



От картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления недропользованием: мировые практики, российские ограничения и экономические эффекты

Н.Р. Камынина¹✉, Д.С. Логинов¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
Москва, Россия
✉ rector@miigaik.ru

цитирование

Камынина Н.Р., Логинов Д.С. От картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления недропользованием: мировые практики, российские ограничения и экономические эффекты // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 1. С. 91–109. DOI:10.30533/GiA-2026-006.

ключевые слова

недропользование, картографическое обеспечение, геоинформационный сервис, пространственные данные, геолого-геофизические данные, цифровой двойник, управленческо-экономический эффект, цифровая трансформация

аннотация

В данной статье представлено обоснование перехода от картографического обеспечения недропользования к геоинформационным сервисам управления с позиций управленческого цикла недропользования как капиталоемкой и территориально распределенной сферы хозяйственной деятельности. С опорой на положения о цифровизации картографического обеспечения и на основе анализа зарубежных научных и отраслевых источников выделены документированные проблемные зоны управленческого цикла недропользования: трудоемкий доступ к геонаучным данным, недостаточная прослеживаемость геолого-геофизической информации, накопление геологической и ресурсной неопределенности, перенос ресурсной неопределенности в финансово-экономическую оценку, разрыв между планированием, исполнением и отчетностью, а также недостаточная зрелость платформенной интеграции и цифровых двойников. Отмечена роль геоинформационных решений как инструментов устранения выделенных проблемных зон. Систематизированы классы зарубежных и отечественных геоинформационных решений, показана их функциональная роль в устранении указанных проблемных зон. Сформирована технологическая карта отечественных решений, и предложена целевая модель перехода к сквозному сервисному контуру геоинформационного управления недропользованием, который представлен двумя самостоятельными уровнями

государственных данных и прикладных отраслевых решений, обеспечивающих геоинформационную поддержку работы с горно-геологическими данными, повышение надежности информации, уменьшение инвестиционных рисков и рост повторного использования накопленных данных.

1 Введение

Недропользование относится к числу капиталоемких и территориально распределенных сфер хозяйственной деятельности, в которых качество управленческих и производственно-технологических решений в значительной степени зависит от полноты, сопоставимости и доступности пространственных, геологических и геофизических данных. Выбор участков геолого-разведочных работ, планирование полевых и камеральных этапов, оценка инфраструктурной доступности, контроль выполнения работ, анализ архивной изученности территории и последующее принятие решений по освоению недр предполагают постоянное обращение к пространственно привязанной информации. В этих условиях ограниченная доступность данных, несогласованность форматов, дублирование материалов, разрыв между архивами, геоинформационными проектами и управленческой аналитикой повышают трудоемкость подготовки решений и усиливают пространственно обусловленную неопределенность недропользовательских процессов.

Традиционно работа с пространственными данными в недропользовании рассматривалась преимущественно в логике картографического обеспечения, ориентированного на подготовку картографических материалов, тематических карт и иных результатов картографического производства. Однако развитие цифровых картографических и геоинформационных продуктов, веб-картографии, геосервисов, трехмерного (3D) моделирования, облачных платформ и инструментов пространственной аналитики существенно изменило состав результатов, технологическую логику и управленческое значение таких решений. В современных условиях карта перестает быть единственным или конечным результатом работы с пространственными данными, наряду с этим все большее значение приобретают геоинформационные проекты, базы пространственных данных, веб-картографические сервисы, цифровые модели и платформенные решения, обеспечивающие не только визуализацию, но и поиск, сопоставление, анализ, передачу и контроль использования пространственной информации.

Современные цифровые картографические и геоинформационные продукты вступают в противоречие с прежними методологическими принципами, в рамках которых картографическое обеспечение рассматривалось преимущественно с позиций подготовки карт и атласов [1]. Важным для настоящей статьи является и то, что недропользование понимается как стратегическая сфера научно-технической деятельности с высоким потенциалом использования пространственных данных, а модернизация картографического обеспечения связывается с созданием единого геоинформационного пространства, разработкой баз пространственных данных, геоинформационных проектов, веб-сервисов и цифровых картографических продуктов для сопровождения геолого-разведочных работ.

Вместе с тем в существующих исследованиях и отраслевых материалах переход к цифровым картографическим и геоинформационным продуктам чаще раскрывается через технологическую эволюцию инструментов: развитие геоинформационных систем (ГИС), веб-картографии, баз пространственных данных, 3D-моделирования и специализированного геонаучного программного обеспечения [2, 3]. Менее разработанным остается управленческо-экономический аспект данного перехода: какие именно потери, задержки и риски отраслевого цикла сокращаются при переходе от картографического продукта к сервисной модели работы с пространственными и геолого-геофизическими данными.

В рамках настоящей статьи данный разрыв рассматривается через параметры управленческого цикла недропользования: сроки доступа к геолого-геофизической

информации; трудоемкость обработки и сопоставления данных; риск дублирования исследований; прослеживаемость полевых и камеральных этапов; качество проектных решений; издержки, возникающие вследствие неполной или несогласованной пространственной информации при выборе территорий, маршрутов, объектов работ и сценариев дальнейшего освоения недр.

Целью статьи является обоснование перехода от картографического обеспечения недропользования к геоинформационным и веб-картографическим сервисам управления, а также определение на основе анализа зарубежных и российских практик работы с пространственными и геолого-геофизическими данными управленческо-экономических эффектов такого перехода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- раскрыть методологическую основу перехода от картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления;
- систематизировать глобальные технологические тренды развития геоинформационных, веб-картографических и геонаучных платформ в недропользовании;
- выделить документированные проблемные зоны управленческого цикла при работе с пространственными и геолого-геофизическими данными;
- соотнести указанные проблемные зоны с классами зарубежных и отечественных технологических решений;
- сформировать технологическую карту отечественных решений и определить ограничения их интеграции в сквозной сервисный контур управления недропользованием.

Научная новизна статьи заключается в развитии положений о картографическом обеспечении недропользования в управленческо-экономической плоскости. В отличие от подходов, ограничивающихся техническим описанием ГИС, веб-картографических решений и цифровых картографических продуктов, в данном исследовании предлагается рассматривать геоинформационные сервисы через их влияние на параметры подготовки и реализации недропользовательских решений: трудоемкость работы с геолого-геофизическими данными; скорость доступа к пространственной информации; снижение дублирования исследований; контролируемость полевых и камеральных этапов; снижение пространственно обусловленной неопределенности и повышение обоснованности решений по изучению и освоению недр.

2 Материалы и методы

В основу исследования положена теоретико-методологическая основа перехода от картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления недропользованием. Методологическая постановка вопроса о переходе от картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления недропользованием требует предварительного разграничения трех исследовательских уровней:

- 1) картографического обеспечения как специальной области создания и использования картографических материалов, цифровых картографических продуктов и геоинформационных моделей;
- 2) технологической организации работ с пространственными и геолого-геофизическими данными (ГИС-проекты, базы пространственных данных, веб-картографические сервисы, инструменты пространственного анализа, цифровые модели и специализированные программные комплексы);
- 3) управленческо-экономического характера (каким образом указанные подходы изменяют параметры подготовки, реализации недропользовательских решений и контроля над ними).

По нашему мнению, картографическое обеспечение научно-технической деятельности должно рассматриваться не как простой набор картографических результатов, а как система, включающая цифровые картографические

и геоинформационные продукты, пространственные данные, методы картографии и геоинформатики, технические средства и процедуры их применения в прикладных задачах. Это позволяет выйти за пределы традиционного понимания картографического обеспечения как подготовки карт, атласов или тематических материалов. Продолжение прямого использования традиционного принципа без адаптации к современному многообразию результатов картографического обеспечения усложняет решение выявленной научной проблемы, а сохранение прежнего подхода может привести лишь к смене названия без изменения содержания и к консервации несоответствия современным требованиям [1].

