

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ / ENGINEERING GEOLOGY,
PERMAFROST AND SOIL SCIENCE**

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2>

ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ И РЕЛЬЕФА В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЁМКЕ

Обзор

Баборыкин М.Ю.^{1,*}, Жидиляева Е.В.²

¹ ORCID : 0009-0005-8203-2755;

¹ ООО «Аэрогеоматика», Краснодар, Российская Федерация

² Кубанский государственный университет, Краснодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bog642[at]mail.ru)

Аннотация

Цифровые модели местности и рельефа являются основным инструментом в инженерно-геологической съемке. В статье рассматриваются методы создания цифровых моделей местности и рельефа, приводится обзор цифровых моделей, а также указаны их значение и практика применения в инженерно-геологической съемке. Особое внимание уделяется возможностям их использования для анализа инженерно-геологических условий на участке съемки. Приводятся примеры комплексирования с аэрофизическими и наземными геофизическими методами. В статье рассматриваются примеры использования цифровых моделей в различных проектах в области инженерной геологии. Рассмотренные в статье цифровые модели местности и цифровые модели рельефа могут быть использованы в практике инженерно-геологической съемки для повышения эффективности и точности выполнения различных задач.

Ключевые слова: инженерно-геологическое картирование, инженерно-геологическая съемка, цифровая модель местности, цифровая модель рельефа, опасные геологические процессы.

DIGITAL TERRAIN AND RELIEF MODELS IN GEOTECHNICAL SURVEYING

Review article

Baborikin M.^{1,*}, Zhidilyaeva Y.V.²

¹ ORCID : 0009-0005-8203-2755;

¹ Aerogeomatika LLC, Krasnodar, Russian Federation

² Kuban State University, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (bog642[at]mail.ru)

Abstract

Digital terrain and relief models are the main tool in geotechnical engineering survey. The article discusses methods of creating digital terrain and relief models, gives an overview of digital models, and specifies their importance and practice of application in geotechnical engineering survey. Special attention is paid to the possibilities of their use for analysis of engineering-geological conditions in the survey area. Examples of integration with aerogeophysical and ground geophysical methods are presented. The article discusses examples of using digital models in various projects in the field of engineering geology. The digital terrain models and digital elevation models discussed in the paper can be used in the practice of engineering geological survey to improve the efficiency and accuracy of various tasks.

Keywords: engineering-geological mapping, engineering-geological survey, digital terrain model, digital elevation model, hazardous geological processes.

Введение

Цифровые модели местности (ЦММ) и цифровые модели рельефа (ЦМР) – необходимый инструмент для проведения инженерно-геологической съемки, их применение является современным подходом к анализу и оценке геологических характеристик местности. Использование ЦММ и ЦМР позволяет получить детальное представление о топографии и рельефе территории, высотах горных массивов, глубине рек и озер, а также о других особенностях местности. Это позволяет спланировать строительство инженерных сооружений, выбрать подходящие участки подъезды к ним и места хранения строительных материалов.

Благодаря использованию ЦММ и ЦМР инженерно-геологическая съемка становится значительно более точной и эффективной, что позволяет существенно сократить сроки проведения и снизить затраты на исследования местности.

Основная часть

2.1. Обзор цифровых моделей

Цифровые модели представляют собой компьютерные модели, созданные на основе данных, полученных из различных источников, таких как аэрофотосъемка (АФС), воздушное лазерное сканирование (ВЛС), спутниковые изображения (ДЗЗ), или показания GPS.

Цифровые модели позволяют визуализировать и анализировать особенности рельефа в выбранной области, включая горные хребты, ущелья, реки, озера и другие объекты ландшафта. Они помогают исследователям, а также изыскателям и проектировщикам в планировании территории, строительстве объектов и в решении других аналитических задач. Цифровые модели можно разделить на цифровые модели местности (ЦММ) и цифровые модели рельефа (ЦМР).

ЦММ включает в себя не только рельеф, но и другие характеристики территории, такие как гидрография, лесонасаждения, землепользование и др. Она может быть создана на основе различных источников данных, включая космические снимки и различные топографические, геологические и иные карты [10] (рис. 1).



Рисунок 1 - Фрагмент ЦММ, созданной по данным ВЛС и АФС
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.1>

Примечание: плотность массива точек лазерных отражений (ТЛО) 80-100/м²; разрешение 10 см в 1 пикс; западный склон хребта Аибга (Горная Олимпийская Деревня), курорт Красная поляна Краснодарского края

ЦМР содержит информацию о высоте только истинного рельефа без учета растительности, зданий и других антропогенных объектов [9], [11], [12] (рис. 2).

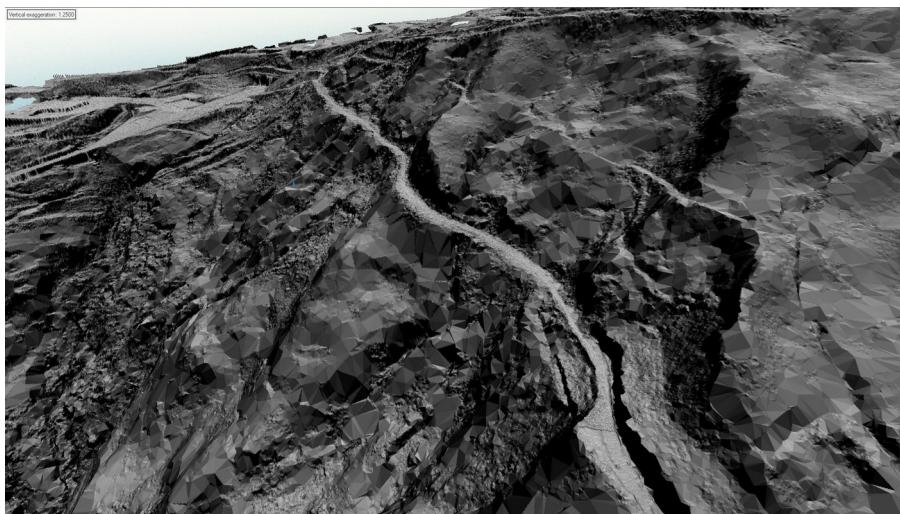


Рисунок 2 - Фрагмент ЦМР, созданной по данным ВЛС
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.2>

Примечание: плотность ТЛО от поверхности грунта 5-10/м²; западный склон хребта Аибга, курорт Красная поляна Краснодарского края

2.2. Значение цифровых моделей местности и рельефа в инженерно-геологической съемке

Цифровые модели широко применяются в различных областях: геология, география, экология, сельское хозяйство, градостроительство и др. Они позволяют получать ценные данные о поверхности Земли, анализировать территории и принимать важные решения в различных сферах деятельности.

ЦММ и, в частности, ЦМР, имеют большое значение и в современной инженерно-геологической съемке. Они позволяют получить объективные данные о характеристиках местности и рельефа, а также о расположении

геологических объектов и особенностей геологической структуры. То есть модели позволяют проводить более точное определение границ геологических процессов, прогнозировать изменения природных процессов, планировать размещение инженерных коммуникаций, определять опасности для строительных объектов и многое другое. Благодаря использованию цифровых моделей при инженерно-геологической съемке, полученная информация становится ценной для проведения различных инженерных работ, что, в свою очередь, позволяет повысить безопасность и эффективность различных проектов [1], [2], [6].

2.3. Комплексирование

Комплексирование методов – процесс объединения таких методов, как аэрофотосъемка, спутниковые данные, радиолокационные наблюдения, геофизические методы исследования и другие, для получения более полной и точной информации о местности и объектах.

Дистанционные методы имеют ряд преимуществ перед традиционными методами, например, доступ к труднодоступным и удаленным районам, возможность детального изучения объектов, высокая скорость сбора данных и т.д. Однако при использовании только одного метода возможно получение неполной или искаженной информации. Комплексирование дистанционных методов позволяет получить более полное и точное представление о местности и объектах, а также снизить риск получения недостоверных данных.

Наиболее практическим является комплексирование ВЛС с АФС. Данное сочетание позволяет получить ЦММ с естественными цветами растительности и грунтовой поверхности (рис. 3).

