

УДК 004.67

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-522-537

## К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ЕДИНОЙ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

*Г. Г. Болдырев<sup>1</sup>, И. Х. Идрисов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно строительный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>ООО НПП «Геотек», г. Пенза, Россия

**Аннотация.** На основе анализа отечественной практики и зарубежного опыта обосновывается необходимость создания единой инженерно-геологической базы данных Российской Федерации (ЕИГБД). Рассмотрены концептуальные и методологические основы формирования национальной инженерно-геологической базы данных как элемента цифровой инфраструктуры строительной отрасли. Обосновывается переход от фрагментарных проектно-ориентированных подходов к управлению инженерно-геологической информацией к инфраструктурной модели, ориентированной на долгосрочное накопление, верификацию, повторное использование и аналитическую обработку данных. Предлагается многоуровневая архитектура данных, основанная на разделении первичных измерений, интерпретационных моделей и производных расчетных параметров, а также метаданных и механизмов трассируемости. Анализируются возможности интеграции с BIM-средой, применения методов больших данных и машинного обучения, а также институциональные и нормативные барьеры внедрения в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** инженерно-геологические изыскания, база данных, цифровизация, BIM, интеграция

## THE ON THE ISSUE OF DEVELOPING A UNIFIED GEOTECHNICAL DATABASE

*G. G. Boldyrev<sup>1</sup>, I. H. Idrisov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,  
Saint Petersburg, Russia,

<sup>2</sup> LTD «Geotek», Penza, Russia

**Annotation.** Based on the analysis of domestic practice and foreign experience, the article substantiates the need to create a unified engineering and geological database of the Russian Federation. The conceptual and methodological foundations of the formation of the national engineering and geological database as an element of the digital infrastructure of the construction industry are considered. The paper substantiates the transition from fragmented project-oriented approaches to the management of engineering and geological information to an infrastructural model focused on long-term accumulation, verification, reuse and analytical processing of data. A multi-level data architecture is proposed based on the separation of primary measurements, interpretative models and derived calculated parameters, as well as metadata and traceability mechanisms. The possibilities of integration with the BIM environment, the use of big data and machine learning methods, as well as institutional and regulatory barriers to implementation in the Russian Federation are analyzed.

**Keywords:** engineering and geological surveys, database, digitalization, BIM, integration

## **Введение**

Инженерно-геологические изыскания являются обязательной и критически важной частью подготовки проектной документации объектов капитального строительства. Качество проектных решений, безопасность и надёжность сооружений в значительной степени определяются полнотой и достоверностью инженерно-геологических данных.

В то же время в современной практике инженерно-геологические данные, как правило, существуют в виде разрозненных отчётов и приложений, представленных в табличной и графической форме, не предназначенной для машинной обработки и повторного использования. После завершения проектирования такие данные фактически утрачивают свою ценность для последующих этапов жизненного цикла объектов и территорий.

Отсутствие унифицированных форматов, механизмов долговременного хранения, повторного использования и интеграции с цифровыми платформами приводит к систематической утрате знаний, дублированию изысканий и росту неопределенности. В общем случае, отсутствие централизованной инженерно-геологической базы данных (ЕИГБД) приводит к:

- излишним объемам изысканий;
- утрате данных изысканий;
- ограниченной проверяемости и воспроизводимости результатов;
- повышенным инженерно-геологическим рискам при проектировании.

Создание ЕИГБД позволит устранить большинство из указанных проблем и создаст предпосылки для формирования единого цифрового пространства инженерно-геологических данных.

В отличие от РФ, в ряде зарубежных стран формируются национальные или региональные геотехнические и геологические информационные системы, ориентированные на накопление данных как общественного ресурса. Однако простое заимствование существующих моделей без учета институциональных, правовых и культурных особенностей Российской Федерации является методологически некорректным.

## **Состояние вопроса**

Известно несколько зарубежных баз геологических и геотехнических данных, доступных для общего пользования через Интернет (табл. 1). Среди них:

1. Новозеландская геотехническая база данных (NZGD), курируемая Комиссией по землетрясениям, содержит около 23 000 результатов испытаний сейсмозондом, 10 000 записей журнала бурения скважин, 1000 записей испытаний пьезозондом и 6000 записей лабораторных испытаний. База открыта для зарегистрированных пользователей. Объемы информации, которая хранится в этой базе незначительные, за исключением данных статического зондирования.

2. База данных профилей скоростей сдвиговых волн сообщества Соединенных Штатов (*VSPDB*) состоит из геофизических 3845 профилей скоростей поперечных и продольных волн, 1212 скважин и 1342 каротажных диаграмм и лабораторные испытания (26 гранулометрических анализов и 845 пределов Аттерберга), проведенные на 4327 участках. Объемы информации, которая хранится в этой базе, также не очень большие.