Переход от картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления не следует понимать как отказ от картографической методологии. Напротив, речь идет о расширении ее прикладного контура. Картографическое обеспечение сохраняет значение как способ пространственной организации, анализа и визуализации данных, однако в цифровой среде оно все чаще реализуется через сервисные и платформенные формы. Это принципиально важно для недропользования, поскольку геолого-разведочные и недропользовательские процессы зависят не только от итогового картографического материала, но и от того, насколько быстро и полно участники проекта получают доступ к исходным, промежуточным и итоговым пространственным данным.

Это положение имеет прямое управленческо-экономическое значение. Если ГИС-проект выполняет функции рабочего пространства, хранилища данных, формы доступа и средства подготовки новых продуктов, то он влияет не только на технологию картографического производства, но и на организацию отраслевого управленческого цикла. В частности, изменяются условия поиска и повторного использования геолого-геофизических данных, сопоставления материалов разных этапов работ, контроля актуальности пространственной информации, передачи данных между исполнителями, подрядчиками, заказчиками и отраслевыми специалистами. Следовательно, предметом анализа становятся не только состав и качество геоинформационного продукта, но и его влияние на трудоемкость, сроки, риск дублирования работ и прослеживаемость решений.

В недропользовании это особенно существенно из-за многоэтапности и высокой стоимости геолого-разведочных работ. Пространственные данные применяются при проектировании сети наблюдений, выполнении полевых работ, обработке и интерпретации результатов, подготовке отчетных материалов, оценке перспектив территории, формировании цифровых моделей и принятии последующих решений по освоению недр. Единое геоинформационное пространство может использоваться, в частности, для верификации положения проектной сети геофизических наблюдений, уточнения данных о геологическом строении, автоматизации процессов цифрового картографического производства геофизических карт и подготовки рекомендаций по проектированию новых сетей наблюдений. С управленческой точки зрения это позволяет рассматривать геоинформационные сервисы не как вспомогательную визуализацию, а как инструмент снижения пространственно обусловленной неопределенности в недропользовательских решениях.

Такая неопределенность возникает в случаях, когда данные о территории, геологическом строении, инфраструктуре, ранее выполненных исследованиях, проектных сетях наблюдений и результатах интерпретации разрознены, труднодоступны или представлены в несопоставимых форматах. В этих условиях ошибки выбора территории, маршрута, сети наблюдений, состава работ или проектного решения могут приводить к дополнительным затратам, повторным исследованиям, увеличению сроков и снижению качества последующих решений.

Следовательно, с точки зрения управленческо-экономического контура цифровые картографические и геоинформационные продукты в недропользовании необходимо оценивать не только по их соответствию картографическим и технологическим требованиям, но и по их способности изменять параметры отраслевого процесса. К таким параметрам относятся время доступа к данным, объем ручной обработки и сопоставления материалов, доля повторно

используемых данных, количество дублирующих операций, скорость подготовки аналитических материалов, качество контроля полевых и камеральных этапов, а также возможность последующего аудита принятых решений.

Результаты анализа мировой практики по данному направлению показывают, что развитие геоинформационных сервисов в недропользовании уже вышло за пределы классического картографирования. Крупнейшие технологические компании предлагают решения для пространственной аналитики, геологического и геофизического моделирования, управления данными, операционного контроля, планирования добычных и разведочных процессов, интеграции отраслевых рабочих процессов и снижения неопределенности при принятии решений. Так, ГИС-платформы используются в течение всего жизненного цикла геологоразведки и последующего восстановления территорий; специализированное геонаучное программное обеспечение применяется для 3D-моделирования, интерпретации геологических данных и оценки ресурсов; цифровые платформы для управления данными разведки и добычи полезных ископаемых (также upstream-платформы, *англ.* upstream — «связанный с разведкой и добычей полезных ископаемых») [4] объединяют информацию, приложения и команды в единой среде совместной работы^{1,2,3}. Эти процессы отражают более общий переход от локального использования картографических материалов к платформенной организации пространственных данных в недропользовании.

В России данное направление также приобретает институциональное значение. Развитие Национальной системы пространственных данных (НСПД), цифровизация геологической информации, деятельность Росгеолфонда, формирование государственных информационных ресурсов о недрах и развитие отечественных ГИС-решений создают предпосылки для перехода к более целостной модели работы с пространственными и геолого-геофизическими данными [5, 6]. При этом сохраняются ограничения, связанные с фрагментацией данных, неоднородностью их качества и форматов, недостаточной интеграцией архивных, производственных и управленческих контуров, а также необходимостью оценки экономической результативности внедряемых цифровых решений.

Таким образом, переход от картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления недропользованием может быть представлен как методологическое расширение исходной категории. На уровне картографии и геоинформатики он выражается в развитии цифровых картографических продуктов, ГИС-проектов, баз пространственных данных, веб-сервисов и моделей. На уровне организации недропользовательских процессов он проявляется в создании единой среды доступа к геолого-геофизической информации, ее анализа, передачи и повторного использования. На уровне управленческо-экономического анализа он раскрывается через влияние этих решений на трудоемкость, сроки, риски, дублирование работ и качество решений по изучению и освоению недр. Указанный переход обобщен в табл. 1, на основе которой можно сделать следующий вывод: картографическое обеспечение задает методологическую основу работы с пространственными данными, геоинформационные сервисы развивают эту основу в направлении цифровой организации отраслевых процессов, а пространственные данные становятся фактором снижения неопределенности и издержек недропользовательских решений.

1 GIS in Mining: Application of GIS in Mineral Exploration / Esri. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.esri.com/en-us/industries/mining/overview> (дата обращения: 17.01.2026).

2 Mining & Mineral Exploration, Permitting & Land-Use Planning / Esri. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.esri.com/en-us/industries/mining/segments/exploration> (дата обращения: 17.01.2026).

3 Seequent. Mining Geoscience Software Solutions. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.esri.com/en-us/industries/earth-sciences/disciplines/geoscience> (дата обращения: 17.01.2026).

Таблица 1 ✓

Переход от картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления недропользованием

Table 1

Transition from cartographic support to geoinformation services for subsoil use management

Критерий	Картографическое обеспечение	Геоинформационные сервисы управления	Управленческо-экономический смысл
Основной результат	Карты, цифровые карты, картографические материалы	ГИС-проекты, базы пространственных данных, веб-сервисы, цифровые модели	Результат оценивается не только по качеству представления данных, но и по влиянию на процесс подготовки решений
Функция	Визуализация и систематизация пространственной информации	Поиск, интеграция, анализ, передача и актуализация данных	Сокращение времени доступа к данным и снижение трудоемкости их сопоставления
Технологическая основа	Цифровое картографическое производство и ГИС-инструменты	Единое геоинформационное пространство, веб-картография, специализированные программные комплексы	Формирование общей среды работы заказчика, подрядчика и отраслевых специалистов
Масштаб применения	Обеспечение отдельных этапов геолого-геофизических исследований	Сопровождение полного цикла: от исходных данных до контроля и повторного использования результатов	Снижение дублирования работ и повышение прослеживаемости решений
Результативность	Полнота, точность, содержательность и пригодность картографического продукта	Доступность, актуальность, сопоставимость, скорость обработки и повторное использование данных	Оценка эффекта через сроки, трудозатраты, риски, ошибки и качество решений