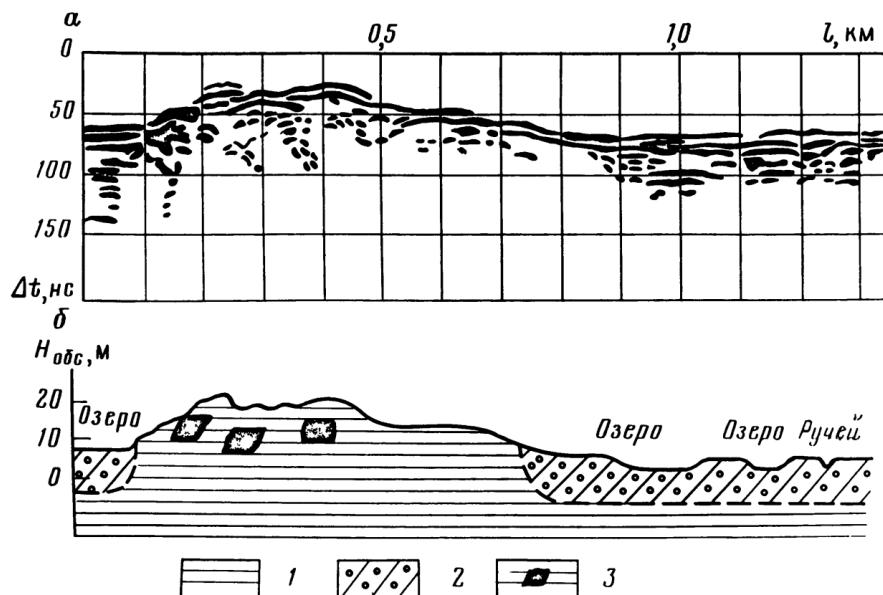


Рисунок 3 - Фрагмент ЦММ, созданной по данным ВЛС и АЭС

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.3>

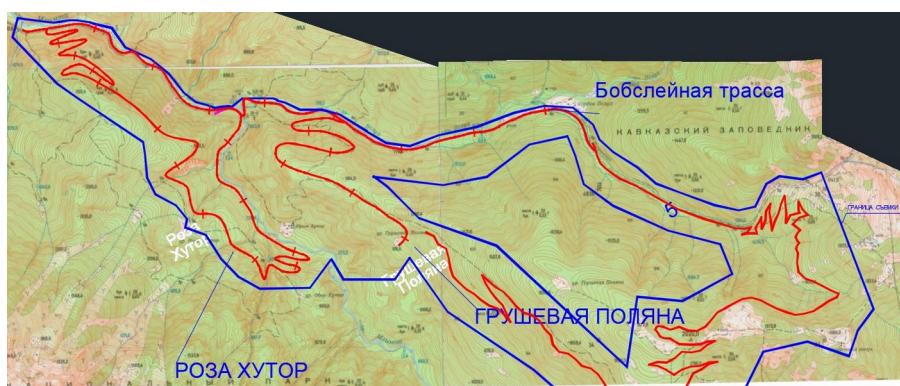
Примечание: плотность ТЛО 80-100/m²; разрешение 10 см в 1 пикс; западный склон хребта Аибга, курорт Красная поляна Краснодарского края

Комплексирование ВЛС и АФС с аэрогеофизическими методами позволяет получать «куб» данных. Например, ЦММ или ЦМР могут быть использованы для определения высоты объектов и рельефа местности, а геофизические данные – для оценки грунтов и их физических особенностей. Одним из примеров может являться радиолокационное подповерхностное зондирование (рис. 4), экспериментально подтвержденное в нескольких физико-географических условиях М.И. Финкельштейном, В.А. Кутевым, В.П. Золотаревым, и описанное в книге «Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии» [23].



Примечание: по истм. [23]

Зарекомендовавшим себя методом в инженерной геологии может выступать электромагнитное зондирование методом зондирования становлением поля в ближней зоне – метод переходных процессов (ЗСБ-МПП). В практическом отношении данный метод применялся для инженерных изысканий в совокупности с ВЛС на Олимпийских объектах горного кластера [17] (рис. 5, 6).



Примечание: олимпийские объекты, горный кластер; глубинность проведения исследований – 50 м, пространственная плотность наблюдений – 10 м; расстояние между профилями – 100 м; синей линией обозначена площадь проведения аэрогеофизических инженерных исследований, красной линией – проектируемая трасса

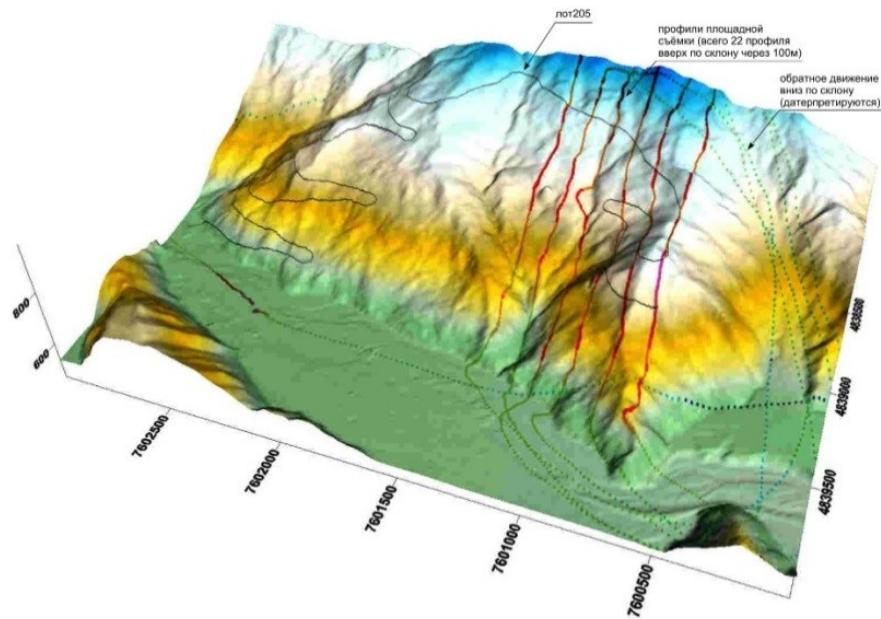


Рисунок 6 - Фрагмент ЦМР западного склона хребта Аибга с профилями аэрогеофизических инженерных исследований, обозначенными красными линиями
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.6>

Примечание: олимпийские объекты, горный кластер; плотность ТЛО от поверхности грунта 2-5/1 м²

Компоновка данных ВЛС с наземными геофизическими методами позволяет получать «куб» данных на небольших участках изучения местности, примерами могут быть объекты: «Автомобильная дорога М-4 Дон (оползневой участок), Липецкая область» (рис. 7) [7] и «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края – Газификация Тамани» (рис. 8, 9) [4].

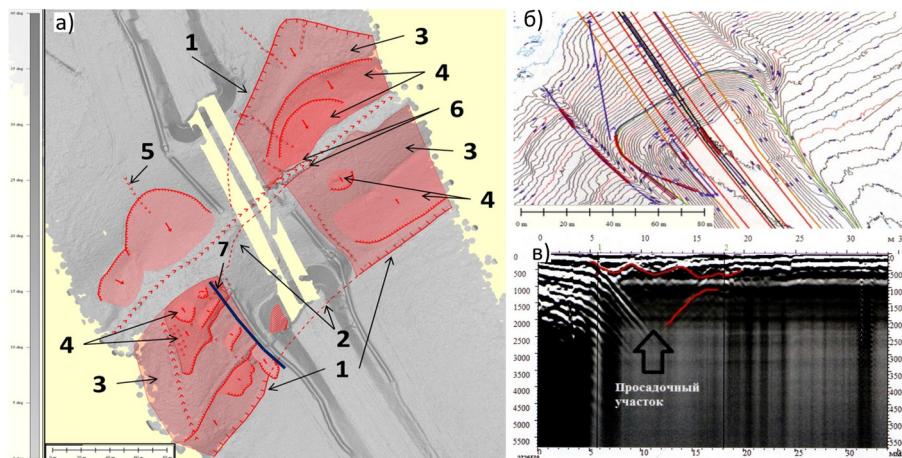


Рисунок 7 - Оползневой участок «Автомобильная дорога М-4 Дон, Липецкая область»:

а – ЦМР, вид сверху: 1 – главный уступ, 2 – предполагаемые контуры оползня, существовавшие до техногенного воздействия; 3 – тело оползня, 4 – последующие генерации оползневых структур, развивающихся на теле оползня; 5 – линейная эрозия временного водотока, 6 – боковая эрозия временного водотока, 7 – профиль радарограммы; б – фрагмент плана участка с нанесенными просадочными участками (синие линии – створы прохода георадара, красные – участки вертикальных перемещений грунта, обнаруженные георадиолокационными методами; в – радарограмма с признаками вертикального перемещения грунтового массива (антенный блок 150 МГц)
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.7>

Примечание: с плотностью ТЛО 10-30/м²; по ист. [7]

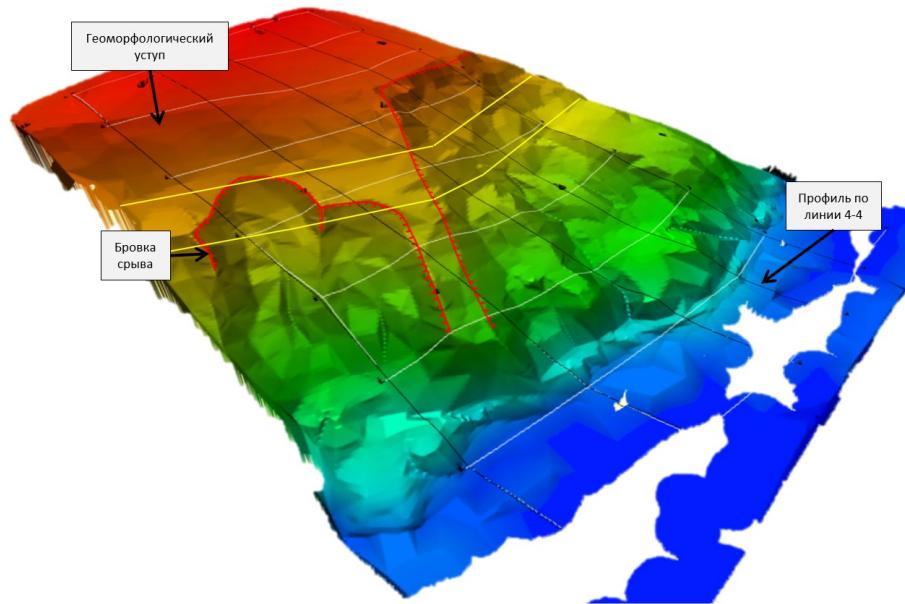


Рисунок 8 - ЦРМ оползневого участка № 1 объекта «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края - Газификация Тамани»