3. Национальная база данных по геотехническим свойствам (*NGPD*), поддерживаемая Британской геологической службой является наиболее комплексной базой данных, содержащая сведения и информацию об исследованиях более 7370 проектов. С отчётами об исследованиях связаны 178 436 скважин. Всего существует 3 617 186 записей о полевых испытаниях и 879 293 лабораторных испытаний образцов грунтов, а также 5 180 330 неформатных записей о лабораторных испытаниях. Размеры этой базы сравнимы с объемами данных, которые хранятся в базе данных «Мосгоргеотрест» [1].

**Таблица 1. Некоторые геотехнические базы данных и геоинформационные системы**

| Наименование базы данных                                        | Страна             | Источник |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------|----------|
| NZGD                                                            | Новая Зеландия     | [2]      |
| VSPDB                                                           | США                | [3]      |
| NGPD                                                            | Великобритания     | [4]      |
| DINGO                                                           |                    | [5,6]    |
| Louisiana Department of Transportation and Development (LADOTD) | США, штат Луизиана | [8]      |
| Australian Soil Resources Information System (ASRIS)            | Австралия          | [9]      |
| Geotechnical database management system (GDBMS)                 | Нигерия            | [10]     |
| База данных gINT                                                | Канада             | [11]     |
| OpenGround Cloud                                                | Ирландия           | [12]     |
| GS.GeoDW+                                                       | Россия             | [13]     |
| Isoline GIS                                                     | Россия             | [14]     |
| ГИС INTEGRO                                                     | Россия             | [15]     |
| ГИС Аксиома                                                     | Россия             | [16]     |

4. Проект *DINGO* был направлен на то, чтобы создать базу данных с открытым доступом, содержащую результаты испытаний свайных фундаментов, которые можно было бы использовать для сравнения с новыми результатами испытаний и калибровки моделей несущей способности и осадки свай в различных отложениях по всей территории Соединённого Королевства (а не только в лондонской глине). База данных *DINGO* была впервые опубликована в 2019 г. [5]. Это открытый набор данных, включающий более 500 испытаний свай в грунтах Великобритании. Текущая версия базы

данных *DINGO* находится в свободном доступе для скачивания в исследовательском репозитории Бристольского университета [6] Целью проекта *DINGO* было создание набора данных с открытым исходным кодом, в котором данные испытаний свай по возможности сопровождались параметрами грунта на конкретном участке. Такие проекты по созданию и ведению баз данных, как *DINGO*, способствуют развитию «геотехники, ориентированной на данные», что стало возможным благодаря переходу геотехнической инженерии от подхода, ориентированного на недостаток данных, к подходу, ориентированному на большие данные. База данных *DINGO* ранее использовалась для изучения методов прогнозирования осадки свай в мелкозернистых грунтах, а также для количественной оценки снижения осадки за счёт применения различных строительных норм и правил. Подобная *DINGO*, база данных разрабатывается в настоящее время Я.В. Оффрихтер [7] в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Общей особенностью зарубежных баз данных является приоритет хранения фактических данных, строгая стандартизация форматов и обязательное сопровождение данных метаданными.

Целью настоящей работы является разработка концептуальной модели национальной инженерно-геологической базы данных, рассматриваемой не как пассивное хранилище, а как элемент цифровой инфраструктуры строительства, интегрированный с *BIM*-средой, аналитическими платформами и системами поддержки принятия решений.

### **Централизованная геотехническая база данных**

Данные, полученные с помощью приборов в лаборатории или путем непосредственных полевых наблюдений и измерений, являются фактическими. Поскольку работа и взаимодействие сотрудников в среде *BIM* требует доступа к этим исходным данным, они должны сохраняться без обработки как основа достоверности. Когда мы начнем их просматривать, анализировать и использовать (например, для определения того, к каким геологическим слоям относятся грунты, в каждой скважине), начнется их интерпретация. Эти интерпретированные базовые данные затем расширятся еще больше, когда геолог определяет, как слои могут соединяться друг с другом, для получения двумерного разреза, трехмерной модели или для составления отчета об исследовании, куда войдут уже результирующие данные. Необходимо также продумать вопрос достоверности получаемых данных о свойствах грунтов.

Необходимым условием для извлечения, интерпретации и использования исходных данных является использование метаданных о базовой информации. Поскольку результирующие данные будут передаваться другим группам участников проекта, занимающихся проектированием, строительством, эксплуатацией и управлением, метаданные необходимы для предотвращения неправильного использования результирующих данных.

Поэтому метаданным следует уделять больше внимания. Иными словами, в системе архива геотехнических данных для их описания должен использоваться набор параметров. Для картографических данных это могут быть масштаб, источник, время и т. д., для данных по скважине – идентификатор, название проекта, глубина, дата исследования и пр.

