УДК 528.4 DOI 10.63874/2218-0311-2026-1-103-113

***Анна Николаевна Маевская[1], Максим Альбертович Богдасаров[2]***
*[1]канд. геол.-минерал. наук, доц. каф. городского и регионального развития*
*Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина*
*[2]д-р геол.-минерал. наук, проф., член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси,*
*проректор по научной работе, проф. каф. городского и регионального развития*
*Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина*
***Anna Maevskaya[1], Maksim Bahdasarau[2]***
*[1]Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,*
*Associate Professor of the Department of Urban and Regional Development*
*of Brest State A. S. Pushkin University*
*[2]Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,*
*Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus,*
*Vice-Rector for Research, Professor of the Department of Urban and Regional Development*
*of Brest State A. S. Pushkin University*
e-mail: [1]maevskaya.anna@inbox.ru; [2]bahdasarau@gmail.com

# КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БРЕСТА КАК ОСНОВЫ ПРИНЯТИЯ ОБОСНОВАННЫХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

*Высокий уровень изученности подземного пространства урбанизированных территорий позволяет переходить от пассивного хранения фондовых данных к стратегии их активного использования с помощью современных информационных ресурсов. Градостроительный комплекс нуждается в новом подходе к принятию решений – одновременно вдумчивом и оперативном, что требует разработки более универсальных и функциональных инструментов. Авторами в настоящей работе как раз и предлагается такой подход, изложенный в виде концепции создания цифровой инженерно-геологической модели (ЦИГМ) конкретного города. Реализация данной концепции позволит создать многослойную параметрическую модель, объединяющую данные о геологической среде и городской инфраструктуре территории г. Бреста (Республика Беларусь). В основу модели положен синтез геоинформационных технологий, параметрического моделирования и авторских алгоритмов. Концепция определяет основные этапы построения ЦИГМ – от сбора и систематизации первичных данных до пространственного анализа и визуализации результатов. Разработанная модель закладывает основу для перехода к созданию цифрового двойника города как инструмента поддержки принятия управленческих решений, что будет способствовать повышению качества градостроительного проектирования и эффективности управления городским развитием.*

***Ключевые слова:*** *цифровая модель, геоинформационные системы, подземное пространство, градостроительный потенциал, г. Брест.*

## *The Concept of Creating a Digital Engineering-Geological Model of the Territory of the City of Brest as a Basis for Making Informed Urban Planning Decisions*

*The high level of knowledge regarding the subsurface space of urbanized territories makes it possible to transition from the passive storage of archival data to a strategy of their active use through modern information resources. The urban planning complex requires a new approach to decision-making – one that is simultaneously thoughtful and efficient – which necessitates the development of more universal and functional tools. In this paper, the authors propose precisely such an approach, presented in the form of a concept for creating a Digital Engineering-Geological Model (DEGM) for a specific city. The implementation of this concept will allow for the creation of a multi-layered parametric model that combines data on the geological environment and urban infrastructure of the territory of the city of Brest, Republic of Belarus. The model is based on a synthesis of geoinformation technologies, parametric modeling, and proprietary algorithms. The concept defines the main stages of constructing the DEGM – from the collection and systematization of primary data to spatial analysis and visualization of results. The developed model lays the foundation for the transition to creating a digital twin of the city as a tool to support management decision-making, which will contribute to improving the quality of urban planning design and the efficiency of urban development management.*

***Key words:*** *Digital model, geographic information systems, underground space, urban development potential, Brest.*

**Введение**

Развитие современного мира невозможно без городов. Однако интенсивный рост урбанизации приводит к увеличению потребности в жилых площадях, что заставляет городские власти уплотнять застройку и использовать для этих целей территории, ранее непригодные для строительства: подтопленные и заболоченные участки, поймы рек, места бывших свалок и т. п. Это создает сосредоточенное воздействие на городскую среду, способствуя развитию опасных геологических и экологических процессов, которые повышают риск возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера. Вышесказанное диктует необходимость внедрения принципиально новых подходов к градостроительному планированию.