3 Результаты и обсуждение

3.1 Анализ глобальных технологических трендов развития геоинформационных сервисов в недропользовании

Анализируя глобальные технологические тренды, целесообразно представлять их не как перечень новых программных инструментов, а как последовательное расширение функции пространственных данных в недропользовании. В этой логике пространственные данные проходят несколько уровней использования: от картографической визуализации к пространственной аналитике, от аналитики к геологическому 3D-моделированию, от моделирования к ресурсной и проектной оценке, от проектной оценки к операционному контролю, а далее — к платформенной интеграции данных, моделей и участников проекта. Такой подход позволяет связать технологические тренды не с общей риторикой цифровизации, а с конкретными изменениями в управленческом цикле недропользования. По данным компании Grand View Research, мировой рынок геопрограммной аналитики оценивался в 102,67 млрд долл. США в 2025 году и, по прогнозу агентства, может достигнуть 234,01 млрд долл. США к 2033 году при среднегодовом темпе роста 10,4 % [7]. Организация Mordor Intelligence дает близкую оценку: 93,52 млрд долл. США в 2025 году, 108,03 млрд долл. США в 2026 году и 196,59 млрд долл. США к 2031 году при среднегодовом темпе роста 12,72 %⁴.

Выделенные ниже тренды рассматриваются как взаимосвязанные направления трансформации работы с пространственными и геолого-геофизическими

4 Morley C., Snowden D.V., Day D. Financial Impact of Resource/Reserve Uncertainty // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 1999. Vol. 99. Iss. 6. P. 293–301.

данными. Их общая логика состоит в том, что геоинформационные решения постепенно выходят за пределы картографического отображения и начинают выполнять функции аналитической, модельной, операционной и платформенной поддержки решений.

1. Переход от картографической визуализации к пространственной аналитике жизненного цикла недропользования

В современных практиках добычи и георазведки ГИС используется не только для построения карт, но и для сопоставления геологических, инфраструктурных, экологических, кадастровых, транспортных и производственных данных. В результате пространственная информация включается в процессы планирования разведочных работ, оценки доступности территорий, анализа ограничений, мониторинга выполнения операций и последующей рекультивации [8]. Другими словами, в управленческо-экономическом локусе это означает, что геоинформационные решения все больше начинают влиять на качество решений не на одном отдельном этапе, а на протяжении всего цикла подготовки, реализации и контроля работ⁵.

2. Интеграция ГИС с геологическим и геофизическим моделированием

Для недропользования принципиально важно не только определить положение объекта на карте, но и построить представление о его подповерхностной структуре, ресурсном потенциале, неопределенности данных и возможных сценариях дальнейшего изучения, поэтому в мировой практике возрастает значение специализированного геонаучного программного обеспечения, ориентированного на 3D-моделирование, интерпретацию геологических данных, оценку ресурсов и совместную работу специалистов разных профилей [9]. Такой переход меняет функциональное назначение геоинформационных решений, они становятся не только средством пространственного отображения, но и инструментом проверки гипотез о строении недр, сопоставления интерпретаций и подготовки более обоснованных решений по дальнейшим работам.

3. Развитие платформенной организации данных

Крупные поставщики цифровых решений для нефтегазового и горнодобывающего сектора все чаще предлагают не отдельные программные продукты, а платформы, объединяющие данные, приложения, модели, вычислительные ресурсы и команды специалистов. Такая архитектура отвечает характеру недропользовательских процессов, в которых результаты полевых работ, архивные материалы, геологические модели, экономические оценки и проектные решения должны быть доступны разным участникам в согласованной цифровой среде. Экономическое значение платформенного подхода проявляется в сокращении времени на поиск и согласование данных, снижении потерь информации при передаче между этапами работ и повышении воспроизводимости аналитических процедур.

4. Переход от геоинформационного анализа к операционному контролю

В горнодобывающей промышленности цифровые решения все чаще связывают пространственные данные с данными о технике, персонале, производительности, безопасности, состоянии инфраструктуры и ходе выполнения работ. Это позволяет использовать геопространственные данные не только при проектировании или анализе территории, но и при текущем управлении производственными процессами [10]. Для недропользования это особенно важно, поскольку полевые и производственные операции имеют выраженную пространственную структуру, связаны с перемещением техники и персонала, зависят от природных, инфраструктурных и технологических ограничений.

5 Delfi Digital Platform / SLB. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.slb.com/products-and-services/delivering-digital-at-scale/software/delfi> (дата обращения: 17.01.2026).

5. Применение искусственного интеллекта, машинного обучения и облачных вычислений при работе с пространственными, геологическими и геофизическими данными

В этой области искусственный интеллект не заменяет геолога, геофизика или картографа, а используется для повышения скорости обработки данных, выявления закономерностей, классификации объектов, анализа изображений, интерпретации больших массивов наблюдений и поддержки сценарной оценки. В управленческо-экономическом аспекте значение таких решений состоит не в самом факте применения искусственного интеллекта, а в возможности сокращения времени аналитического цикла, уменьшения трудоемкости рутинных операций и повышения качества предварительной оценки территорий или объектов.

6. Повышение роли совместной работы и межфункционального доступа к данным

Недропользовательские проекты предполагают участие геологов, геофизиков, картографов, инженеров, проектировщиков, экономистов, подрядных организаций, заказчиков и регуляторов. При разобщенности данных каждый участник работает с собственной версией информации, что увеличивает риск несогласованности решений, повторной подготовки материалов и ошибок при передаче данных. Геоинформационные сервисы, веб-платформы и облачные среды позволяют снизить остроту этой проблемы за счет общего доступа к актуальным наборам данных, картографическим слоям, моделям и результатам анализа.