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.8>

Примечание: плотность ТЛО 2-6 м²

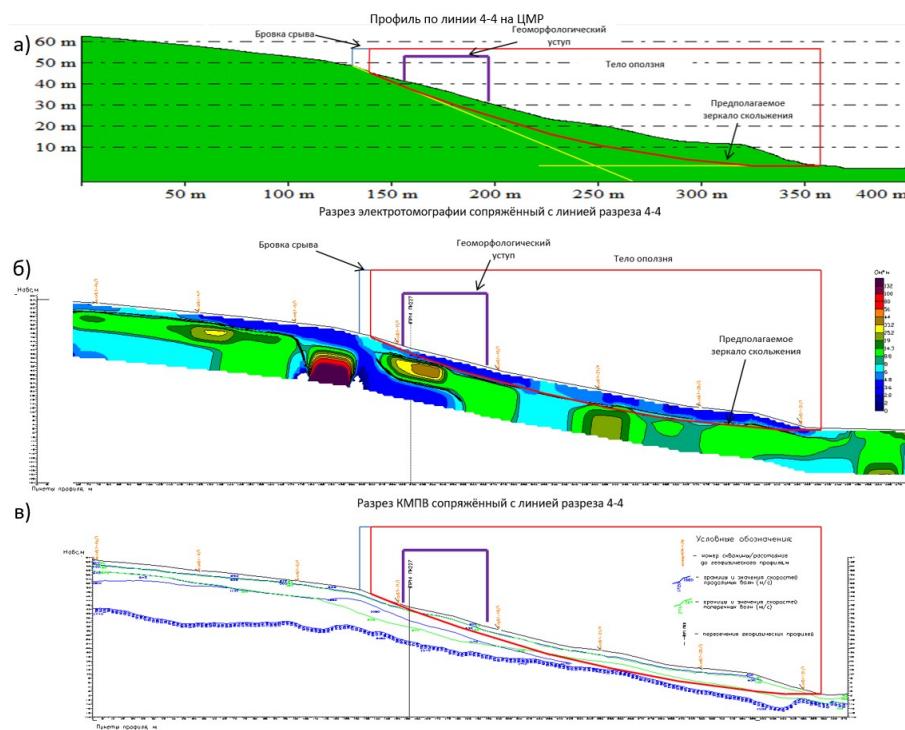


Рисунок 9 - Профиль по линии 4-4 оползневого участка № 1 объекта «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края - Газификация Тамани»:

а - профиль по ЦРМ; б - разрез электротомографии, сопряженный с линией разреза 4-4; в - разрез геофизический (метод корреляционный преломленных волн), сопряженный с линией разреза 4-4

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.9>

Примечание: по ист. [4]

2.4. Концепция создания и характеристики цифровых моделей местности и рельефа

Существует несколько концепций, которые лежат в основе создания ЦММ и ЦМР. Одна из них – использование точного и подробного сканирования местности с помощью лазерного сканера. Это позволяет получить высококачественную информацию об удаленности и высоте каждой точки на поверхности земли [1], [15], [26], [27]. Другая концепция – использование международных стандартов и нормативов для обеспечения качества картографической информации. Это включает использование точных и однородных систем координат, а также гарантирует соответствие проектной документации и прочих нормативно-технических документов [27].

2.5. Концепция создания цифровых моделей и их характеристики при комплексировании

Создание цифровых моделей в инженерной геологии дистанционными методами включает в себя:

1. Сбор данных: процесс сбора данных о поверхности и геологических характеристиках может включать использование различных инструментов: спутниковые снимки, лазерные сканеры и аэрофотограмметрические камеры.
2. Обработка данных: полученные данные обрабатываются для удаления шума и корректировки ошибок.
3. Создание модели: на основе обработанных данных создается цифровая модель, которая может быть представлена в различных форматах: 2D/3D-карты и графики.
4. Оценка точности: каждая модель оценивается на точность и достоверность данных.

Одной из характеристик цифровых моделей может быть их разрешение. Разрешение цифровых моделей может варьироваться в зависимости от используемого метода сбора данных и требуемого уровня детализации. Обычно этот параметр составляет от десятков сантиметров до метров для спутниковых данных и до сантиметров для данных лазерного сканирования. При создании ЦМР или ЦММ из данных ВЛС характеристикой разрешения служит плотность ТЛО на 1 м².

Светотеневые характеристики ЦМР или ЦММ могут быть изменены с помощью различных инструментов моделирования и визуализации. Например, можно использовать методы затенения, чтобы создать более реалистичное изображение рельефа или подсветить микрорельеф поверхности для детальной интерпретации при распознавании чего-либо. Также можно использовать различные цвета и текстуры для отображения различных типов поверхностей.

Сочетание характеристик разрешение моделей и светотеневые характеристики позволяют интерпретировать дополнительные характеристики:

1. *Расстояния и глубины*. Цифровые модели могут быть использованы для измерения расстояния геологических объектов, прямо или косвенно отображающихся на поверхности.

2. При интеграции с другими данными (геоданные, климатические, экономические и иные данные):

2.1 *Геологические характеристики*. Модели могут отображать литологические характеристики грунта, природу и состояние горных пород, а также другие геологические данные [2], [18].

2.2 *Профили*. Модели могут создавать профили поверхности или геологических слоев, что помогает составлять детальные карты и планы [2].

Анализ и визуализация: ЦМР позволяют проводить различные анализы и визуализации для изучения характеристик местности и рельефа. Например, можно измерить высоты, определить направления склонов, анализировать покрытие земли и т. д.

2.6. Создания численных моделей местности

Численные модели местности представляют собой математическое описание поверхности земли или другой территории. Они создаются с помощью геоинформационных систем (ГИС) и используются в различных областях, включая геологию, геодезию, геофизику, геоморфологию и др.

Численные модели местности используются для различных целей, например, для создания трехмерных визуализаций как рельефа, так и местности в целом, определения площадей затопления при наводнениях или определение изменений в рельефе, а также могут быть применены для моделирования инженерно-геологических процессов. Они также могут быть использованы для составления карт районирования (инженерно-геологического, гидрогеологического, зон аэрации и т.д.), анализа зон риска для строительства или управления земным фондом и т.п.

Определение точного вида численной модели местности зависит от конкретных целей и предметов исследования.

Ярким примером при инженерно-геологической съёмке на ЦММ или ЦМР может быть выделение склонов по крутизне и морфологическому типу [21], которые, в свою очередь, несут в себе оценочную информацию о возможности появления или протекания склонового процесса (рис. 10).



Рисунок 10 - Карта уклонов М 1:500 оползневого участка № 4 «Южный поток»
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.10>

Примечание: по истм. [16]

2.7. Применение цифровых моделей местности и рельефа при инженерно-геологической съемке

ЦММ и ЦМР могут быть использованы в инженерно-геологической съемке для:

- создания цифровой карты геологических структур: на основе этих моделей можно создать цифровую карту геологических структур местности. Это позволяет идентифицировать места таких потенциальных опасностей, как грунтовые смещения, оползни и лавины (рис. 11) [16];
- определения наиболее опасных участков: анализ цифровых моделей местности и рельефа позволяет определить места, где есть риск возникновения опасных природных явлений, таких как, наводнения, сель или оползни и др. (рис. 12) [3];
- оценки устойчивости склонов: ЦМР используются для оценки устойчивости склонов и определения мест, где есть риск локальных смещений или обрушений [24]. По профилю ЦМР в сочетании с бурением и лабораторными исследованиями проводится расчет устойчивости склона либо вручную [22], либо с помощью специализированного программного продукта (рис. 13);
- оценки динамики рельефа: анализ ЦММ позволяет определить зоны изменений в рельефе в положительную (аккумуляция) или отрицательную сторону (денудация) с учетом зон транзита, где наблюдается наибольшая активность подземных вод (рис. 14) [16];
- оценки распределения поверхностных и грунтовых вод: анализ ЦММ позволяет определить зоны стоков поверхностных вод (гидрология) (рис. 15), а также зоны перенасыщения водоносных горизонтов и зон, где наблюдается наибольшая активность подземных вод (гидрогеология) [18].
- планирования подземных строительных работ (например, строительство туннелей, метро, трубопроводов и дренажных систем) (рис. 16).