Источниками базы данных являются данные инженерно-геологических и геотехнических исследований. Процесс переноса информации из бумажных отчетов в базу данных является спорным вопросом из-за трудоемкости обработки данных на бумажных носителях. В то же время, «старые» данные были бы полезны для предварительного анализа инженерно-геологических условий и составления программы изысканий.

### **Системы управления геотехническими базами данных**

Системы управления широко используются для управления геотехническими данными. Развитие систем управления базами данных началось с упорядоченного сбора и использования данных с целью обеспечения возможности их добавления, изменения, удаления и извлечения.

Процедуры разработки геоинформационных баз данных не являются уникальными, они весьма разнообразны. Наиболее часто для хранения и обработки данных используется веб-система управления геотехническими базами данных. Как правило, база данных включает данные мониторинга, результаты геофизических, лабораторных и полевых испытаний грунтов, полученных в ходе прошлых и текущих исследований грунтов различными организациями из разных источников, с целью максимизации экономической и научной выгоды от таких данных за счёт обеспечения их неограниченного доступа. Предоставляется соответствующий веб-интерфейс без каких-либо ограничений для всех пользователей, позволяющий запрашивать, отправлять отчёты и визуализировать данные, содержащиеся в базе. Система проектируется таким образом, чтобы её можно было бесконечно расширять под управлением авторизованных администраторов. Для ввода данных предусмотрены соответствующие шаблоны, обеспечивающие целостность и точность данных перед их включением в базу данных. Данные хранятся в необработанном виде без какого-либо предварительного анализа, что даёт потенциальным пользователям возможность делать собственные независимые выводы на их основе. В тоже время данные можно использовать для машинного обучения [7].

База данных, содержащая пространственные данные, обычно состоит из двух основных элементов: географического (или геометрического) компонента и компонента атрибутивных данных. Географический компонент содержит информацию о местоположении, протяжённости и топологии каждого элемента карты, а компонент атрибутивных данных описывает характеристики пространственного элемента. Что касается географического

компонента, то различают точечные и площадные базы данных. Точечные базы данных содержат характеристики атрибутов, присвоенные отдельным точкам, или репрезентативные значения атрибутов, присвоенные площадным элементам карты. Как географические, так и атрибутивные данные обрабатываются с помощью системы управления реляционными базами данных. Местоположение определяется с помощью географических координат точки (обычно это долгота и широта точки). Географический компонент баз данных территорий включает в себя картографические единицы в виде точек, линий или поверхностей, а также топологию (формы, соседей и иерархию границ). Лучше всего их моделировать и визуализировать с помощью оцифровки с использованием технологий ГИС (географических информационных систем). Таким образом, для баз данных по территориям реляционная база данных интегрируется ГИС в виде структурированных слоёв в оцифрованную базу карты, позволяющая отображать многострочную информацию для отдельных объектов.

В РФ, наиболее подходящими для решения поставленной задачи, являются две ГИС «Аксиома» [16] и «Интегро» [15]. Например, ГИС «Интегро» является программно-технологическим комплексом, который: обеспечивает интеграцию всех видов информации о земной поверхности и недрах; поддерживает специализированные форматы геолого-геофизических данных; осуществляет синхронизацию разнородной геопространственной информации одновременно в нескольких окнах; содержит развитые средства электронной картографии, аналитической обработки и 3D-моделирования; включает в себя готовые технологии решения прикладных задач; поддерживает большое число систем координат и картографических проекций; обеспечивает поддержку электронной базы геологических знаков масштаба 1:1000000 и 1:200 000; содержит картографический редактор, обладающий широкими возможностями; имеет удобный интерфейс, позволяющий работать в привычной для специалиста-предметника среде. Впрочем, ни одна из этих баз данных не является тем специализированным программным продуктом, который позволил бы создать общероссийскую базу инженерно-геологической и геотехнической информации.

### **Проектирование базы данных**

Благодаря многочисленным преимуществам реляционной модели баз данных [17] структура системы управления базой данных может быть основана на этой модели. В реляционной базе данных, данные хранятся в таблицах (называемых «отношениями»). Записи в базе данных представлены в виде строк, или «кортежей», в этих таблицах. Кортежи состоят из наборов данных, называемых атрибутами, которые расположены в виде столбцов в отношении. После того как в отношении определена последовательность атрибутов, все кортежи в этом отношении должны располагаться в этой последовательности.

Единообразие формата записей в отношении упрощает процедуры доступа к данным и является одним из преимуществ модели. Понятно, что не все записи будут содержать значения для всех атрибутов, и реляционная модель особенно хорошо подходит для удовлетворения требований к хранению данных. Сама база данных проектируется таким образом, чтобы её можно было бесконечно расширять. Единственным ограничением является мощность сервера баз данных.