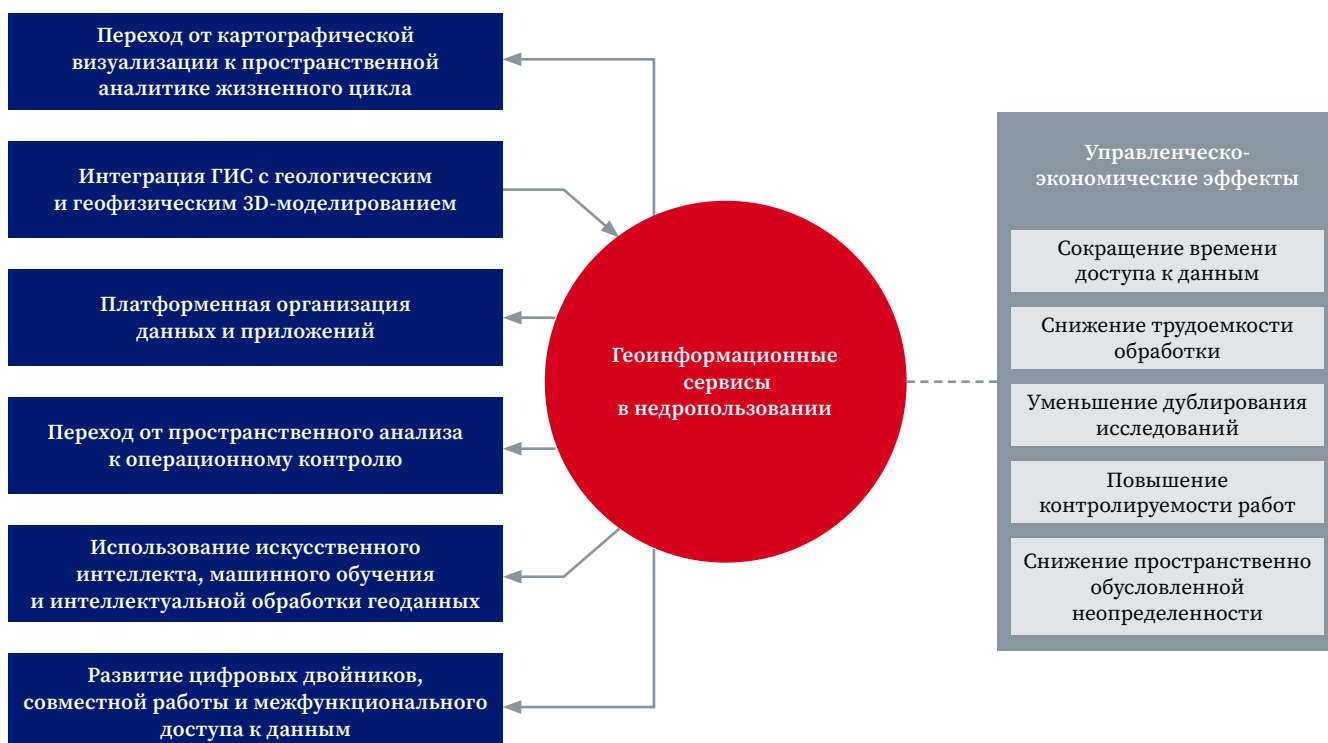
Глобальные тренды показывают не простое расширение набора цифровых инструментов, а изменение роли пространственных данных в недропользовании. На первом уровне они обеспечивают визуализацию и пространственную консолидацию информации, на втором становятся основой 3D-моделирования и ресурсной интерпретации, на третьем включаются в планирование и операционный контроль, на четвертом формируют платформенную среду совместной работы и повторного использования данных. Именно эта логика позволяет далее перейти от анализа технологических трендов к выделению проблемных зон управленческого цикла, которые с помощью данных решений можно устранять [11, 12]. На рис. 1 схематично представлены описанные выше тренды и их эффекты.

Рис. 1 ✓

Схема технологических трендов и управленческо-экономических эффектов

Fig. 1

Scheme of technological trends and managerial and economic effects



3.2 Проблемные зоны управленческого цикла недропользования при работе с пространственными и геолого-геофизическими данными

В рамках данного исследования целесообразно выделить такие проблемные зоны управленческого цикла, как трудоемкость обработки данных; неопределенность интерпретации; риск дублирования работ и потери качества проектно-инвестиционных оценок; устойчивые нарушения связности данных моделей, процедур анализа и контуров принятия решений, которые увеличивают сроки подготовки решений, и др.

Первая проблемная зона проявляется в том, что накопление геонаучных данных опережает зрелость механизмов управления ими. В частности, данная проблема подтверждается результатами отраслевого исследования компании Seequent, основанного на 709 ответах представителей 320 организаций из 91 страны. Согласно данному отчету⁶, 83 % респондентов рассматривают управление геонаучными данными как критически важную проблему для организации, более 80 % организаций относят ее к числу пяти наиболее значимых вопросов, однако менее трети используют сформированный фреймворк управления данными. При этом 35 % специалистов тратят более 30 % рабочего времени на задачи управления данными, только 1 из 10 оценивает доступ к данным в организации как крайне простой, а 40 % респондентов называют контроль версий главным вызовом при совместной работе с активными проектными данными. Следовательно, исходным ограничением является не дефицит данных сам по себе, а высокая организационная стоимость приведения их в состояние, пригодное для анализа, интерпретации и повторного использования.

Вторая проблемная зона связана с ограниченной видимостью, прослеживаемостью и надежностью геолого-геофизических данных (G&G-данные — комплексная геологическая и геофизическая информация, используемая в нефтегазовой отрасли, горном деле и инженерных изысканиях) в upstream-процессах. В отчете IDC / S&P Global⁷ показано, что геологи и геофизики работают с данными, поступающими от разных поставщиков и внутренних источников, а недостаточная зрелость процессов загрузки, валидации и передачи данных приводит к проблемам полноты и точности. В исследовании зафиксировано, что 60 % upstream-организаций не имеют эффективных возможностей обмена данными между релевантными подразделениями и командами; 40 % пользователей лишь в слабой или умеренной степени уверены в полноте и надежности используемых G&G-данных; 58 % пользователей жалуются на отсутствие видимости происхождения данных (или только частичную видимость). Иными словами, в недропользовании качество решения зависит не только от наличия геолого-геофизических материалов, но и от возможности установить их происхождение, полноту, актуальность и пригодность для конкретной аналитической задачи.

Третья проблемная зона возникает на уровне геологической интерпретации и минерально-ресурсной оценки. В обзорном исследовании О.Т. Линди (O.T. Lindi) и его соавторов деятельность по оценке минеральных ресурсов рассматривается как совокупность взаимосвязанных этапов, на каждом из которых неопределенность может возникать, накапливаться и передаваться в последующие расчеты. Авторы сформировали базу анализа по 87 источникам за 1991–2024 годы и систематизировали методы количественной оценки неопределенности в минерально-ресурсной оценке [13]. Это позволяет рассматривать

⁶ Geoscience Data Management Report – 2021 and Beyond / Seequent. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.seequent.com/community/research-reports/geoscience-data-management-report-2021/> (дата обращения: 17.01.2026).

⁷ Verma G. Exploring the Geoscience Data Management Landscape / IDC, S&P Global Commodity Insights, 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.spglobal.com/content/dam/spglobal/mi/en/documents/secure/Exploring-the-Geoscience-Data-Management-Landscape.pdf> (дата обращения: 17.01.2026).

геологическое и ресурсное моделирование не как технический этап обработки данных, а как узел передачи неопределенности от исходных наблюдений к последующим проектным и инвестиционным решениям.

Четвертая проблемная зона состоит в трансляции геологической и ресурсной неопределенности в финансовую оценку проекта. К. Морли (C. Morley) с соавторами⁸ показал, что при построении финансовой модели горного проекта значительное внимание обычно уделяется капитальным и операционным затратам, ценовым прогнозам и ставкам дисконтирования, тогда как неопределенность базового входа, т. е. оценки ресурсов и запасов, часто недооценивается. Авторы выделяют четыре процесса, влияющих на ресурсно-резервную неопределенность: определение промышленных руд, геологическую интерпретацию, оценку ресурсов, оценку запасов руды и планирование горных работ. По результатам моделирования исследователи показывают, что реалистичные диапазоны неопределенности способны изменять оценку потенциальной выручки на 30 %. Следовательно, недостаточная работа с геологической неопределенностью имеет уже не только технический, но и прямой финансово-экономический эффект.

Пятая проблемная зона связана с разрывом между планированием, исполнением и отчетностью. В отраслевой аналитике данное ограничение описывается через разрозненность данных в цепочке «от рудника до рынка» и недостаточную интеграцию планирующих, операционных и отчетных систем. Такое состояние приводит к операционным неэффективностям, поскольку данные о планах, фактическом ходе работ, производственных отклонениях и итоговой отчетности не формируют единого управленческого контура⁹. В научной литературе о Mining 4.0, в частности в исследовании С. Жиронкина и О. Жиронкиной, данный вывод согласуется с представлением о том, что цифровая трансформация горнодобывающей промышленности затрагивает не отдельные функции, а всю взаимосвязь процессов разведки, добычи, транспортировки и первичной переработки полезных ископаемых [9]. Следовательно, проблемой становится не отсутствие отдельных цифровых инструментов, а недостаточная связность стадий отраслевого цикла.