По мере увеличения сложности и насыщенности техносферы возрастает потребность в качественной и достоверной геологической информации, которая становится ключевым фактором для обеспечения устойчивого развития городов. На современном уровне развития техники и технологий наиболее рациональным способом удовлетворения этой потребности является цифровое геологическое моделирование с использованием ГИС-технологий. Цифровые модели значительно превосходят классические методы сбора и хранения данных по информативности и наглядности, обеспечивая более точное и детальное представление геологической информации.

В сравнении с традиционными инженерно-геологическими материалами, цифровые модели подземного пространства являются более гибкими. На их основе могут быть получены самые широкие характеристики подземных геологических структур и связанных с ними компонентов природной среды, что полезно для подготовки заключений о геологических и гидрогеологических особенностях территорий планируемого строительства.

Цель настоящей работы состоит в разработке концепции создания цифровой модели инженерно-геологического строения территории города Бреста, которая станет комплексной и точной основой для оценки градостроительного потенциала города.

**Обзор современного состояния проблемы**

Под цифровым инженерно-геологическим моделированием в научной литературе понимается представление данных топологии (связности), геометрии и свойств геологической среды. При этом Г. Г. Болдырев [1] отмечает, что процесс инженерно-геологического моделирования не требует восстановления геологической истории района изысканий, а, скорее, представляет собой интерполяцию между данными из горных выработок при соблюдении основных правил и принципов.

Результатом инженерно-геологического моделирования выступают цифровые инженерно-геологические модели (ЦИГМ), первые из которых известны с 1993–1994 гг., когда начали применяться при разведке нефтяных и газовых месторождений [2].

В последние годы возможности цифрового инженерно-геологического моделирования активно используются в сфере строительства и проектирования. Интерес к ним обусловлен постоянным усложнением строительных проектов. Рост объема исходных данных и усложнение геотехнических расчетов традиционными методами ведут к существенному увеличению сроков и финансовых затрат. В этих условиях ЦИГМ становятся востребованным инструментом для эффективного управления информацией и снижения неопределенности.

Ниже рассмотрим существующие подходы к определению термина «ЦИГМ».

В работе [3] под ЦИГМ понимается модель, представляющая собой массив грунта с известными параметрами геометрии, выделенными инженерно-геологическими элементами, условиями гидрогеологии, а также физико-механическими свойствами грунтов. Здесь же авторами приводится и другая трактовка данного термина, в которой ЦИГМ рассмат-

ривается как трехмерная цифровая информационная модель с набором компонент, характеризующих стратиграфию, физико-механические свойства грунтов в основании строительного объекта. Также подчеркивается, что в своей сути ЦИГМ являются не просто информационной моделью, а технологией, которая содержит как геотехническую модель, так и набор технических и программных средств для получения и анализа информации инженерно-геологических и геотехнических исследований.

В опубликованном в 2022 г. Международной ассоциацией по инженерной геологии и окружающей среде (IAEG) обзоре ЦИГМ определена как комплексный набор данных, позволяющий логически оценивать и интерпретировать геологические, геоморфологические и гидрогеологические условия, которые могут повлиять на проекты сооружений и их инженерные характеристики. Она может включать в себя как концептуальные компоненты, так и результаты фактических наблюдений и испытаний, может состоять из ряда взаимоувязанных моделей [4].

В англоязычной научной литературе ЦИГМ – это модель, представляющая подземные геологические условия в инженерно-значимом цифровом формате, обеспечивая эффективный анализ, планирование и управление рисками в строительных и геотехнических проектах. Такие модели создаются путем интеграции геологических, геотехнических данных, данных дистанционного зондирования и могут динамически обновляться и автоматизироваться с помощью передовых вычислительных методов для удовлетворения сложных требований современного развития инфраструктуры (Wang et al., 2021; Kavoura et al., 2016; De-Fu et al., 2009; Wu et al., 2020; Jin, 2021; Tan et al., 2025).

Иной подход демонстрирует строительная нормативная база. Так, к примеру, в Своде правил Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве» содержится термин «Цифровая модель местности», трактуемый как «совокупность взаимосвязанных инженерно-геодезических, инженерно-геологических, гидрометеорологических, инженерно-экологических данных, инженерно-геотехнических данных и данных о территории объекта капитального строительства, представленных в цифровом виде для автоматизированного решения задач управления процессами на жизненном цикле ОКС», что фактически лигитимирует включение геологической информации в цифровую среду строительства. В то же время в законодательстве Республики Беларусь специальный термин ЦИГМ отсутствует.