Веб-ориентированные базы данных обеспечивают простоту и повсеместную доступность. Поэтому необходимо, чтобы она была написана на языке баз данных *SQL* — языке программирования для реляционных баз данных, который хорошо подходит для веб-приложений. Версия языка баз данных *SQL*, на котором может быть реализована и написана база данных, — это *MySQL*, реляционная СУБД с открытым исходным кодом.

### **Что мешает разработке единой общероссийской инженерно-геологической и геотехнической базы данных?**

Инженерно-геологическая и геотехническая база данных (в совокупности, геоданные) должна выполнять функцию единой комплексной национальной базы данных с доступом через веб-портал или облачное хранилище. Однако при ее создании могут возникнуть следующие проблемы.

*Проблема номер 1.* Отсутствие в РФ единого цифрового формата геоданных. В зарубежной геотехнической практике широко используются два формата *AGS4* (*Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists*) [18] и *DIGGS*, (*Data Interchange for Geotechnical and Geoenvironmental Specialists*) [19] применяемые для стандартизированного обмена результатами инженерно-геологических изысканий. Оба эти формата позволяют передавать геологические и геотехнические цифровые данные внутри организаций и между ними. При этом форматы позволяют включать в процесс обмена файлы других форматов описания геоданных, такие как *DXF*, *AVI*, *PDF*, *ASCII*, *DOC*, *XLS*.

Внедрение одного из этих форматов обсуждалось изначально в 2012 г., когда ещё существовало НОИЗ [20]. После его поглощения НОПРИЗ обсуждение данного вопроса было прекращено.

Для гармонизации процессов цифрового моделирования на международном уровне существует стандарт *EN ISO 16739* «Отраслевые базовые классы (*IFC*) для обмена и управления данными об объектах строительства», опубликованный в 2013 г. и пересмотренный в 2018 г. С 2019 г. в России действует подобный стандарт ГОСТ Р 10.0.02-2019 «Отраслевые базовые классы (*IFC*) для обмена и управления данными об объектах строительства». Это открытый международный стандарт для обмена и совместного использования данных разными участниками того или иного строительного проекта, использующих различные программные приложения, а

также для управления этими данными. Поэтому для хранения инженерно-геологической информации необходимо разработать новые стандарты, не противоречащие *IFC*.

*Проблема номер 2.* Заключается в том, что большинство частных изыскательских фирм и строительных компаний, наверняка, будут отказываться предоставлять какую-либо информацию, даже если она у них имеется, утверждая, что по юридическим и этическим соображениям не могут разглашать сведения о работах, выполненных для их клиентов. Эту проблему можно решить при помощи Минстроя России в сочетании с усилением роли профессионального сообщества изыскателей, например НОПРИЗ.

*Проблем номер 3.* Для надлежащего обслуживания базы данных потребуется администрирование. Администрирование и финансирование, необходимые для надлежащего обслуживания, лучше всего обеспечить за счет государственных учреждений или крупных профессиональных изыскательских некоммерческих организаций. С этой целью рекомендуется создать национальный Центр геотехнических данных.

*Проблема номер 4.* Унификация представления данных в сводной инженерно-геологической таблице физико-механических характеристик грунтов.

Следует нормативным образом внедрить единый формат представления данных инженерно-геологических изысканий. Сегодня для этого используется сводная таблица физико-механических характеристик грунтов, которая является неотъемлемой частью инженерно-геологических отчетов. Однако содержание таблицы зависит от текущего технического задания на изыскания. Например, если использовать при проектировании нормы соответствующих Сводов Правил, то необходимо определить один набор характеристик грунтов. Поэтому в сводной таблице представляются только эти характеристики грунтов. В том случае, что если проектировщик использует численные методы, то в сводную таблицу включаются параметры моделей грунтов. В итоге, сводная таблица получается отличной от первой. Как результат возникает ручная обработка данных при их преобразовании в электронный формат, например, *txt* или *Excel*.

Данную проблему предлагается решить следующим образом. Полная информация о физико-механических характеристиках грунтов, соответствующего генезиса, возраста, вида и разновидности предлагается хранить в формате *Excel* в файле с наименованием «Глобальная сводная таблица.xlsx». В первой редакции, таблица содержит 14 листов разновидностей грунтов и 367 колонок с данными физико-механических характеристик, которые используют при проектировании методами Сводов Правил и численными методами. Каждая колонка соответствует определенной характеристике грунта определяемая лабораторными и полевыми испытаниями.

Используя глобальную сводную таблицу, можно для конкретного технического задания на изыскания сформировать локальную сводную таблицу, в которую будут включены соответствующие характеристики грунтов и параметры моделей грунтов. Затем при формировании базы данных можно использовать данные из локальных сводных таблиц.