Шестая проблемная зона относится к платформенной интеграции и цифровым двойникам. Ц. Цюй (J. Qu) и соавторы, делая комплексный обзор, отмечают, что внедрение цифровых двойников в минерально-сырьевом секторе остается медленным вследствие геологической непредсказуемости, сложности интеграции устаревших информационных систем, высокой стоимости, дефицита компетенций, требований к кибербезопасности и отсутствия стандартов [8]. В свою очередь, М.Е. Али (M.E. Ali) и соавторы показывают, что пространственные цифровые близнецы представляет собой не отдельную модель объекта, а многослойную цифровую архитектуру, включающую сбор данных, управление пространственными базами данных, аналитикой больших данных, промежуточное программное обеспечение ГИС, карты и программный интерфейс приложения (*англ.* Application Programming Interface, API), визуализацию, выполнение запросов, интеллектуальный анализ данных, моделирование и прогнозирование [14]. Следовательно, внедрение цифровых двойников в недропользовании [15] ограничивается не только качеством моделей, но и зрелостью всей инфраструктуры данных, сервисов, стандартов и компетенций.

Сопоставление приведенных источников позволяет выделить шесть документированных проблемных зон управленческого цикла недропользования:

- 1) высокую трудоемкость управления геонаучными данными при недостаточной зрелости плана организации работы с ними;
- 2) ограниченную видимость, прослеживаемость и надежность G&G-данных;

⁸ Morley C., Snowden D.V., Day D. Financial Impact of Resource/Reserve Uncertainty // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 1999. Vol. 99. Iss. 6. P. 293–301.

⁹ Breaking Down Data Silos: The Path to Mining Operational Excellence // International Mining, 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://im-mining.com/2025/02/24/breaking-down-data-silos-the-path-to-mining-operational-excellence/> (дата обращения: 17.01.2026).

- 3) накопление неопределенности в геологической интерпретации и минерально-ресурсной оценке;
- 4) перенос ресурсной неопределенности в финансово-экономическую оценку проекта;
- 5) разрыв между планированием, исполнением и отчетностью;
- 6) недостаточную зрелость платформенной интеграции и цифровых двойников.

Тем самым проблематика геоинформационных сервисов управления недропользованием сводится не к расширению набора картографических продуктов, а к устранению разрывов между данными, моделями, операциями и экономически значимыми решениями.

3.3 Геоинформационные решения как инструменты устранения проблемных зон управленческого цикла недропользования

После выявления проблемных зон становится возможным переход от констатации отраслевых ограничений к анализу того, какие классы геоинформационных, геонаучных и платформенных решений способны снижать соответствующие разрывы. В данной логике технологические решения рассматриваются не как самостоятельные программные продукты, а как инструменты воздействия на конкретные параметры управленческого цикла: доступность и качество данных, прослеживаемость, неопределенность интерпретации, связь модели с ресурсной и экономической оценкой, контроль исполнения и повторное использование результатов.

Современные геоинформационные сервисы в недропользовании выполняют несколько управленческих функций: сокращают время доступа к пространственным и геолого-геофизическим данным, повышают прослеживаемость происхождения и версий данных, уменьшают интерпретационную неопределенность, связывают геологическую модель с ресурсной и экономической оценкой, обеспечивают операционный контроль, создают основу для повторного использования данных и формирования цифровых двойников [15]. В связи с этим их результативность должна оцениваться не только по техническим характеристикам программного продукта, но и по тому, какой разрыв управленческого цикла они устраняют. В табл. 2 охарактеризованы основные технологические решения геоинформационных сервисов от ведущих глобальных поставщиков, а также дефекты описанных выше проблемных зон, которые устраняются благодаря этим решениям.

Таблица 2 ➔

Соотнесение проблемных зон недропользования с классами геоинформационных решений

Table 2

Correlating problematic subsoil use zones with classes of geoinformation solutions

Проблемная зона	Класс решений	Примеры	Основной эффект
Трудоемкий доступ и подготовка данных	ГИС-платформы и управление геоданными	ArcGIS (Esri)	Сокращение времени работы с данными
Низкая прослеживаемость и связность данных	Платформы интеграции и совместной работы	ArcGIS, Geoservice Exploration	Повышение качества и надежности данных
Неопределенность геологической интерпретации	Геонаучное программное обеспечение и 3D-моделирование	Leapfrog (Seequent)	Повышение обоснованности геологических решений
Ресурсная неопределенность при оценке проектов	Оценка минерально-сырьевой базы и планирование геолого-разведочных работ	Seequent, Datamine	Снижение инвестиционных рисков
Разрыв между планированием и исполнением	Операционные платформы планирования горных работ	Mining (Hexagon), Mine Operations (Esri)	Повышение контроля за работами и их эффективности
Недостаточная интеграция данных и моделей	Платформенные решения и цифровые двойники	Delfi (SLB)	Улучшение координации и ускорение принятия решений

В табл. 2 показано, что на ранних этапах ключевое значение имеют ГИС-платформы, обеспечивающие доступ к данным, их подготовку и первичную пространственную консолидацию. На этапах интерпретации и оценки ресурсов возрастает роль геонаучного программного обеспечения, 3D-моделирования и оценки ресурсов, поскольку именно здесь пространственные и геолого-геофизические данные трансформируются в основание для проектных и инвестиционных решений. На стадиях исполнения и контроля работ на первый план выходят операционные платформы планирования горных работ, связывающие пространственные данные с фактическим ходом производственных процессов. Наконец, платформенные решения и цифровые двойники обеспечивают интеграцию данных, моделей и участников проекта, снижая разрыв между отдельными этапами недропользовательского цикла. Основным эффектом таких решений проявляется не в самом факте цифровизации картографических или геолого-геофизических материалов, а в сокращении времени работы с данными, повышении их надежности, снижении неопределенности интерпретации, уменьшении инвестиционных рисков, усилении контроля исполнения и ускорении принятия решений.

3.4 Технологическая карта отечественных решений в контуре геоинформационного управления недропользованием

Российскую практику развития геоинформационных решений в недропользовании целесообразно рассматривать как два взаимосвязанных контура — институциональный и прикладной. Институциональный контур представлен государственными системами и организациями, обеспечивающими накопление, хранение, учет и предоставление пространственной и геологической информации. Прикладной контур образуют отечественные ГИС, горно-геологические информационные системы, решения для моделирования, подсчета запасов, планирования горных работ, полевого сбора данных и управления горно-геологической информацией.

Институциональный контур включает НСПД, Единый фонд геологической информации о недрах (ЕФГИ), Росгеолфонд, научно-производственную базу цифрового геологического картографирования и служит созданию базовых условий для преодоления фрагментации пространственных и геологических данных. Так, ЕФГИ ориентирован на учет, поиск, накопление, безопасное хранение и предоставление первичной и интерпретированной геологической информации о недрах, закрывая тем самым инфраструктурный уровень проблем, связанных с доступом, хранением и повторным использованием геолого-геофизических данных [5].

Сопоставление отечественных решений с ранее выделенными проблемными зонами показывает, что российский рынок, несмотря на внешнее давление и санкции, не находится в состоянии технологического вакуума. Напротив, по ключевым участкам недропользовательского цикла существуют функциональные решения: ГИС-поддержка и полевой сбор данных, горно-геологическое моделирование, подсчет запасов, планирование открытых горных работ, управление горно-геологическими данными и элементы операционного контроля. Однако открытые источники позволяют говорить о наличии преимущественно отдельных функциональных компонентов, а не о зрелой интегрированной экосистеме уровня «данные — модель — ресурсная оценка — планирование — исполнение — мониторинг — повторное использование данных».

