformatsiya v neftegazovoy sfere [Digital Transformation in the Oil and Gas Sector], *Vestnik Nauki*, 2023, no. 11 (68), vol. 2, pp. 804–821. (In Russian)
6. Markov N.G. Geoinformatsionnye sistemy predpriyatiy neftegazovoy otrasli: funktsionalnost, arkhitektura i perspektivy razvitiya [Geoinformation Systems for Oil and Gas Enterprises: Functionality, Architecture and Development Prospects], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*, 2017, vol. 328, no. 9, pp. 16–32. (In Russian)
7. Zaynullin R.I., Guzairov M.B. Novye podkhody k khraneniyu i obrabotke bolshikh massivov geodannykh [New Approach to Storing and Processing of Geodata Warehouse], *Innovacii i Investicii*, 2014, no. 12, pp. 164–166. (In Russian)
8. Skvortsov A.V. Geoinformatika: uchebnoe posobie [Geoinformatics: A Textbook]. Tomsk, Tomsk State University Publishing House, 2006, 336 p. (In Russian)
9. Moe A. DataLink for ArcGIS, *Atlassian Confluence*. Published online at October 20, 2015. Available at: <http://geocap.atlassian.net/wiki/spaces/ug/pages/22053150> (accessed: September 29, 2025).
10. Portele C., et al. (eds) OGC API — Features — Part 1: Core corrigendum. Version 1.0.1. Open Geospatial Consortium, 2022. Available at: <http://www.opengis.net/doc/IS/ogcapi-features-1/1.0.1> (accessed: September 29, 2025).
11. DeMers M.N. Geograficheskie informatsionnye sistemy. Osnovy [Fundamentals of Geographic Information Systems]. Moscow, Data+ Publishing House, 1999, 502 p. (In Russian)
12. Cherkashin E.A., et al. Tekhnologii semanticheskogo veba dlya podderzhki fundamentalnykh issledovaniy v geologii [Semantic Web Technologies for Supporting Fundamental Research in Geology], *Elektronnye biblioteki [Russian Digital Libraries Journal]*, 2025, vol. 28, no. 4, pp. 740–780. DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-4-740-780. (In Russian)
13. GDAL Documentation. Available at: <http://gdal.org/en/stable/index.html> (accessed: September 29, 2025).
14. Ivanov A.G., Krylov S.A., Dvornikov A.V. Sovremennye sredstva i metody obucheniya po kursu “Geoinformatsionnoe kartografirovaniye” [Contemporary Resources and Instructional Strategies for the “Geoinformation Mapping“ Course], *Prilozhenie k zhurnalu “Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosemka”: sbornik statey po itogam nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, 2009, no. 2–1, pp. 178–182. (In Russian)

Received: 19.01.2026

Accepted: 25.02.2026