### **Архитектура единой инженерно-геологической базы данных и роль метаданных**

Эффективность базы геоданных определяется не только объёмом накопленной информации, но прежде всего принципами её структурирования, описания и интеграции с другими цифровыми системами. В предлагаемой модели архитектура базы данных рассматривается как многоуровневая система, обеспечивающая долговременное хранение, аналитическую обработку, трассируемость и повторное использование данных.

В основе архитектуры лежит разделение функциональных слоёв: слоя хранения первичных данных, слоя интерпретационных моделей, слоя производных параметров и слоя аналитических и сервисных компонентов. Такое разделение позволяет избежать смешивания измеряемых величин, экспертных интерпретаций и расчётных допущений, что является одной из ключевых проблем современной инженерной практики.

Слой первичных данных включает результаты полевых и лабораторных исследований в их максимально «сырых» формах: журналы бурения, протоколы испытаний, записи зондирования, результаты геофизических наблюдений, данные мониторинга. Эти данные должны сохраняться без необратимых преобразований, поскольку именно они являются первичным источником знания и могут быть переосмыслены по мере развития научных представлений и нормативных требований.

Слой интерпретационных моделей формируется на основе первичных данных и включает инженерно-геологические разрезы, стратиграфические корреляции, типизации грунтов, пространственные модели и другие формы обобщения. В отличие от первичных измерений, эти данные неизбежно содержат элементы субъективности и зависят от используемых методик, опыта исполнителя и принятых гипотез. Поэтому принципиально важно фиксировать не только сами модели, но и логику их построения.

Слой производных параметров предназначен для хранения нормативных и расчётных характеристик, используемых в проектировании и моделировании: модулей деформации, коэффициентов консолидации, параметров прочности и других величин. Эти значения являются результатом цепочки преобразований, включающей измерения, интерпретации и нормативные зависимости. В предлагаемой архитектуре они не рассматриваются как первичные данные, а явно связываются с исходными источниками.

Особое значение в данной архитектуре имеет слой метаданных. Метаданные описывают не только технические характеристики файлов или таблиц, но и эпистемологический контекст получения информации. Они включают сведения о методиках испытаний, используемом оборудовании, условиях отбора проб, пространственно-временных координатах, квалификации исполнителей, а также о применённых стандартах и нормативных документах.

В традиционных системах метаданные часто рассматриваются как второстепенный элемент. В предлагаемой модели они становятся центральным компонентом, обеспечивающим сопоставимость данных, оценку их достоверности и возможность автоматизированной обработки. Без развитого слоя метаданных невозможна корректная агрегация информации из различных источников и построение статистически обоснованных моделей.

Одним из ключевых принципов архитектуры является трассируемость. Каждый производный параметр должен быть связан с конкретными первичными измерениями, интерпретационными моделями и нормативными предпосылками. Это обеспечивает воспроизводимость расчётов и возможность их пересмотра при появлении новых данных или изменении нормативной базы.

Дополнительным компонентом архитектуры является слой интеграции, обеспечивающий взаимодействие с внешними цифровыми системами: BIM-платформами, геоинформационными системами, государственными реестрами, аналитическими сервисами. Взаимодействие должно осуществляться через открытые программные интерфейсы и стандартизированные форматы обмена.

Таким образом, архитектура инженерно-геологической базы данных должна рассматриваться не как статичная структура, а как развивающаяся экосистема, поддерживающая научные исследования, проектирование, территориальное планирование и управление рисками. Такой подход формирует основу для перехода от локальных решений к системному управлению знаниями о геологической среде.

Создание ЕИГБД требует нормативного закрепления требований к составу, форматам и порядку передачи данных. Для этого необходимо разработать нормативный документ, который должен включать следующие минимальные требования:

1. Требования к структуре базы данных.
2. Требования к цифровым форматам данных.
3. Унификация физико-механических характеристик грунтов.

Передача обезличенных инженерно-геологических данных в базу целесообразна как обязательный этап завершения инженерных изысканий. Функции администрирования и контроля качества данных должны быть возложены на уполномоченную организацию.

## **Интеграция с технологиями информационного моделирования**

В условиях цифровой трансформации строительной отрасли информационные модели объектов перестают быть исключительно средством визуализации и всё в большей степени превращаются в носители структурированных знаний. Концепции BIM предполагают формирование сквозной цифровой среды, сопровождающей объект на всех этапах его жизненного цикла — от предпроектных исследований до эксплуатации и вывода из эксплуатации.

Однако в большинстве существующих реализаций геотехнические и инженерно-геологические данные остаются внешними по отношению к BIM-моделям. Как правило, они представлены в виде отчётов, таблиц или графических приложений, не интегрированных семантически с цифровой моделью. Это приводит к тому, что ключевая информация о грунтовом основании используется фрагментарно, теряет контекст и не поддаётся автоматизированной обработке.