Стоит отметить, что в некоторых работах вместо понятия «ЦИГМ» применяется термин «Цифровая модель грунта», рассматриваемый как цифровое представление характеристик и свойств грунта, которое может быть использовано на стадии планирования строительства для выбора участка с оптимальными условиями, а также для составления программы будущих инженерно-геологических изысканий [5].

Анализ специальной литературы показал, что существует несколько видов цифровых моделей, применяемых для решения инженерно-геологических задач [6]: «Куб литологии» (одна или набор накладываемых друг на друга трехмерных поверхностей, формирующих рельеф); «Геологическая колонка» (изображение вертикального сечения пород на заданную глубину); продольный геологический разрез (классическое отображение строения земной коры в вертикальной плоскости); облака точек (наиболее распространенный вид трехмерного моделирования для создания детальной модели и оценки проектных решений); «Проектный котлован» (виртуальная раскопка в ГИС с демонстрацией залегания пород, инструментами визуального измерения и семантической информацией); геологические горизонтальные срезы (частный случай геологической колонки, отражающий собой горизонтальное сечение территории на заданную глубину.

К числу основных принципов создания ЦИГМ относятся [7]:

– кастомизация – подразумевает адаптивность модели под запросы конкретного пользователя путем частичного ее изменения под конкретные запросы с учетом специфики работы;

– функциональная гибкость – подразумевает что данные модели, формирующие общее информационное пространство, должны иметь возможность функционально видоизменяться, чтобы реализовать принцип кастомизации в рамках единой модели;

– информационная насыщенность – предполагает, что функциональная гибкость информационного пространства может быть достигнута только при достаточном количестве данных, позволяющем различным образом комбинировать эти данные, тем самым видоизменять форму их представления.

Далее обратимся к анализу конкретных примеров построения цифровых моделей, представленных в научной литературе.

В публикациях [1; 3; 8; 9] рассматриваются общие подходы к созданию цифровых моделей грунта для реализации расчетных процедур. Однако модели подобного рода узкоспециализированы: они не могут быть использованы в качестве единого цифрового пространства и универсального источника информации при изучении какой-либо территории. Как ключевое звено таких моделей авторы рассматривают централизованную базу данных, содержащую информацию из отчетов об инженерно-геологических изысканиях. Для повышения эффективности использования моделей в исследовании допускается применение возможностей искусственного интеллекта.

Создание ЦИГМ относительно территории конкретных городов рассматривается в [6; 10–16]. К примеру, в [10] приводится опыт создания объемной модели подземного пространства для г. Москвы как нового градостроительного инструмента, позволяющего работать в объеме и обеспечивающего быстродействие, возможность оперировать больш*и*ми массивами информации и оперативно ее обрабатывать. Модель состоит из двух блоков: геологическая основа, наземная и подземная инфраструктура.

В работах [11; 12] описан опыт создания ГИС инженерной геологии для г. Перми как составной части информационной системы обеспечения градостроительной деятельности города. Приведены основополагающие принципы проектирования сетевой распределенной информационно-аналитической среды обработки геологических данных, а также алгоритм проектирования модели.

В статье [13] рассматриваются состав, структура и принципы функционирования модели геологической среды г. Казани. Модель предназначена для организации системы геодинамического и гидрогеологического мониторинга на территории города, основанной на крупномасштабной многослойной цифровой графической модели, отражающей инженерно-геологические условия миллионного города. В ее основу положены сведения о геолого-гидрогеологических условиях города, данные по составу, строению и физико-механическим свойствам грунтов, а также многочисленные научные исследования.

Е. С. Семенко, Т. А. Летова и М. Б. Заводчикова в работе [14] формируют один из вариантов методики организации геологических данных на примере сведений из отчета об инженерно-геологических изысканиях конкретного объекта в г. Санкт-Петербурге. Данная методика является хорошим вариантом, но нуждается в доработке и уточнении перечня данных, а также не содержит указаний по графической визуализации для формирования модели.