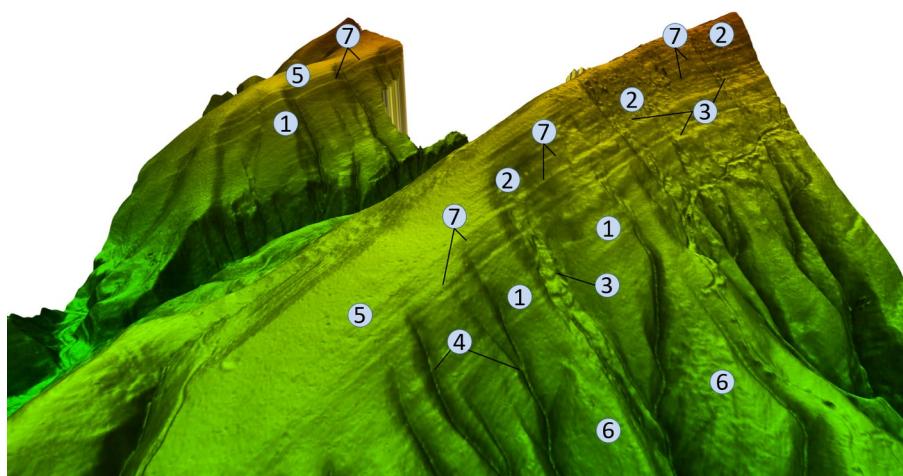


Рисунок 11 - ЦМР, на которой видны элементы залегания коренных пород. Краснодарский край, объект «Магистральный продуктопровод «Туапсинский район»:

1 – горные склоны; 2 – осьпи; 3 – ложбины движения осьпей; 4 – эрозионные врезы; 5 – приводораздельные склоны покрытые чехлом; 6 – склоны покрытые чехлом; 7 – переслаивание коренных пород

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.11>

Примечание: плотность ТЛО $5-8/m^2$

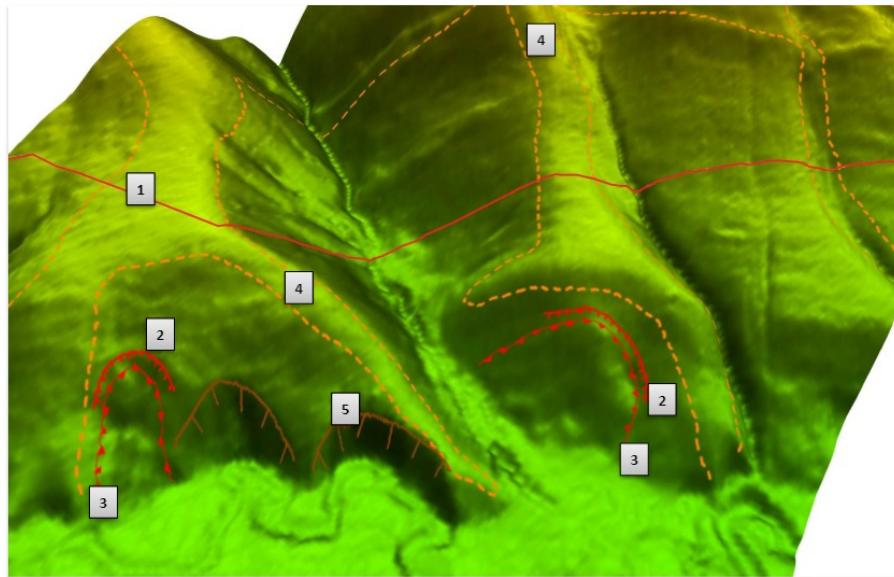


Рисунок 12 - ЦМР объекта «Реконструкция и расширение газотранспортных мощностей «Газопровод Крымск-Верхнебаканский»:

1 – трасса проектируемого газопровода; 2 – бровка главного уступа; 3 – оползень; 4 – зона распространения крипа (оползнеопасный склон); 5 – бровка обрыва
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.12>

Примечание: плотность ТЛО $6-10/m^2$

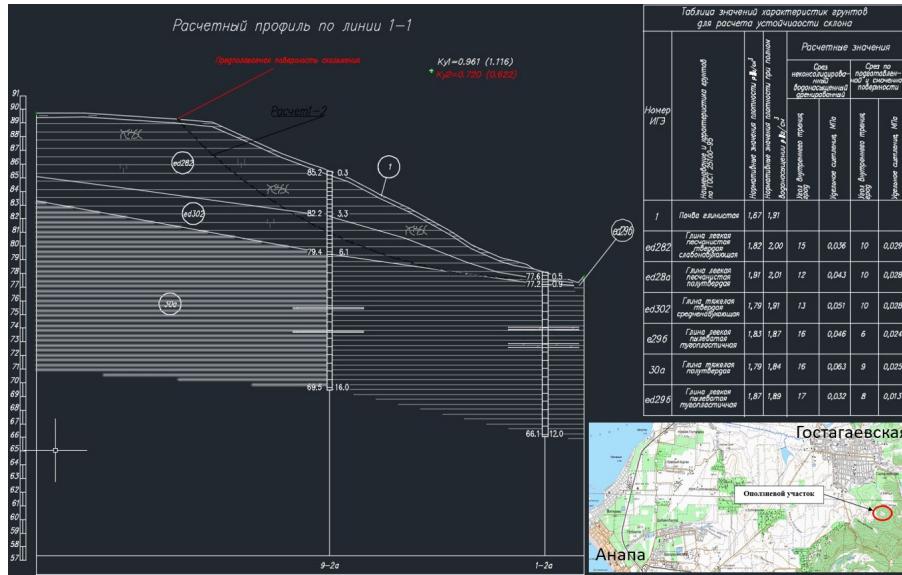


Рисунок 13 - Расчет устойчивости склона по профилю 1-1 оползневого тела на объекте «Южный поток» в специализированной программе «GeoStudio»
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.13>

Примечание: расчет 1 в природном состоянии; схема сдвига: неконсолидированный в водонасыщенном состоянии; сейсмический коэффициент – без учета сейсмичности; коэффициент устойчивости $Ky1=0,961$ (1,116); расчет 2 в прогнозном состоянии; схема сдвига: по подготовленной и смоченной поверхности («плашка по плашке»); сейсмический коэффициент – 0,05 (расчет для 8 баллов); коэффициент устойчивости $Ky2=0,720$ (0,622)

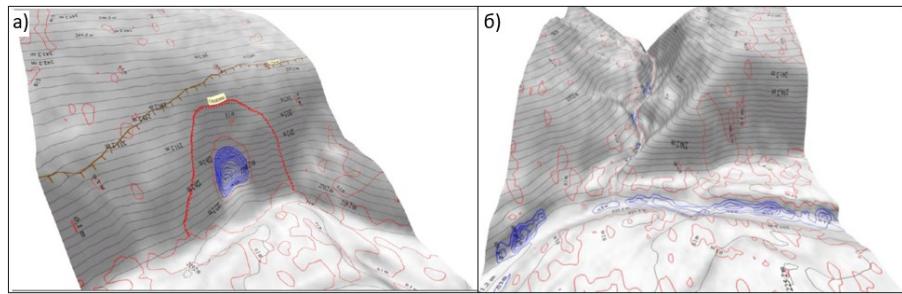


Рисунок 14 - 3D динамическая модель. Краснодарский край, объект «Магистральный продуктопровод «Туапсинский район»:

a -динамика оползневого склона; *б* - динамика эрозионных врезов

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.14>

Примечание: ЦМР с плотностью ТЛО 5-8/м²

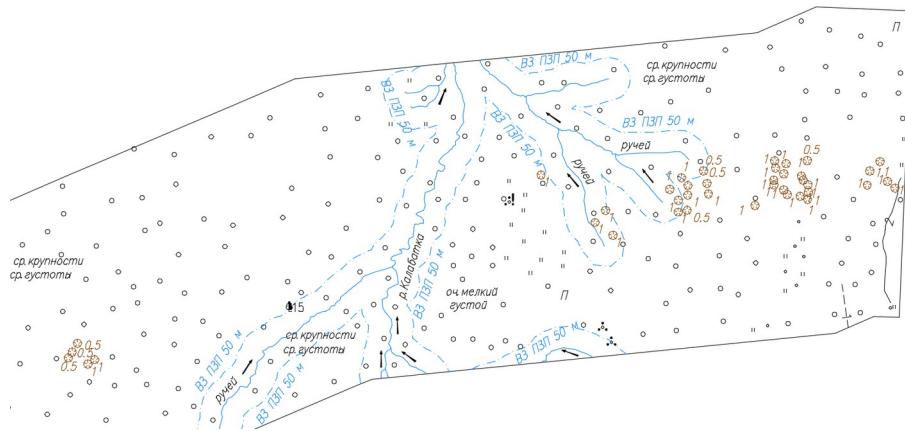


Рисунок 15 - Фрагмент гидрологического плана М 1:1000, созданного по данным ЦММ, объект «Южный поток»