Проблемная зона	Зарубежный класс решений	Российские решения	Закрываемая функция	Основное ограничение
Доступ и подготовка данных	Геоинформационные системы и системы управления пространственными данными	НСПД, ЕФГИ, ГИС «ЦИКЛОН»	Поиск, хранение, первичная организация данных	Разрыв между фондами, геоинформационными и производственными системами
Связность и прослеживаемость данных	Платформы совместной работы с данными	ЕФГИ, Росгеолфонд, платформа «МАГМА Минерал»	Учет, передача, совместная работа	Слабая интеграция с проектным и операционным контуром
Геологическая интерпретация	Программное обеспечение геологического 3D-моделирования	Платформы «ГЕОМИКС Геология», «МАГМА Гео», ГИС INTEGRO	Каркасные и блочные модели	Необходимость связи с ресурсной и экономической оценкой
Ресурсная оценка и планирование	Программное обеспечение ресурсной оценки и планирования работ	ГЕОМИКС, МАЙНФРЭЙМ, система «МАГМА План»	Подсчет запасов, сценарное планирование	Недостаточность открытых данных о финансово-инвестиционной интеграции
Исполнение работ и контроль за ними	Операционные платформы планирования горных работ	МАЙНФРЭЙМ, система «МАГМА Контроль», ГИС «ЦИКЛОН»	Диспетчеризация, полевой сбор, контроль	Отсутствие подтвержденного сквозного контура «от рудников до рынка»
Интеграция данных и моделей	Цифровые двойники и среда для совместной работы с данными	Платформа «МАГМА Минерал», ГИС «ЦИКЛОН»	Управление данными, моделями и взаимодействием	Отсутствие зрелого открыто подтвержденного аналога SLB Delfi / Seequent Evo

Таблица 3

Технологическая карта отечественных решений в контуре геоинформационного управления недропользованием

Table 3

Technological chart of domestic solutions within contour of subsoil use geoinformation control

В табл. 3, составленной авторами на основе ряда источников^{10,11,12,13}, представлена технологическая карта отечественных решений в контуре геоинформационного управления недропользованием с характеристикой основных ограничений.

3.5 Авторская модель перехода к сквозному сервисному контуру геоинформационного управления недропользованием

На рис. 2 отражена авторская интерпретация текущего и целевого состояния отечественного контура геоинформационного управления недропользованием. В левой части показано текущее состояние, характеризующееся наличием двух относительно самостоятельных уровней: государственного контура данных и прикладных отраслевых решений. Государственный контур представлен НСПД, ЕФГИ и Росгеолфондом, прикладной — отечественными программными решениями, обеспечивающими отдельные функции ГИС-поддержки, геологического моделирования, планирования и работы с горно-геологическими данными. Однако ключевое ограничение состоит в том, что эти элементы пока не образуют в полной мере сквозной управленческий контур: данные, модели, планирование, исполнение, мониторинг и экономическая оценка остаются связаны фрагментарно.

Целевая модель предполагает переход от функциональной разобщенности к интегрированному сервисному контуру, в котором государственные данные, корпоративные ГИС, горно-геологические модели, ресурсная оценка, планирование, исполнение, мониторинг и повторное использование данных объединены в единую управленческую архитектуру.

10 ГЕОМИКС Геология. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geomix.ru/software/geomix/geologija/> (дата обращения: 17.01.2026).

11 МАЙНФРЭЙМ планирование ОГР. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mineframe.ru/majnfrej-m-planirovanie-ogr/> (дата обращения: 17.01.2026).

12 Геология и горное дело / ЦИКЛОН. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyclonegis.ru/industries/mining/> (дата обращения: 17.01.2026).

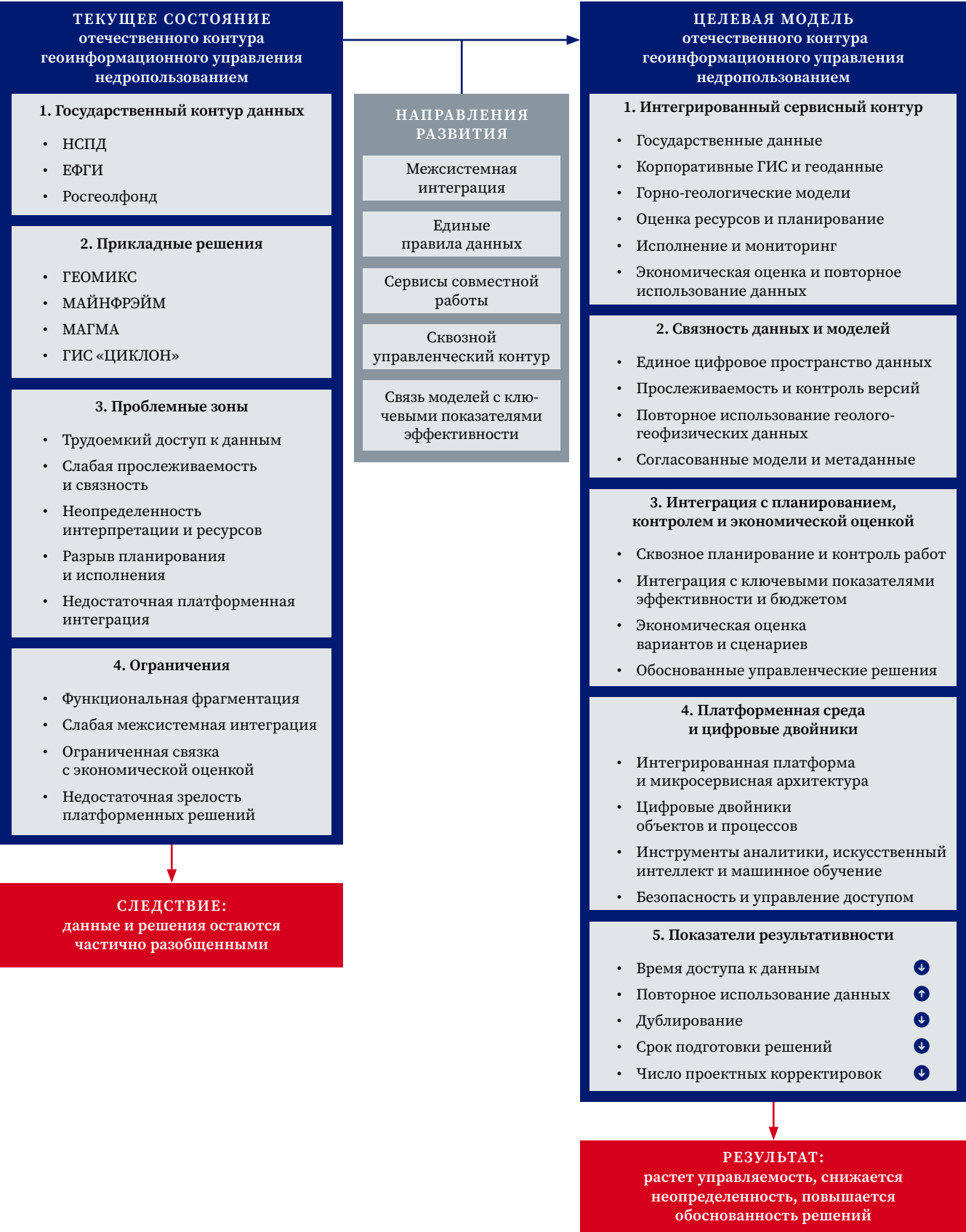
13 МАГМА Минерал: платформа управления горно-геологическими данными. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://digital-horizon.ru/ru/produktyi/magma-mineral.html> (дата обращения: 17.01.2026).