Предлагаемая ЕИГБД рассматривается как специализированный источник структурированных знаний о подземной среде, который должен быть связан с BIM-платформами на уровне данных, а не только файлов. Такая интеграция предполагает возможность прямого обращения цифровых моделей к параметрам грунтов, стратиграфическим схемам, результатам мониторинга и вероятностным оценкам.

Одним из ключевых вызовов является ограниченность существующих стандартов информационного моделирования в части представления геотехнических данных. Международный формат IFC, являющийся основой для обмена данными между BIM-платформами, содержит развитую онтологию для строительных конструкций, инженерных систем и пространственных элементов, но крайне ограниченно описывает геологическую среду [21].

В большинстве случаев геологическая информация в формате IFC представляется в виде обобщённых свойств или прикреплённых документов, что не позволяет формализовать сложные стратиграфические структуры, неоднородности, анизотропию свойств и неопределённости. Это существенно ограничивает возможности аналитической обработки и автоматизированного проектирования.

В рамках предлагаемой концепции предполагается разработка расширений к существующим стандартам, обеспечивающих формализованное представление инженерно-геологических объектов: скважин, зондирований, слоёв, образцов, горизонтов, а также связанных с ними параметров и их распределений. Такие расширения должны быть совместимы с международными аналогами, но адаптированы к российской нормативной базе.

Особое внимание уделяется представлению неопределённости. В традиционных BIM-моделях параметры задаются детерминированно, что не отражает реального характера геотехнических данных. В предлагаемом подходе

значения должны сопровождаться доверительными интервалами, вероятностными распределениями и указанием источников неопределённости [22].

Интеграция с *BIM*-средой позволяет реализовать концепцию «цифровых двойников», в которых геологическая среда моделируется с той же степенью формализации, что и надземные конструкции [23]. Это открывает возможности для сценарного анализа, оценки рисков, оптимизации проектных решений и мониторинга поведения оснований в процессе эксплуатации.

Таким образом, единая инженерно-геологическая база данных должна рассматриваться не как внешнее хранилище, а как составная часть цифровой среды проектирования и управления строительными объектами. Такая интеграция формирует принципиально новый уровень взаимодействия между инженерной геологией и цифровыми технологиями.

### **Институциональные, нормативные и организационные барьеры внедрения национальной инженерно-геологической базы данных в Российской Федерации**

Несмотря на очевидные технологические предпосылки для создания национальной инженерно-геологической базы данных, её практическая реализация сталкивается с рядом системных ограничений, выходящих за рамки сугубо технических задач. Эти ограничения носят институциональный, правовой, экономический характер и требуют отдельного анализа.

Одной из ключевых проблем является институциональная фрагментация. В настоящее время инженерно-геологические данные формируются и хранятся множеством независимых субъектов: изыскательскими организациями, проектными институтами, строительными компаниями, научными учреждениями и органами государственной власти. Каждый из этих акторов действует в рамках собственных интересов, контрактных обязательств и регламентов, что делает координацию и стандартизацию крайне затруднительными.

Отсутствие единого центра ответственности за долгосрочное накопление и сопровождение данных приводит к тому, что информация рассматривается как побочный продукт проектной деятельности, а не как элемент национальной инфраструктуры. После завершения конкретного проекта данные либо архивируются в закрытых корпоративных системах, либо утрачиваются, либо становятся недоступными для повторного использования.

Серьёзным барьером является отсутствие нормативно закреплённых стандартов цифрового представления инженерно-геологической информации. В российской практике до сих пор доминируют отчётно-документные формы, ориентированные на бумажные носители и статичные файлы. Даже при наличии цифровых версий отчётов данные остаются неструктурированными и непригодными для автоматизированной обработки.

В отличие от этого, современные цифровые экосистемы требуют формализованных схем данных, онтологий, интерфейсов программного доступа и механизмов валидации. Без нормативного закрепления таких требований невозможно обеспечить масштабируемость и воспроизводимость.

Экономические факторы также играют существенную роль. Частные изыскательские компании рассматривают данные как коммерческий актив, являющийся частью их конкурентного преимущества. В отсутствие ясных механизмов компенсации, лицензирования и защиты интеллектуальных прав добровольное предоставление данных в национальные системы воспринимается как угроза бизнес-модели.

Дополнительную сложность создаёт неопределённость правового статуса инженерно-геологических данных. В настоящее время не существует чётких норм, определяющих право собственности на такие данные, условия их повторного использования, ответственность за ошибки и порядок актуализации. Эти правовые пробелы создают риски для всех участников и формируют устойчивую склонность к закрытости.