В публикации [15] приведен пример инженерно-геологической модели г. Ханты-Мансийска, которая рассматривается как синтетическая карта, полученная путем подсчета суммы баллов каждого компонента инженерно-геологической системы: уклона рельефа, коэффициента пораженности территории природными процессами, коэффициента овражно-балочного расчленения, плотности овражной сети, коэффициента

запаса устойчивости, вероятности затопления территории, геодинамической устойчивости и др.

Поиск вариантов информативного представления подземного пространства также рассмотрен в публикации [6]. Здесь на основе результатов аэрофотосъемки территории г. Томска была создана трехмерная цифровая модель местности, доступ к которой обеспечивается через портал «Градостроительный атлас г. Томска». Авторы подчеркивают, что подобная информация крайне востребована, т. к. позволяет градостроителям, проектировщикам и управленцам существенно сократить время получения данных об инженерно-геологических условиях территории.

Цифровое геологическое моделирование городских территорий является важным научно-исследовательским вопросом в рамках изучения концепции «цифрового города» в Китае. Так, учитывая недостатки существующих методов моделирования, авторы работы [16] предлагают создание интегрированной модели на основе модели данных GTP (GeoTopoPrimitive). Она применяется для наземных инженерных сооружений, рельефа, геологических тел и подземных инженерных объектов и состоит из следующих геометрических примитивов: узел (Node), ребро (Edge), дуга (Arc), треугольник (Triangle), GTP. Треугольник является наиболее базовым геометрическим примитивом в этой модели.

На основе вышеупомянутой модели данных может быть создана бесшовная интегрированная модель поверхности и подповерхностного пространства города. В качестве практического примера представлена реальная 3D-геологическая модель разведочного участка, созданная в системе GeoMo3D – системе трехмерного моделирования, разработанной с использованием VC++, OpenGL и SQL Server.

Таким образом, разработка ЦИГМ позволяет органам власти и проектировщикам получать актуальные данные, необходимые для осуществления градостроительной, оценочной и инвестиционной деятельности с минимальными временными затратами.

**Результаты и их обсуждение**

В настоящей работе предложена концепция создания цифровой модели инженерно-геологического строения территории г. Бреста. Ее разработка базируется на опыте, полученном авторами при создании цифровых моделей кайнозойских отложений Брестской и Гродненской областей [17; 18].

В отличие от выполненных региональных моделей, ориентированных на оценку минерально-сырьевого потенциала, ЦИГМ будет выступать в качестве многослойного цифрового представления городского пространства, интегрирующего систематизированные данные о литологическом составе, геотехнических свойствах грунтов, гидрогеологических условиях, рельефе, ландшафтах, почвенном покрове и существующей надземной инфраструктуре в единое параметрическое пространство.

В основу создания ЦИГМ будет положен синтез геоинформационных технологий, методов параметрического моделирования, аппарата нейронных сетей и оригинальных авторских алгоритмов, что позволит рассматривать ее в качестве динамической геопространственной основы для оценки градостроительного потенциала территории.

Концепцией предусмотрено, что архитектура модели будет поддерживать включение объемной надземной инфраструктуры, обеспечивая целостный анализ взаимодействия городской системы с геологическим основанием.

Для достижения заявленных характеристик модели необходимо выполнение комплекса работ, которые могут быть структурированы в виде следующих основных этапов (рисунок):




**Рисунок – Основные этапы создания ЦИГМ г. Бреста**

*1. Сбор первичных данных.* В качестве исходных данных для создания модели послужат фондовые геологические материалы, включающие отчеты о результатах инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий на территории г. Бреста (данные бурения, описания разрезов, полевых и лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов, зондирования), литературные источники (опубликованные результаты научных исследований о природных условиях территории), разноплановые картографические материалы, данные дистанционного зондирования (спутниковые снимки Sentinel-2), открытые пространственные данные OpenStreetMap, цифровые модели рельефа SRTM.