Рис. 2

Текущее состояние и целевая модель отечественного контура геоинформационного управления недропользованием

Fig. 2

Current state and target model of the domestic geoinformation management system for subsoil use



Такой переход необходим не ради цифровизации как таковой, а для устранения ранее выявленных проблемных зон: трудоемкого доступа к данным, слабой прослеживаемости, неопределенности интерпретации, разрыва между планированием и исполнением, недостаточной платформенной интеграции и слабой связи моделей с экономической оценкой проектов.

Переход к целевой модели должен обеспечиваться за счет пяти групп решений. Во-первых, требуется межсистемная интеграция государственных и корпоративных контуров данных, чтобы сведения из НСПД, ЕФГИ, корпоративных ГИС и отраслевых моделей могли использоваться в едином цифровом пространстве. Во-вторых, необходимы общие правила данных, версионности, метаданных и доступа, поскольку без этого невозможно обеспечить прослеживаемость происхождения данных и воспроизводимость аналитических выводов. В-третьих, горно-геологические модели должны быть связаны не только с картографическим и техническим описанием объекта, но и с ресурсной, проектной и финансово-экономической оценкой. В-четвертых, планирование, исполнение и мониторинг следует объединить через сквозные сервисы, позволяющие сопоставлять плановые параметры с фактическим ходом работ. В-пятых, требуется развитие платформенной архитектуры и цифровых двойников, обеспечивающих совместную работу участников, сценарное моделирование, контроль изменений и повторное использование данных.

Авторский вывод состоит в том, что основной резерв развития отечественного контура геоинформационного управления недропользованием находится не только в создании новых программных продуктов, а в интеграции существующих государственных и прикладных решений в единую сервисную архитектуру. Именно такая архитектура позволяет перевести пространственные и геолого-геофизические данные из режима хранения и локального использования в режим управленческого ресурса, влияющего на скорость подготовки решений, качество геологической интерпретации, инвестиционную обоснованность проектов, контролируемость работ и снижение дублирования исследований.

Следовательно, целевая модель должна рассматриваться как управленческо-экономическая модель цифровой трансформации недропользования. Ее результатом является не только повышение технологической зрелости ГИС и горно-геологических систем, но и изменение параметров отраслевого управленческого цикла: сокращение времени доступа к данным, повышение надежности и прослеживаемости информации, снижение неопределенности геологических и ресурсных оценок, уменьшение инвестиционных рисков, усиление контроля исполнения и рост повторного использования накопленных данных.

4 Выводы

Проведенное исследование позволило обосновать, что переход от картографического обеспечения к геоинформационным сервисам управления отражает изменение роли пространственных и геолого-геофизических данных в недропользовании. Они выступают не только информационной основой картографирования, но и ресурсом снижения неопределенности, трудозатрат, дублирования работ и управленческих рисков.

В статье выделены шесть документированных проблемных зон управленческого цикла недропользования, подтвержденных зарубежными научными исследованиями и отраслевыми данными: трудоемкое управление геонаучными данными, недостаточная прослеживаемость G&G-данных, накопление неопределенности в геологической и ресурсной оценке, влияние ресурсной неопределенности на финансовые параметры проекта, разрыв между планированием, исполнением и отчетностью, а также недостаточная зрелость платформенной интеграции и цифровых двойников.

Сопоставление этих проблемных зон с мировыми и отечественными решениями показало, что зарубежная практика развивается в направлении

платформенной интеграции данных, моделей, операций и совместной работы, тогда как российская практика представлена сочетанием государственного инфраструктурного контура и прикладных решений по отдельным стадиям недропользовательского цикла. Ключевое ограничение отечественного направления состоит не в отсутствии технологической базы, а в недостаточной связности государственных фондов данных, корпоративных ГИС, горно-геологических моделей, планирования, операционного контроля и экономической оценки.

Авторская целевая модель предполагает переход к сквозному сервисному контуру геоинформационного управления недропользованием. Практический смысл такой модели состоит в интеграции НСПД, ЕФГИ, Росгеолфонда, корпоративных ГИС, отечественных горно-геологических систем и инструментов планирования в единую архитектуру, результативность которой должна оцениваться через измеримые показатели: время доступа к данным, долю повторно используемой информации, снижение дублирования исследований, срок подготовки решений, число проектных корректировок, контролируемость выполнения работ и связь геомоделей с финансово-экономической оценкой проектов.

библиография

1. Логинов Д.С. Картографическое обеспечение как процесс: концептуальная модель системы и ее применение // Геодезия и картография. 2026. № 2. С. 10–22. DOI:10.22389/0016-7126-2026-1028-2-10-22.
2. Наговицын О.В., Лукичев С.В. История развития отечественных горно-геологических информационных систем // Горная промышленность. 2024. № 5. С. 46–51. DOI:10.30686/1609-9192-2024-5-46-51.
3. Шпильман А.В., Чижишева А.В. Геоинформационные технологии для мониторинга недропользования // Недропользование XXI век. 2016. № 2 (69). С. 78–83.
4. Шутько С.Ю., Кожевникова С.Д., Шутько Д.С. Риски и неопределенности Upstream // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. № 1-2. С. 65–72.
5. Аракчеев Д.Б., Юон Е.М., Захаркин И.В. и др. ФГИС «Единый фонд геологической информации о недрах» как основа цифровой трансформации недропользования // Геология нефти и газа. 2021. № 3. С. 21–29. DOI:10.31087/0016-7894-2021-3-21-29.
6. Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Деев К.В. и др. ГИС INTEGRO. Состояние и перспективы развития в условиях импортозамещения // Геология нефти и газа. 2021. № 3. С. 31–40. DOI:10.31087/0016-7894-2021-3-31-40.
7. Meindl B., Mendonca J. Mapping Industry 4.0 Technologies: From Cyber-Physical Systems to Artificial Intelligence // Preprint arXiv.org. 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2111.14168> (дата обращения: 17.01.2026).
8. Qu J., Kizil M.S., Yahyai M., et al. Digital Twins in the Minerals Industry – A Comprehensive Review // Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy. 2023. Vol. 132. Iss. 4. P. 267–289. DOI:10.1080/25726668.2023.2257479.
9. Zhironkina O., Zhironkin S. Technological and Intellectual Transition to Mining 4.0: A Review // Energies. 2023. Vol. 16. Iss. 3. P. 1427. DOI:10.3390/en16031427.
10. Li S., Dragicevic S., Anton F., et al. Geospatial Big Data Handling Theory and Methods: A Review and Research Challenges // Preprint arXiv.org. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1511.03010> (дата обращения: 17.01.2026).
11. Ang M.L.E., Owen J.R., Gibbins C.N., et al. Systematic Review of GIS and Remote Sensing Applications for Assessing the Socioeconomic Impacts of Mining // The Journal of Environment & Development. 2023. Vol. 32. Iss. 3. P. 243–273. DOI:10.1177/10704965231190126.
12. Mohamad A.A., Ujang U., Azri S., et al. Enhancing 3D Geospatial Modelling Through Multimodal Data and Machine Learning: A Systematic Literature Review // Spatial Information Research. 2026. Vol. 34. P. 12. DOI:10.1007/s41324-025-00659-4.
13. Lindi O.T., Aladejare A.E., Ozoji T.M., et al. Uncertainty Quantification in Mineral Resource Estimation // Natural Resources Research. 2024. Vol. 33. P. 2503–2526. DOI:10.1007/s11053-024-10394-6.
14. Ali M.E., Cheema M.A., Hashem T., et al. Enabling Spatial Digital Twins: Technologies, Challenges, and Future Research Directions // PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. 2024. Vol. 92. P. 761–778. DOI:10.1007/s41064-024-00301-2.