Не менее значимы культурные и эпистемологические барьеры. Инженерно-геологическая практика традиционно опирается на экспертные суждения, индивидуальный опыт и локальные эвристики. Переход к формализованным, воспроизводимым и алгоритмизируемым моделям воспринимается многими специалистами как угроза профессиональной автономии.

Кроме того, существует дефицит компетенций в области работы с большими данными, онтологиями, цифровыми стандартами и вероятностными моделями. Без масштабных образовательных программ и переобучения специалистов технологические инновации рискуют остаться формальными.

Таким образом, внедрение национальной инженерно-геологической базы данных следует рассматривать не как IT-проект, а как институциональную реформу, затрагивающую нормативную систему, рынок инженерных услуг, образовательные программы и профессиональные культуры. Игнорирование этих аспектов неизбежно приведёт к формированию технически продвинутых, но социально неработоспособных решений.

### **Обсуждение**

Представленная в настоящей работе концепция национальной инженерно-геологической базы данных демонстрирует, что проблема управления геологической и геотехнической информацией не может рассматриваться исключительно как задача автоматизации или цифровизации существующих процессов. Речь идёт о глубокой трансформации эпистемологических, институциональных и инженерных оснований отрасли.

В традиционной практике инженерно-геологические и геотехнические данные существуют в виде разрозненных фрагментов, слабо связанных

между собой и ориентированных на решение локальных задач. Предлагаемая инфраструктурная модель, напротив, ориентирована на формирование непрерывного пространства знаний, в котором каждое новое измерение не исчезает после завершения проекта, а становится частью кумулятивного эмпирического корпуса.

Ключевым методологическим вкладом настоящей работы является формализация многоуровневой структуры данных с явным разделением первичных измерений, интерпретационных моделей и расчётных параметров. Такое разделение позволяет избежать смешивания эмпирических фактов и инженерных допущений, что является распространённой проблемой в современной практике.

Особое значение имеет введение метаданных как центрального элемента архитектуры. В большинстве существующих систем они выполняют вспомогательную роль, тогда как в предлагаемой модели метаданные обеспечивают воспроизводимость, сопоставимость и аналитическую интерпретируемость. Это создаёт основу для корректного применения методов больших данных и машинного обучения.

Следует отметить, что предложенная концепция не является готовым техническим решением. Она задаёт рамку, внутри которой могут и должны разрабатываться конкретные программные реализации, нормативные механизмы и институциональные формы. В этом смысле настоящая работа носит программный характер.

К ограничениям выполненного исследования следует отнести его концептуальную направленность. Эмпирическая проверка эффективности предлагаемых принципов требует реализации пилотных проектов, которые позволят выявить узкие места, уточнить требования пользователей и протестировать масштабируемость архитектуры.

Дополнительным вызовом является необходимость междисциплинарного взаимодействия. Формирование такой системы невозможно без согласованных усилий инженеров, геологов, специалистов по данным, юристов и представителей регулирующих органов. Тем не менее, именно подобные комплексные проекты определяют траектории развития инженерных дисциплин в XXI веке.

### **Заключение**

В статье предложена концептуальная модель национальной инженерно-геологической базы данных, рассматриваемой не как пассивное хранилище информации, а как элемент цифровой инфраструктуры строительной отрасли. Показано, что традиционные проектно-ориентированные подходы к управлению данными не обеспечивают ни накопления знаний, ни воспроизводимости инженерных решений, ни условий для внедрения аналитических и вероятностных методов.

Основными результатами работы являются:

1. Обоснование инфраструктурной парадигмы управления инженерно-геологическими и геотехническими данными.
2. Разработка многоуровневой модели, разделяющей первичные измерения, интерпретации и расчётные параметры.
3. Формализация роли метаданных и трассируемости как ключевых элементов архитектуры.
4. Анализ возможностей интеграции с BIM, ГИС платформами и стандартами информационного моделирования.
5. Выявление институциональных и нормативных барьеров внедрения в Российской Федерации.

Реализация предложенной модели позволит перейти от фрагментарной эмпирической практики к системно-аналитическому управлению знаниями о геологической среде, повысить надёжность проектных решений, снизить риски и создать условия для научно обоснованного развития строительной отрасли.

Создание национальной инженерно-геологической базы данных следует рассматривать не как вспомогательный цифровой сервис, а как стратегический инфраструктурный проект, сопоставимый по значимости с транспортными, энергетическими и информационными системами.