*2. Формирование единого хранилища (геоинформационной базы данных).* На этом этапе будет осуществлена интеграция собранных разнородных материалов в единую геоинформационную среду путем создания комплексной базы данных, структурированной по тематическим блокам. В частности, концепцией предполагается разработка следующих подсистем: «Геологическое строение» (данные о литологии, нормативных и расчетных характеристиках грунтов, их физико-механических свойствах и др.), «Гидрогеологические условия» (данные о глубинах залегания грунтовых вод, зонах возможного подтопления территории и др.), «Природные условия» (информация о рельефе и ландшафтах территории, ее почвенном покрове и др.), «Эколого-геологические условия» (характеристики инженерно-геологических процессов, источников техногенного воздействия и др.), «Инженерно-инфраструктурные условия» (информация о существующей застройке, транспортных и инженерных коммуникациях и др.).

*3. Обработка данных.* На данном этапе будет проведена комплексная обработка собранных и систематизированных данных с использование ряда вычислительных

средств. В частности, для пространственного анализа и интеграции разнородных данных будут применяться встроенные инструменты программного комплекса QGIS, обеспечивающие базовые операции геообработки и визуализации. Моделирование подземной среды, включая интерполяцию геологических поверхностей и построение трехмерных структур, будет выполняться с использованием авторских алгоритмов на основе диаграмм Вороного. Обеспечение построение цифровой модели рельефа, а также объемных моделей существующих зданий и городских коммуникаций будет осуществляться в среде параметрического моделирования Grasshopper, что позволит интегрировать наземные и подземные объекты в единое трехмерное пространство ЦИГМ. Анализ техногенных воздействий и динамики изменений природно-техногенной среды будет проводиться на основе обработки спутниковых снимков с применением методов автоматизированного дешифрирования и классификации.

*4. Ожидаемые результаты и практическая значимость.* В результате реализации вышеперечисленных этапов будет получена ЦИГМ г. Бреста, которая будет выступать комплексной основой градостроительного планирования и позволит: составлять схемы планировочных ограничений для оптимизации функционального зонирования территории; формировать разные виды прикладных карт (геологических гидрогеологических, эколого-геологических); выполнять расчет проектных рисков и создавать основу для автоматизации экспертизы проектных решений; обеспечить межведомственное взаимодействие путем интеграции разрозненных данных в едином информационном пространстве; осуществлять пространственное моделирование в режиме реального времени для поддержки принятия управленческих и инженерных градостроительных решений.

В долгосрочной перспективе создаваемая ЦИГМ рассматривается как базовый элемент *цифрового двойника г. Бреста* – виртуальной модели, объединяющей городскую инфраструктуру и все семантически связанные системы. Цифровой двойник позволит: моделировать развитие города путем визуализации пространственно-временной перспективы и многомерных данных на основе цифрового мастер-плана; синхронизировать деятельность заинтересованных сторон, обеспечивая общий доступ к актуальным данным платформы в режиме реального времени; управлять, обеспечивая принятие обоснованных решений на основе точных данных, аналитики, математического моделирования и прогнозов.

*Научная новизна* проекта по созданию ЦИГМ г. Бреста заключается в том, что впервые в Беларуси на основе собранной и систематизированной геологической, физико-географической, экологической информации об урбанизированной территории будет создана единая цифровая инженерно-геологическая модель, которая будет выступать как основа для оценки градостроительного потенциала территории и разработки эффективных проектных решений развития городских пространств с учетом инженерно-геологических условий.

*Практическая значимость* заключается в том, что созданная ЦИГМ г. Бреста может быть использована: в качестве основы при создании цифрового двойника города; выступать в качестве информационной основы для комитета (центра) по архитектуре и строительству, что поможет поднять управление городом на более высокий цифровой уровень.

Уникальность реализации проекта по созданию ЦИГМ определяется следующими особенностями.

*1. Комплексным подходом к использованию информационных технологий.* Для создания цифровой инженерно-геологической модели г. Бреста планируется применение широкого комплекса информационных технологий – геоинформационных систем, нейросетевых технологий, собственных программных алгоритмов, технологий 3D-моделирования. Все это позволит повысить точность и эффективность анализа

инженерно-геологических условий, а также оптимизировать процесс разработки проектных решений для развития городской территории.

*2. Полнотой модели.* Созданная модель будет включать информацию не только о геологическом строении города, но и о других компонентах инженерно-геологических условий, таких как рельеф, ландшафты, почвенный покров, гидрография, растительность.