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.15>

Примечание: ВЛС с ПМТЛО 5-8/м² и АФС

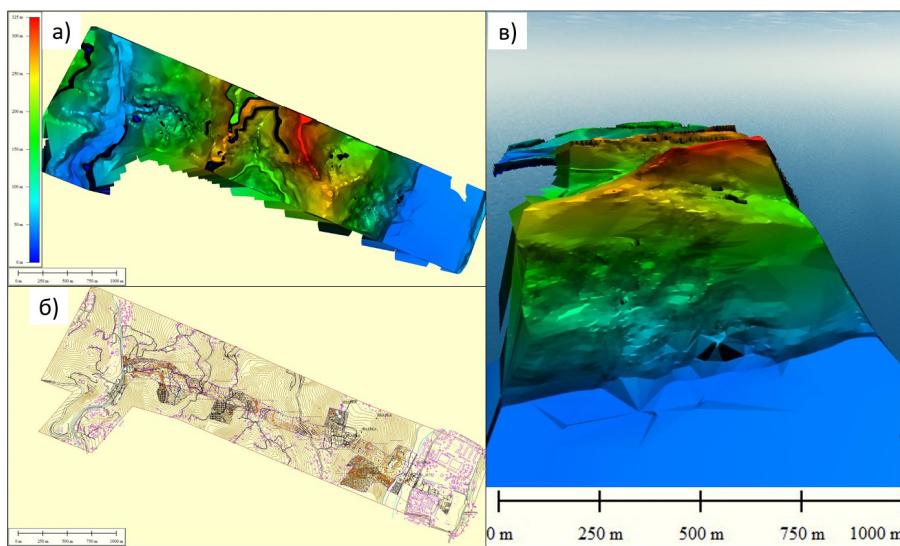


Рисунок 16 - Фрагмент плана рабочей документации проектируемого тоннеля на объекте «Автомобильная дорога Джубга-Сочи» на участке обхода г. Сочи:
а - фрагмент ЦМР, созданный из данных ВЛС (с плотностью ТЛО 4-6 м²); б - фрагмент топографического плана, созданного из данных ВЛС, совмещенного с АФС; в - 3D ЦМР, визуализированная для анализа склоновых процессов на порталах проектируемого тоннеля

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.16>

2.8. Определение геометрических особенностей объектов

Определение геометрических особенностей объектов на ЦММ и ЦМР является процессом извлечения информации о форме, размере и расположении объектов. Основные геометрические особенности объектов, которые можно определить на цифровых моделях:

- площадь – определяется путем расчета площади, ограниченной контуром объекта;
- длина и ширина – определяются как наибольшее расстояние между точками по длине и ширине объекта;
- высота и глубина – определяются путем измерения расстояния от вершины объекта до его основания или от поверхности над объектом до самой нижней точки;
- наклон и ориентация – определяется как угол между нормалью к поверхности объекта и плоскостью горизонта;
- объем – определяется путем расчета общего объема объекта, например, объем почвы или грунта.

Примеры определения качественных и количественных геометрических характеристик того или иного геологического объекта, отображенного в каком-либо виде на поверхности модели, приведены на рис. 17, 18 [3], [4], [16].

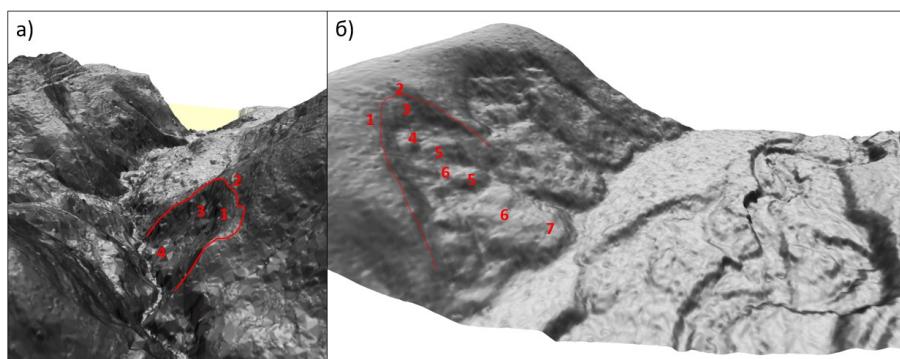


Рисунок 17 - Определение качественных характеристик оползня на 3D ЦМР:
а – ЦМР с плотностью ТЛО 2-5 м²; 1 – оползневой цирк; 2 – бровка главного уступа; 3 – вершина оползня; 4 – подошва оползня; б – ЦМР с плотностью ТЛО 5-10 м²; 1 – оползневой цирк; 2 – бровка главного уступа; 3 – уступ главный; 4 – вершина оползня; 5 – уступ внутренний; 6 – неровности поверхности рельефа (валы, бугры и т.д.); 7 – подошва оползня

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.17>

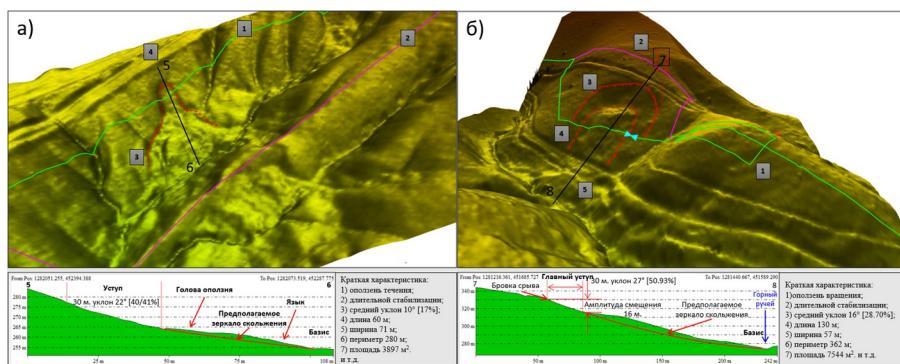


Рисунок 18 - Определение количественных геометрических характеристик оползня на 3Д ЦМР: а – ЦМР с плотностью ТЛО 5-10/ м²; 1 – первоначальное положение проектируемого газопровода; 2 – перетрассировка газопровода; 3 – контур оползня; б – ЦМР с плотностью ТЛО 5-10/м²: 1 – первоначальное положение проектируемого газопровода; 2 – перетрассировка газопровода; 3 – бровка главного уступа; 4 – оползень

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.18>

2.9. Определение грунтовых условий

Определение грунтовых условий при инженерно-геологическом картировании дистанционными методами является основой для предсказания и анализа поведения грунтов в различных инженерных проектах. Дистанционные методы: фотограмметрия либо анализ спутниковых изображений, позволяют получить предварительную информацию о грунтовых условиях [8], [18], [19].

Оценка литологического состава грунтов, их характеристик, инженерно-геологических свойств и структурных особенностей основывается на данных видимого диапазона и ближнего инфракрасного спектров. Фотограмметрия позволяет получить точные и подробные изображения поверхности земли, которые затем могут быть проанализированы и интерпретированы с помощью компьютерных программ. Также спутниковые изображения: панхроматические, спектрозональные и гиперспектральные, могут быть использованы для выполнения расчетов, анализа текстур грунтов и определения их классов [8], [18], [19].

Дистанционные методы также могут использоваться для создания грунтовых карт, которые демонстрируют распределение различных грунтовых классов и их характеристик на определенной территории. Грунтовые карты обеспечивают информацию, необходимую при планировании и проектировании инженерных сооружений (фундаменты зданий, дороги, мосты и пр.) [1], [2], [8], [19].

2.10. Расчет изменений рельефа

Расчет изменений рельефа может быть выполнен с помощью методов анализа геоинформационных данных: ЦМР, ДЗЗ, геодезические измерения и т.д. Данные методы позволяют оценить изменившийся рельеф, как в результате природных явлений, так и в результате человеческой деятельности, например, при строительстве дорог, жилых и промышленных зданий [5], [13], [14], [20].

С помощью ЦМР можно получить информацию моделирования поверхности земли в разные периоды времени, что позволяет оценить изменения высот в каждой точке поверхности земли [13], [14], [20]. Различные программные инструментарии, такие как ArcGIS, QGIS, Global Mapper, SAGA GIS и др., позволяют обрабатывать и анализировать ЦММ и ЦМР.

2.11. Применение цифровых моделей при изучении опасных геологических процессов и инженерно-геологических условий

Одним из крупнейших объектов где применялись цифровые модели рельефа и местности является «Южный поток» (на сегодняшний день именуемый «Турецкий поток»).

Уникальность данного объекта в том, что на нём нашли своё применение практически все модели, перечисленные выше. Первоначальным шагом стала подготовка комплекта карт масштаба 1:200 000 [1] на стадии «Обоснование инвестиций». Комплект карт формировался из многих источников, например, таких как геологические, гидрогеологические карты и карты четвертичных отложений. Так как инженерно-геологические карты по своей специфике отличаются от геологических карт и эти карты используются как материал распределения генетических типов грунтов, то также привлекались модели рельефа (SRTM 4), ряд космоснимков, таких как Landsat-7, WorldView-1 и др. (RGB, спектрозональные, панхроматические космоснимки) позволивших создать ЦММ с разной разрешающей способностью (рис 19).