#### **Список источников**

1. Ракитина, Н. Н. Цифровизация данных инженерно-геологических изысканий / Н. Н. Ракитина, Р. Ю. Жидков // Геоинфо. – 2024. – Т. 6, № 11. – С. 6-16. DOI:10.58339/2949-0677-2024-6-11-6-16.
2. NZGD: – URL: <https://www.naturalhazards.govt.nz/resilience-and-research/data-and-modelling/new-zealand-geotechnical-database/> (дата обращения: 24.01.2026).
3. VSPDB: – URL: <https://escholarship.org/uc/item/71v3g1xh> (дата обращения: 24.01.2026).
4. NGPD: – URL: <https://www.bgs.ac.uk/technologies/databases/> (дата обращения: 24.01.2026).
5. Vardanega P.J., Voyagaki E., Crispin J., Gilder C., Ntassiou, K. The DINGO data base, v1.0. University of Bristol, Bristol, UK. – 2019. <https://research-information.bris.ac.uk/en/datasets/the-dingo-database-v10/> (дата обращения: 24.01.2026).
6. Vardanega, P.J., Othman, M.M., Voyagaki, E., Crispin, J., Gilder, C. & Ntassiou, K. The DINGO database, v1.2. University of Bristol, Bristol, UK., 2024. DOI: 10.5523/bris.89r3npvewel2ea8ttb67ku4d.
7. Ofrikhter I.V., Ponomarev A.B. Load-Settlement Behavior Estimation of Piles Using Driving Log // AIP Conference Proceedings. 2023. - Vol. 2497. – P. 020002. DOI:10.1063/5.0106181.
8. Gautreau G. P., Bhandari P. Development of a Geotechnical Information Database. Report No. FHWA/LA.09/446. Louisiana Transportation Research Center, Baton Rouge, LA, 2009. – P. 65.

9. Johnston R. M., Barry S. J., Bleys E., Bui E. N., Moran C. J., Simon D. A. P., Carlile P., McKenzie N. J., Henderson B. L., Chapman G., Imhoff M., Maschmedt D., Howe D., Grose C., Schoknecht, N. // ASRIS: the database. Australian Journal of Soil Research, 2003. - Vol. 41, - No. 6, - P. 1021-1036.
10. Okunade E.A. Design and Implementation of a Web-Based Geotechnical Database Management System for Nigerian Soils. Modern Applied Science, 2010. - Vol. 4, - No. 11, - P. 36-42. <https://doi.org/10.5539/MAS.V4N11P36>.
11. Fredlund M.D., Loubier N., Myhre T., Inkovic Z. Use of gINT Databases to Analyze 3D Spatial Slope Stability // 2019 TAC-ITS Canada Joint Conference At: Halifax, NS, Canada, 2019. – P. 13.
12. OpenGround Cloud. – URL: <https://www.bentley.com/> (дата обращения: 24.01.2026).
13. GS.GeoDW+. – URL: <https://geo-solution.ru/module-gs-geodw> (дата обращения: 24.01.2026).
14. Isoline GIS. – URL: <http://www.isoline-gis.ru/index.htm> (дата обращения: 24.01.2026).
15. ГИС INTEGRO. – URL: <https://gis-integro.ru> (дата обращения: 24.01.2026).
16. ГИС Аксиома. – URL: <https://axioma-gis.ru> (дата обращения: 24.01.2026).
17. Walters R. F. Database Principles for Personal Computers. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1987. – P. 243.
18. Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data AGS4 Edition 4.1.1. – URL: <https://www.ags.org.uk/content/uploads/2022/02/AGS4-v-4.1.1-2022.pdf> (дата обращения: 24.01.2026).
19. DIGGS V2.0.a Documentation. –URL: <https://www.geoinstitute.org/> (дата обращения: 24.01.2026).
20. О выборе единого электронного формата обмена данными инженерно-геологических изысканий / В. А. Барвашов, Г. Г. Болдырев, С. Н. Даянов [и др.] // Проектирование и инженерные изыскания, 2012. – № 3 (17). – С. 10.
21. Wu J., Chen J., Chen G., Wu Z., Zhong Y., Chen B., Ke W., Huang J. Development of Data Integration and Sharing for Geotechnical Engineering Information Modeling Based on IFC // Advances in Civil Engineering, 2021. Article ID 8884864, – P. 15.
22. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/8884864>.
23. Болдырев, Г. Г. Детерминированный и вероятностный подход к расчету устойчивости склонов / Г. Г. Болдырев, А. В. Иванов, О. В. Хрянина // Геотехника, 2024. – Т. XVI. – № 3. – С. 6-25. DOI: 10.25296/2221-5514-2024-16-3-6-25.
24. Инженерно-геологические исследования с использованием цифровых технологий / Г. Г. Болдырев, Д. А. Луковкин, П. А. Анохин [и др.] // Инженерные изыскания. – 2022. – Т. XVI. – № 3. – С. 12-32. DOI: 10.25296/1997-8650-2022-16-3-12-32.

© Болдырев Г. Г., Идрисов И. Х., 2026