*3. Возможностью проводить на базе созданной модели различные вычисления.* На основе созданной модели появится возможность проводить расчеты крутизны рельефа, экспозиции склонов, площадей и объемов земляных работ, а также других характеристик.

*4. Возможностью моделирования, экспериментирования и просчета различных сценариев развития города и их наглядного представления.* Разрабатываемая модель позволит городским планировщикам наглядно представить и оценить потенциальные последствия предлагаемых ими стратегий развития города с учетом геологических и инженерно-экологических факторов, что позволит просчитать ожидаемые эффекты.

*5. Спецификой хранения информации.* Все данные будут систематизированы и представлены в цифровом виде, что позволит сократить сроки получения информации, необходимой при строительной деятельности; повысить научную обоснованность проектных предложений за счет более достоверной информационной базы; сформировать единое городское цифровое информационное пространство.

Предполагается, что основными пользователями разрабатываемой модели будут являться Комитет по архитектуре и строительству Брестского областного исполнительного комитета, Брестский городской центр архитектуры и строительства при Брестском городском исполнительном комитете, Институт комплексного проектирования объектов строительства г. Брест (ОАО «Брестпроект»), УП «БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА», Научно-производственный центр по геологии Минприроды Республики Беларусь, Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, учреждения высшего образования Республики Беларусь.

**Заключение**

Таким образом, в настоящей работе авторами предложена концепция разработки ЦИГМ урбанизированной территории, которая рассматривается как базовый элемент и фундаментальная основа для последующего формирования цифрового двойника города, обеспечивающего синхронизацию заинтересованных сторон и поддержку принятия управленческих решений.

Результаты реализации модели могут быть использованы при решении следующих задач: формирования градостроительной стратегии; выявления наиболее перспективных участков подземного пространства; оценки инженерно-геологических условий на предпроектной стадии; разработки обоснованных программ инженерно-геологических и геотехнических исследований; прогноза активизации опасных геологических процессов при техногенном воздействии; предварительного решения о типе фундаментных и ограждающих конструкций и о применении мероприятий по обеспечению инженерной защиты, минимизирующих негативное влияние инженерно-геологических процессов, разработка многовариантных проектов; построение основы для гидрогеологического и геомеханического моделирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болдырев, Г. Г. Трехмерное моделирование и визуализация данных инженерно-геологических изысканий. Состояние вопроса и практическая реализация / Г. Г. Болдырев // Инженерные изыскания. – 2022. – № 1. – С. 8–26. – DOI: https://doi.org/10.25296/1997-8650-2022-16-1-8-26.

2. Закревский, К. Е. Геологическое 3D-моделирование / К. Е. Закревский. – М. : ООО ИПЦ «Маска», 2009. – 375 с.

3. Красильников, В. П. Об актуальности применения BIM-технологии в инженерно-геологических изысканиях / В. П. Красильников, А. В. Андрианов, П. А. Красильников // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – № 2 (91). – С. 263–271.

4. Baynes, F. J., Parry, S. Guidelines for the development and application of engineering geological models on projects. International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG) Commission 25 Publication № 1. – 2022. – 129 p.

5. Седова, Э. В. Методика формирования единой базы данных результатов геологических изысканий для построения цифровой модели грунта в масштабе города / Э. В. Седова. – Екатеринбург : УрФУ, 2024. – 85 с.

6. Гатина, Н. В. Представление подземного пространства в открытых информационных системах / Н. В. Гатина // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – № 3. – С. 207–214.

7. Самосват, В. В. Трехмерная цифровая модель геологической среды как ключевой элемент BIM-технологии / В. В. Самосват // Независимый электронный журнал «Геоинфо». – 2020. – № 3. – URL: https://geoinfo.ru/product/samosvat-viktor-vadimovich/trekhmernaya-cifrovaya-model-geologicheskoj-sredy-kak-klyuchevoj-ehlement-bim-tekhnologii-42694.shtml.

8. Иванусь, И. В. К вопросу о создании цифровой трехмерной инженерной геологической модели территории для получения полного цикла BIM / И. В. Иванусь // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 11 4 (67). – С. 126–131.

9. Ковалев, И. Н. Использование геоинформационных систем и BIM-технологий в проектировании и строительстве / И. Н. Ковалев // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 7–11.