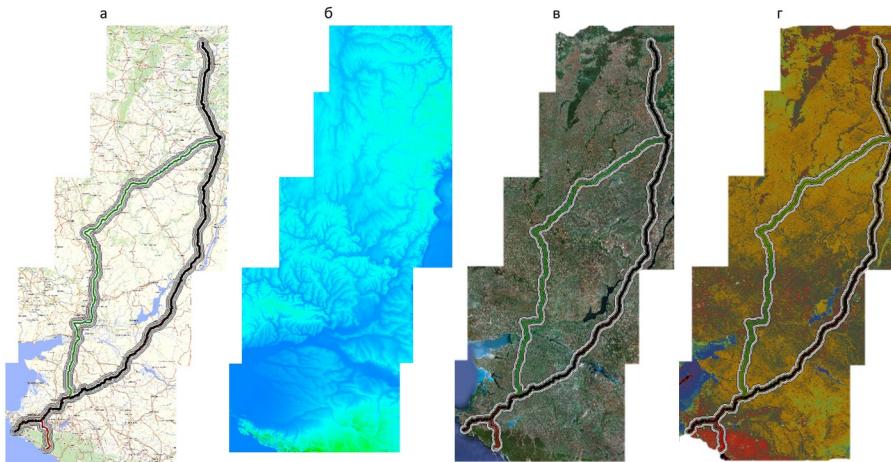


Рисунок 19 - ЦММ созданная для подготовки комплекта тематических карт с оценкой сейсмотектонических условий на объекте трубопроводного транспорта «Южный Поток» (Турецкий Поток):
а – топографическая карта с наложенными вариантами траектории трассы газопровода; б – 3Д ЦМР; в – космоснимок в видимом диапазоне (RGB); г – спектрозональный космоснимок
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.19>

Примечание: SRTM – международный исследовательский проект по созданию цифровой модели высот Земли с помощью радарной топографической съёмки её поверхности

Итоговый материал представлял собой комплект карт, состоящий из: структурно-геоморфологической карты, карты инженерно-геологических условий, карты инженерно-геологического районирования, карты гидрогеологического районирования, карты сейсмогрунтовых условий и карты неотектоники [1]. Пример, участок карты инженерно-геологических условий М 1:200 000, представлен на рисунке 20.

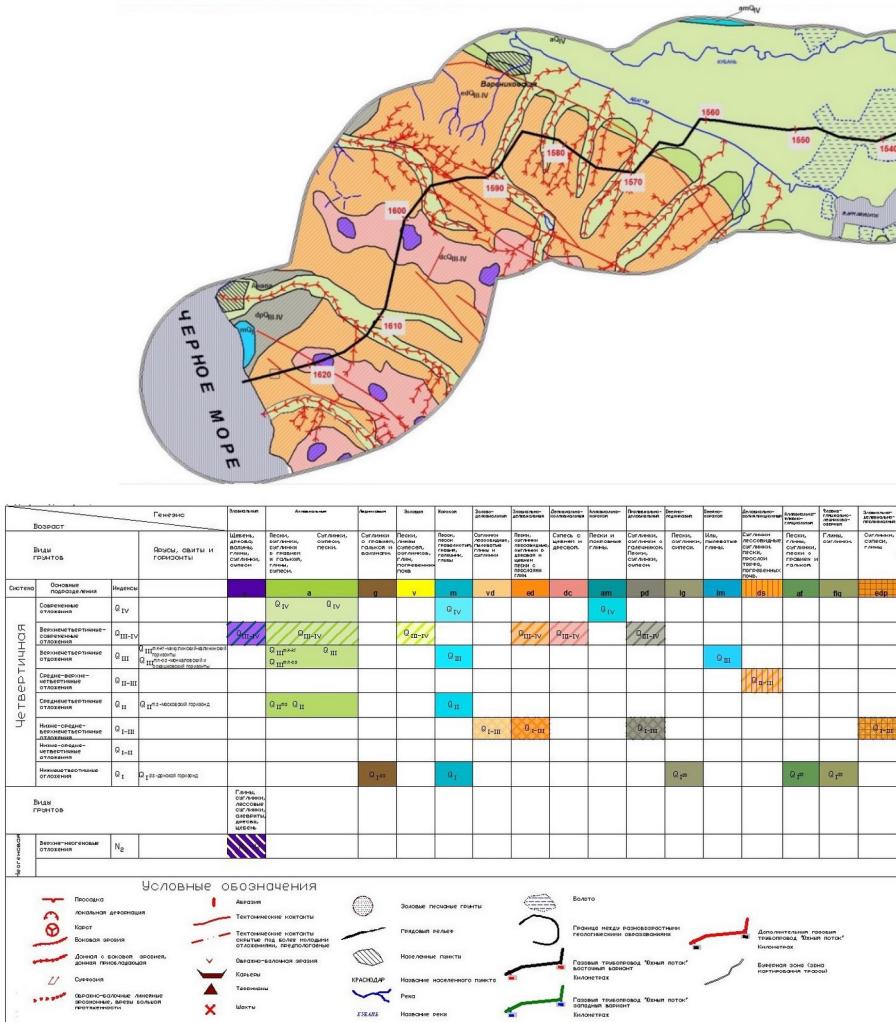


Рисунок 20 - Фрагмент карты инженерно-геологических условий М 1:200000 с условными обозначениями, объект
«Южный Поток» (Турецкий Поток)
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.20>

Для успешного решения специфических проблем, возникающих на разных стадиях исследования при строительстве транспортных объектов и проведении региональных исследований, наиболее полезными могут быть материалы определённого масштаба. В таких ситуациях космо- фото-индикационный анализ фокусируется на идентификации соответствующей этому масштабу модели индикации.

Космо-фото-индикационный анализ должен проводиться в сочетании с традиционными методами инженерно-геологических исследований, то есть заверкой на ключевых участках. Однако он также может носить опережающий характер, то есть предшествовать основному объёму наземных работ. Это позволяет, с одной стороны, получать новые данные, которые невозможно выявить традиционными методами исследований за короткий срок и с минимальными затратами, используя данные дешифровки изображений, а с другой – оптимизировать методы и объём наземных работ, более точно распределяя их по территории предполагаемой строительной площадки.

Опираясь на вышеизложенное ЦМР и ЦММ на стадии «Проектной документации» требуют более детальных исследований. В примере «Южного Потока» (Турецкого Потока) ЦМР и ЦММ соответствовали масштабу 1:2 000, что является наиболее ярким примером использования моделей с более высокой точностью от стадии «Обоснование инвестиций к стадии «Рабочая документация».

Стадия «Проектная документация» потребовала выбрать траекторию прокладки трассы из конкурентных направлений. Наиболее сложный выбор обусловлен переходом трубопровода через горы Северного Кавказа. Проведение исследований рельефа с целью получения инженерно-геологической обстановки до начала полевых работ показала бесперспективность выхода трубопровода к г. Туапсе. Исследуемый участок данного варианта прокладки показал не только сложности, которые будут возникать при строительстве, но и при дальнейшей эксплуатации сооружения. Фактически материал аэрофотосъёмки, воздушного лазерного сканирования и карт четвертичных отложений были собраны в ЦММ, на которой, в первую очередь, уточнялись границы генетических типов грунтов. Подготовленная модель, соответствующая масштабу 1:10 000, состояла из ЦМР созданный по данным воздушного лазерного сканирования, геолого-литологической карты и карты инженерно-геологических процессов (на данный момент справедливо называть данную карту – «Карта опасных геологических процессов»), фрагмент карт представлен на рисунке 21.