15. Черемисина Е.Н., Костылева Т.В., Арутюн В.М. Цифровизация в геологоразведке: обзор и анализ современного состояния // Геоинформатика. 2021. № 4. С. 18–27. DOI:10.47148/1609-364X-2021-4-18-27.

авторы

Камынина Надежда Ростиславовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия

д-р экон. наук, канд. техн. наук, доцент

 0009-0005-5170-5582

Логинов Дмитрий Сергеевич

 loginov@geohorizon.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра визуализации геоданных и картографического дизайна,

картографический факультет

канд. техн. наук

 0000-0003-0853-1757

Поступила 22.01.2026. Принята к публикации 20.02.2026. Опубликовано 27.02.2026.



From Cartographic Support to Geoinformation Services for Subsoil Use Management: Global Practices, Russian Restrictions, and Economic Effects

Nadezhda R. Kamynina¹✉, Dmitriy S. Loginov¹

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ rector@miigaik.ru

citation Kamynina NR, Loginov DS. From Cartographic Support to Geoinformation Services for Subsoil Use Management: Global Practices, Russian Restrictions, and Economic Effects. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(1): 91–109. DOI:10.30533/GiA-2026-006.

keywords subsoil use, cartographic support, geoinformation service, spatial data, geological and geophysical data, digital twin, management and economic effect, digital transformation

abstract The article examines the rationale for transitioning from cartographic support for subsoil use to geoinformation management services from the perspective of the subsoil use management cycle as a capital-intensive and geographically distributed sphere of economic activity. Based on provisions for the digitalization of cartographic support and an analysis of international scientific and industry sources, documented problem areas in the subsoil use management cycle are identified: labor-intensive access to geoscientific data, insufficient traceability of geological and geophysical data, the accumulation of geological and resource uncertainty, the transfer of resource uncertainty to financial and economic assessment, the gap between planning, execution, and reporting, as well as the insufficient maturity of platform integration and digital twins. The role of geoinformation solutions as tools for addressing these identified problem areas is highlighted. Classes of international and domestic geoinformation solutions are systematized, and their functional role in eliminating these problem areas is demonstrated. The technological map of domestic solutions has been developed and a target model has been proposed for the transition to an end-to-end service contour for geoinformation management of subsoil use. Service contour is represented by two independent levels of government data and applied industry solutions that provide geoinformation support functions for working with mining and geological data, increasing the reliability of information, reducing investment risks, and increasing the reuse of accumulated data.

references 1. Loginov DS. Kartograficheskoe obespechenie kak process: konceptual'naya model' sistemy i ee primeneniye [Cartographic Support as a Process: Conceptual Model

- of System and Its Application]. *Geodesy and Cartography*. 2026;2: 10–22. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2026-1028-2-10-22.
2. Nagovicyn OV, Lukichev SV. Istoriya razvitiya otechestvennyh gorno-geologicheskikh informacionnyh sistem [History of Development of the Russian Mining and Geological Information Systems]. *Russian Mining Industry*. 2024;5: 46–51. (In Russian). DOI:10.30686/1609-9192-2024-5-46-51.
 3. Shpil'man AV, Chikisheva AV. Geoinformacionnye tehnologii dlya monitoringa nedropol'zovaniya [Information Technology for Subsurface Monitoring]. *21 Century Subsoil Use*. 2016;2(69): 78–83. (In Russian).
 4. Shutko SY, Kozhevnikova SD, Shutko DS. Riski i neopredelennost' Upstream [Risks and Uncertainties Upstream]. *Oil and Gas Territory*. 2017;1-2: 65–72. (In Russian).
 5. Arakcheev DB, Yuon EM, Zaharkin IV, et al. FGIS "Edinyj fond geologicheskoy informacii o nedrah" kak osnova cifrovoj transformacii nedropol'zovaniya [Unified Subsurface Geological Information Fund "Federal State Information System": Basis for Subsoil Use Digital Transformation]. *Russian Oil and Gas Geology*. 2021;3: 21–29. (In Russian). DOI:10.31087/0016-7894-2021-3-21-29.
 6. Cheremisina EN, Finkel'shtejn MYa, Deev KV, et al. GIS INTEGRO. Sostoyanie i perspektivy razvitiya v usloviyah importozameshcheniya [GIS INTEGRO. Status and Prospects for Development in the Context of Import Substitution]. *Russian Oil and Gas Geology*. 2021;3: 31–40. (In Russian). DOI:10.31087/0016-7894-2021-3-31-40.
 7. Meindl B, Mendonca J. Mapping Industry 4.0 Technologies: From Cyber-Physical Systems to Artificial Intelligence. *Preprint arXiv.org*. 2021. Available from: <https://arxiv.org/abs/2111.14168> (Accessed 17 January 2026).
 8. Qu J, Kizil MS, Yahyaei M, et al. Digital Twins in the Minerals Industry – A Comprehensive Review. *Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy*. 2023;132(4): 267–289. DOI:10.1080/25726668.2023.2257479.
 9. Zhironkina O, Zhironkin S. Technological and Intellectual Transition to Mining 4.0: A Review. *Energies*. 2023;16(3): 1427. DOI:10.3390/en16031427.
 10. Li S, Dragicevic S, Anton F, et al. Geospatial Big Data Handling Theory and Methods: A Review and Research Challenges. *Preprint arXiv.org*. 2016. Available from: <https://arxiv.org/abs/1511.03010> (Accessed 17 January 2026).
 11. Ang MLE, Owen JR, Gibbins CN, et al. Systematic Review of GIS and Remote Sensing Applications for Assessing the Socioeconomic Impacts of Mining. *The Journal of Environment & Development*. 2023;32(3): 243–273. DOI:10.1177/10704965231190126.
 12. Mohamad AA, Ujang U, Azri S, et al. Enhancing 3D Geospatial Modelling through Multimodal Data and Machine Learning: A Systematic Literature Review. *Spatial Information Research*. 2026;34: 12. DOI:10.1007/s41324-025-00659-4.
 13. Lindi OT, Aladejare AE, Ozoji TM, et al. Uncertainty Quantification in Mineral Resource Estimation. *Natural Resources Research*. 2024;33: 2503–2526. DOI:10.1007/s11053-024-10394-6.
 14. Ali ME, Cheema MA, Hashem T, et al. Enabling Spatial Digital Twins: Technologies, Challenges, and Future Research Directions. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*. 2024;92: 761–778. DOI:10.1007/s41064-024-00301-2.
 15. Cheremisina EN, Kostyleva TV, Arutyun VM. Tsifrovizatsiya v geologorazvedke: obzor i analiz sovremennogo sostoyaniya [Digitalization in Geological Exploration: A Review and Analysis of the Current State]. *Geoinformatika*. 2021;4: 18–27. (In Russian). DOI:10.47148/1609-364X-2021-4-18-27.

authors Nadezhda R. Kamynina

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Dr. of Sci. (Economics), PhD in Engineering, Associate Professor

 0009-0005-5170-5582

Dmitriy S. Loginov

 loginov@geohorizon.ru

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Visualization of Geodata and Cartographic Design, Faculty of Cartography
PhD in Engineering

 0000-0003-0853-1757

Submitted: January 22, 2026. Accepted: February 20, 2026. Published: February 27, 2026.