10. Жидков, Р. Ю. Трехмерная компьютерная модель подземного пространства как инновационный градостроительный инструмент / Р. Ю. Жидков, М. Н. Бучкин, А. Ю. Серов // Жилищное строительство. – 2017. – № 5. – С. 30–33.

11. Болдырев, Г. Г. BIM в зарубежной геотехнической практике / Г. Г. Болдырев, А. А. Дивеев // Геоинфо. – 2022. – № 6. – С. 48–61.

12. Разработка принципов и создание единой геоинформационной системы геологической среды г. Перми (инженерная геология и геоэкология) / А. В. Коноплев [и др.] // Современные проблемы науки и образования : сетевое издание. – 2012. – № 6. – URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=7893.

13. Латыпов, А. И. Использование цифровой модели геологической среды города Казани для решения инженерно-геологических задач / А. И. Латыпов, Н. И. Жаркова // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации : материалы XII общерос. конф. изыскат. орг., Москва, 7–9 дек. 2016 г. / М. : ООО Геомаркетинг, 2016. – С. 16–21.

14. Семененко, Е. С. Оценка инженерно-геологических данных для подготовки информационной геотехнической модели / Е. С. Семененко, Т. А. Летова, М. Б. Заводчикова // Флагман науки. – 2023. – № 4. – С. 36–43.

15. Ковязин, И. Г. Информационная инженерно-геологическая модель городских территорий для строительного освоения (на примере г. Ханты-Мансийска) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 1.6.7 / Ковязин Иван Геннадьевич ; ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет». – М., 2021. – 23 с.

16. De-Fu, C. 3D spatial modeling for urban surface and subsurface seamless integration / C. De-Fu, W. Li, Y. Zuo-Ru // IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS). – 2009. – Vol. 5. – DOI: 10.1109/IGARSS.2009.5417787.

17. Геолого-генетическое моделирование кайнозойских отложений Брестской области с применением информационных технологий / А. Н. Маевская [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2023. – № 1. – С. 107–118.

18. Опыт создания цифровой модели строения кайнозойских отложений территории Гродненской области как основы для прогноза минерально-сырьевой базы строительных полезных ископаемых / А. Н. Маевская, М. А. Богдасаров, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2025. – № 2. – С. 136–144.

REFERENCES

1. Boldyrev, G. G. Trekhmernoye modelirovaniye i vizualizatsiya dannykh inzhenerno-geologicheskikh izyskanii. Sostoyaniye voprosa i prakticheskaya realizatsiya / G. G. Boldyrev // Inzhenernyye izyskaniya. – 2022. – № 1. – S. 8–26. – DOI: https://doi.org/10.25296/1997-8650-2022-16-1-8-26.

2. Zakrevskii, K. Ye. Geologicheskoye 3D-modelirovaniye / K. Ye. Zakrevskii. – M. : OOO IPTS «Maska», 2009. – 375 s.

3. Krasil’nikov, V. P. Ob aktualnosti primeneniya BIM-tekhnologii v inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh / V. P. Krasil’nikov, A. V. Andrianov, P. A. Krasil’nikov // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel’nogo universiteta. Seriya: Stroitel’stvo i arkhitektura. – 2023. – № 2 (91). – S. 263–271.

4. Baynes F. J., Parry S. Guidelines for the development and application of engineering geological models on projects. International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG) Commission 25 Publication № 1. – 2022. – 129 p.

5. Sedova, Ye. V. Metodika formirovaniya yedinoi bazy dannykh rezul’tatov geologicheskikh izyskanii dlya postroyeniya tsifrovoi modeli grunta v masshtabe goroda / Ye. V. Sedova. – Yekaterinburg : UrFU, 2024. – 85 s.

6. Gatina, N. V. Predstavleniye podzemnogo prostranstva v otkrytykh informatsionnykh sistemakh / N. V. Gatina // Interekspo Geo-Sibir’. – 2019. – № 3. – S. 207–214.