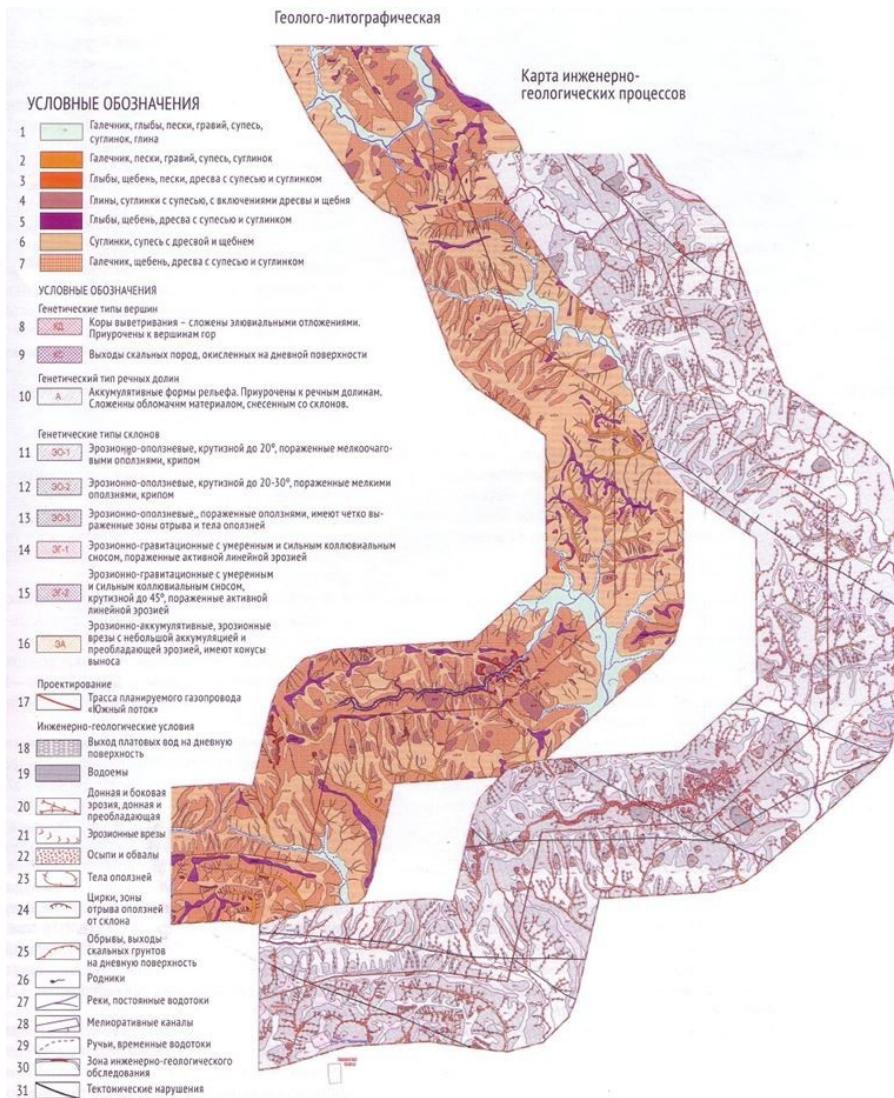


Рисунок 21 - Фрагмент численной модели местности объекта «Южный Поток» (Турецкий Поток), переход через горы Северного Кавказа от станицы Анастасиевская (Славянский район Краснодарского края) к г. Туапсе

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.21>

Стадия «Рабочей документации» перевела работы на более высокий уровень, где требовались масштабы 1:1 000 и 1:500. В пределах выбранной траектории трассы трубопровода производились работы выявления опасных геологических процессов по утвержденному варианту трассы от станицы Анастасиевская Славянского района Краснодарского края к населенному пункту Варваровка Анапского района. Помимо оперативного получения информации о наличии пересечений трассы с оползнями, была получена описательная часть, требующаяся на тот момент СП 11-105-97 до выезда в поле (рис. 22) для принятия проектных решений при камеральном трассировании с развитием сети мониторинга на 1 гидрологический год. Фрагмент ЦМР с участками наблюдения (мониторинга) представлен на рисунке 23.

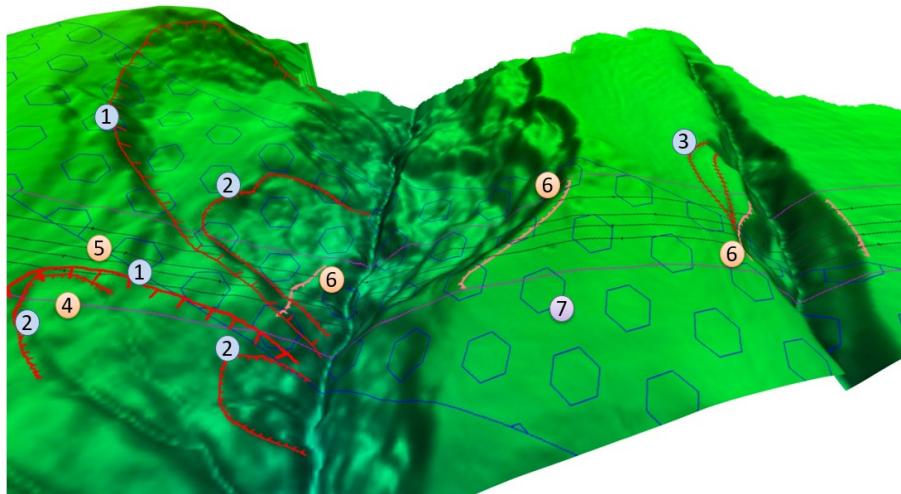


Рисунок 22 - Фрагмент ЦМР с оползневыми участками 6,6а и 7,7а «Южный Поток» (Турецкий Поток):

1 – цирки древних оползней; 2 – цирки оползней следующий генераций; 3 – заколы; 4 – коридор проектируемого трубопровода; 5 – нитки проектируемого трубопровода; 6 – цирки оползней; 7 – зона флексуры. Черная цифра в синем и розовом кружке выделено на ЦМР. Черные цифры в розовом кружке – геологи смогли определить бровку срыва оползня на местности

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.22>

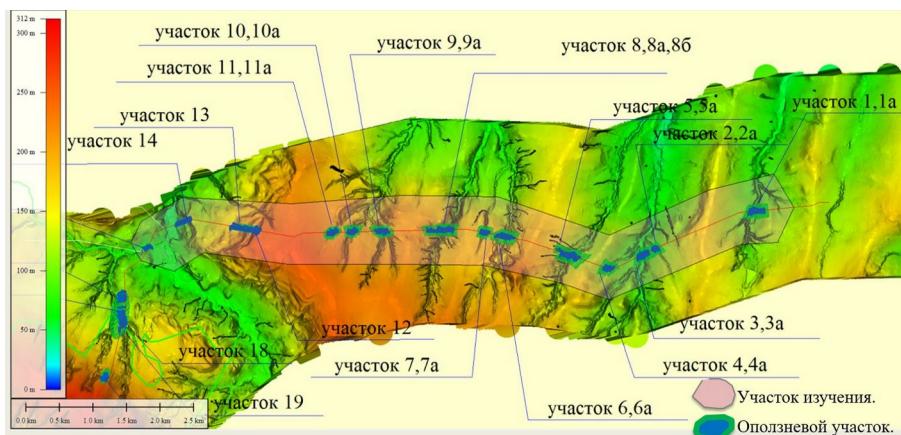


Рисунок 23 - Фрагмент ЦМР с оползневыми участками наблюдения объекта «Южный Поток» (Турецкий Поток)

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.23>

В результате, ЦМР и ЦММ применялись на многих объектах строительства, некоторые из них перечисленные ниже – «Расширение ЕСГ для обеспечения подачи газа в газопровод «Южный поток» (Турецкий поток)»; «Магистральный газопровод «Алтай»; «Реконструкция магистрального газопровода «Майкоп-Самурская-Сочи»; «Увеличение подачи газа в юго-западные районы Краснодарского края «газификация Тамани»; «Газификация Большого Сочи»; «Реконструкция и расширение газотранспортных мощностей «газопровод Крымск-Верхнебаканский»; «Нефтепродуктопровод «Комсомольский НПЗ – порт Де-Кастри». Сухопутные сооружения» (в рамках изучения неотектоники); «Продуктопровод Туапсинский район» (в рамках изучения динамики рельефа для выбора конкурентоспособных направлений трассы трубопровода)

Наиболее современным объектом является подготовка карты опасных геологических процессов на территории Городского округа муниципального образования города-курорта Сочи М 1:10000 на основе данных ВЛС и АФС в 2020 году (рис. 24) [25].

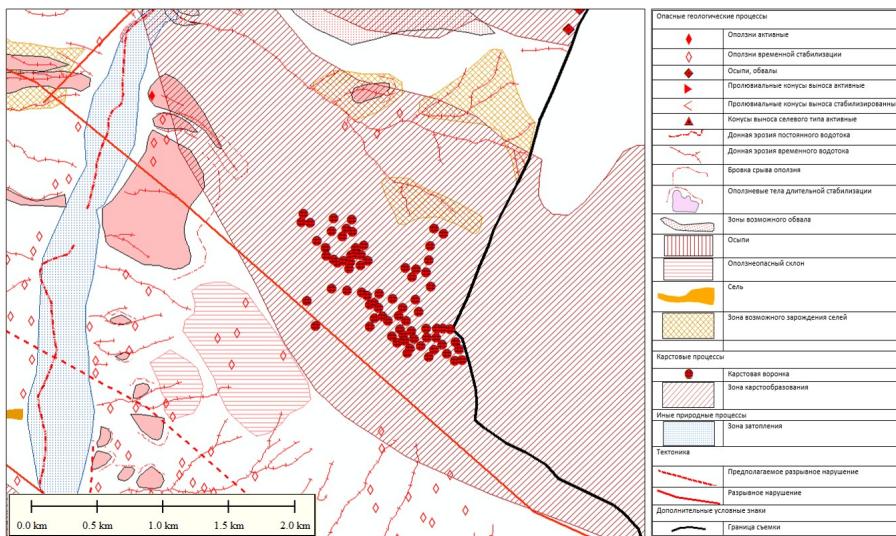


Рисунок 24 - Фрагмент карты ОГП М 1:10000, Городского округа муниципального образования города-курорта Сочи
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.24>

В данном случае применялась уже сформированная методика дешифрирования, разработанная для обучения специалистов заключающаяся в запоминании типизированных моделей опасных геологических процессов и поиска их прямых признаков на ЦРМ.