7. Samosvat, V. V. Trekhmernaya tsifrovaya model’ geologicheskoi sredy kak klyuchevoi element BIM-tekhnologii / V. V. Samosvat // Nezavisimyi elektronnyi zhurnal «Geoinfo». – 2020. – № 3. – URL: https://geoinfo.ru/product/samosvat-viktor-vadimovich/trekhmernaya-cifrovaya-model-geologicheskoj-sredy-kak-klyuchevoj-ehlement-bim-tekhnologii-42694.shtml.

8. Ivanus, I. V. K voprosu o sozdanii tsifrovoi trekhmernoi inzhenernoi geologicheskoi modeli territorii dlya polucheniya polnogo tsikla BIM / I. V. Ivanus // Aktualnyye nauchnyye issledovaniya v sovremennom mire. – 2020. – № 11 4 (67). – S. 126–131.

9. Kovalev, I. N. Ispolzovaniye geoinformatsionnykh sistem i BIM-tekhnologii v proyektirovanii i stroitel’stve / I. N. Kovalev // Molodezhnyi vestnik IrGTU. – 2020. – T. 10, № 4. – S. 7–11.

10. Zhidkov, R. Yu. Trekhmernaya kompyuternaya model’ podzemnogo prostranstva kak innovatsionnyi gradostroitelnyi instrument / R. Yu. Zhidkov, M. N. Buchkin, A. Yu. Serov // Zhilishchnoye stroitel’stvo. – 2017. – № 5. – S. 30–33.

11. Boldyrev, G. G. BIM v zarubezhnoi geotekhnicheskoi praktike / G. G. Boldyrev, A. A. Diveyev // Geoinfo. – 2022. – № 6. – S. 48–61.

12. Razrabotka printsipov i sozdaniye yedinoi geoinformatsionnoi sistemy geologicheskoi sredy g. Permi (inzhenernaya geologiya i geoekologiya) / A. V. Konoplev [i dr.] // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya : setevoye izdaniye. – 2012. – № 6. – URL: https://science-education.ru/ru/-article/view?id=7893.

13. Latypov, A. I. Ispolzovaniye tsifrovoi modeli geologicheskoi sredy goroda Kazani dlya resheniya inzhenerno-geologicheskikh zadach / A. I. Latypov, N. I. Zharkova // Perspektivy razvitiya inzhenernykh izyskanii v stroitel’stve v Rossiyskoi Federatsii : materialy XII obshcheros. konf. izyskat. org., Moskva, 7–9 dek. 2016 g. / M. : OOO Geomarketing, 2016. – S. 16–21.

14. Semenenko, Ye. S. Otsenka inzhenerno-geologicheskikh dannykh dlya podgotovki informatsionnoi geotekhnicheskoi modeli / Ye. S. Semenenko, T. A. Letova, M. B. Zavodchikova // Flagman nauki. – 2023. – № 4. – S. 36–43.

15. Kovyazin, I. G. Informatsionnaya inzhenerno-geologicheskaya model’ gorodskikh territorii dlya stroitel’nogo osvoyeniya (na primere g. Khanty-Mansiiska) : avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral.

nauk : 1.6.7 / Kovyazin Ivan Gennad'evich ; FGBOU VO «Ural'skiy gosudarstvennyi gornyi universitet». – M., 2021. – 23 s.

16. De-Fu, C. 3D spatial modeling for urban surface and subsurface seamless integration / C. De-Fu, W. Li, Y. Zuo-Ru // IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS). – 2009. – Vol. 5. – DOI: 10.1109/IGARSS.2009.5417787.

17. Mayevskaya, A. N. Geologo-geneticheskoye modelirovaniye kainozoyskikh otlozhenii Brestskoi oblasti s primeneniyem informatsionnykh tekhnologii / A. N. Mayevskaya [i dr.] // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya. – 2023. – № 1. – C. 107–118.

18. Opyt sozdaniya tsifrovoi modeli stroyeniya kainozoyskikh otlozhenii territorii Grodnenskoi oblasti kak osnovy dlya prognoza mineral'no-syryevoi bazy stroitel'nykh poleznykh iskopayemykh / A. N. Mayevskaya, M. A. Bogdasarov, D. O. Petrov, N. N. Sheshko // Vesnik Brestskaga universiteta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab Zyamli. – 2025. – № 2. – S. 136–144.

*Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.03.2026*