Примеры сокращения сроков и снижения затрат при проведении инженерных изысканий

В современном мире инженерные изыскания играют ключевую роль в строительстве различных объектов, обеспечивая их надёжность и безопасность. Одним из эффективных применяемых инструментов инженерных изысканий является воздушное лазерное сканирование, которое позволяет получать трёхмерные модели местности с высокой точностью и детализацией.

Сокращение сроков проведения изысканий заключается в применении воздушного лазерного сканирования, позволяющего значительно сократить сроки проведения топографической съёмки, которая стала неотъемлемой частью изысканий. Второй частью улучшений является применение данных воздушного лазерного сканирования при инженерно-геологическом обследовании территории.

Пример. Эффект сокращения сроков заключается в дополневом выделении опасных геологических процессов. При полевом обследовании территории, ввиду сжатых сроков, либо проводится не полноценно (точки наблюдения намечаются по топографическим картам), либо при проведении буровых работ. В связи с вышеуказанным происходит систематический недоучёт опасных геологических процессов при инженерных изысканиях как это продемонстрировано на рисунке 25.

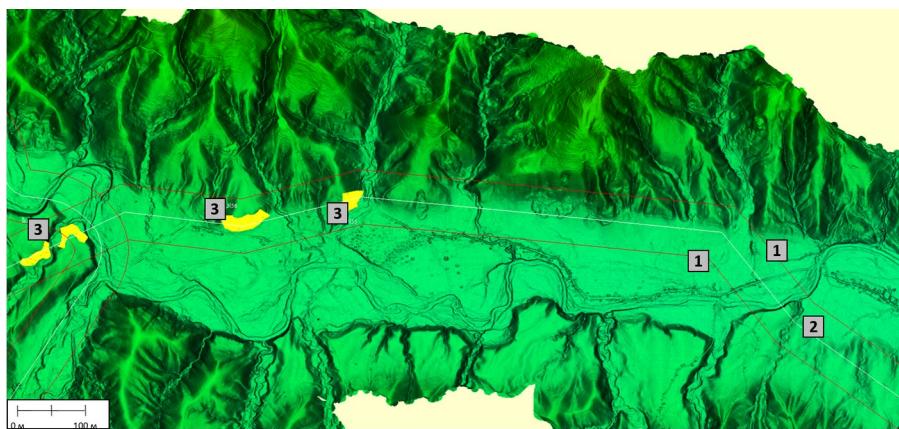


Рисунок 25 - ЦМР, на которой наложены выделенные оползневые участки, выделенные при полевом обследовании территории. Краснодарский край, объект «Магистральный продуктопровод «Туапсинский район»:
1 – граница участка проектируемого трубопровода; 2 – ось проектируемого трубопровода; 3 – участки оползней, выделенные при полевом обследовании территории
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.25>

Примечание: плотность ТЛО 5-8/m²

Фактически обследование территории сводится к выезду на заранее известную точку, вбитую в GPS специалиста, который производит полевое обследование, необходимость в поиске того или иного опасного геологического процесса отпадает, следовательно, экономия времени на ненужные перемещения в выделенном коридоре проектируемого трубопровода исключается. Из практики обследование территории «Магистральный продуктопровод «Туапсинский район» длиной 70 км горная и залесенная местность, классическим методом заняло 7 рабочих дней, а с применением методики дешифрирования – 3 дня дешифрирование и 3 рабочих дня обследование по выделенным точкам. Сюда следует отнести отсутствие пропусков оползней на местности при обследовании территории как это показано на рисунке 26.

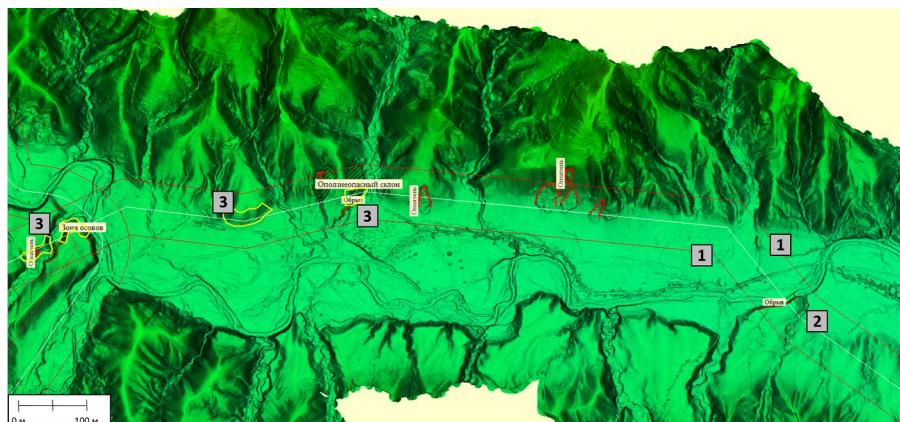


Рисунок 26 - ЦМР, на которой наложены выделенные оползневые участки, выделенные при полевом обследовании территории и оползневые участки, выделенные при дешифрировании. Краснодарский край, объект «Магистральный продуктопровод «Туапсинский район»:

1 – граница участка проектируемого трубопровода; 2 – ось проектируемого трубопровода; 3 – участки оползней, выделенные при полевом обследовании территории

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.2.2.26>

Примечание: плотность ТЛО 5-8/m²

Снижение затрат также заключается в применении данных воздушного лазерного сканирования при проведении обследования территории. Сравнивая рисунки 25 и 26 видно, что ось трубопровода пересекает оползневые структуры, не выделенные при полевом обследовании территории, также следует учесть, что линейное сооружение пересекает подрезая оползни, что безусловно приведёт к их активизации уже на стадии строительства. Следовательно, первая статья экономии – применение воздушного лазерного сканирования вместо классической топографической съёмки; вторая статья экономии – уменьшение сроков на поиски опасных геологических процессов (уменьшение дней командированных специалистов на полевое обследование территории, горюче-смазочные материалы, амортизация автомобиля); третья статья экономии, возможность обойти тот или иной опасный геологический процесс, в данном случае оползень, не тратя средства на его исследование при его пересечении, или изменить траекторию в случае не нормативного пересечения оползня.

Заключение

Цифровые модели местности и рельефа – это важный инструмент инженерно-геологической съемки.

Дистанционные методы могут использоваться для проведения инженерно-геологического картирования. На основе этих данных можно создать цифровую модель местности и рельефа, определить геологическую структуру, качество грунта и свойства. Использование дистанционных методов для определения грунтовых условий при инженерно-геологическом картировании является эффективным подходом, позволяет получить информацию о грунтах (выделение геолого-генетических комплексов), что, в свою очередь, способствует успешному планированию и выполнению инженерных проектов.

Однако важно отметить, что дистанционные методы имеют некоторые ограничения. Например, точность классификации грунтов может быть ограничена из-за недостатков в разрешении изображений или наличия наклонов и склонов на поверхности земли. Также необходимо учитывать, что дистанционные методы не позволяют получить информацию о физико-механических характеристиках грунтов в том виде, в котором требует нормативная документация, поэтому для полного определения грунтовых условий требуется дополнительные полевые исследования (проходка горных выработок, в меньшем количестве, чем при инженерных исследованиях, с целью отбора проб и монолитов).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Алешин А.С. Создание комплекта тематических карт с оценкой сейсмотектонических условий на объектах трубопроводного транспорта (на примере газопровода «Южный Поток») / А.С. Алешин, М.Ю. Баборыкин, А.Н. Овсяченко [и др.] // VI Общерос. конф. и выставка с междунар. участием «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» / Под ред. О.П. Павлова [и др.]. — М.: Геомаркетинг, 2010. — С. 131–133.
2. Баборыкин М.Ю. Выстраивание практики и методики взаимодействия проектировщиков и изыскателей на примере объекта газификации объектов Краснодарского края / М.Ю. Баборыкин // Инженерные изыскания. — 2015. — № 7. — С. 40–43.
3. Баборыкин М.Ю. Дистанционное зондирование Земли в инженерной геологии. Создание опережающих инженерно-геологических карт / М.Ю. Баборыкин // ГеоИнжиниринг. — 2011. — № 1 (10). — С. 38–44.
4. Баборыкин М.Ю. Сходимость результатов дистанционного метода дешифрирования с полевыми работами на линейном объекте. На примере оползневого участка / М.Ю. Баборыкин // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331. — № 7. — С. 161–175.
5. Баборыкин М.Ю. Дешифрирование и мониторинг физико-геологических процессов и явлений на трубопроводах воздушным лазерным сканером / М.Ю. Баборыкин, А.А. Бурцев // Новые идеи в науках о Земле. Матер. XIV Междун. науч.-практ. конф. / Под ред. В.А. Косянова [и др.]. — М.: РГГУ им. С. Орджоникидзе, 2019. — С. 38–41.
6. Баборыкин М.Ю. Дешифрирование материалов аэрокосмической съемки для анализа инженерно-геологических условий в общем алгоритме изысканий на линейных объектах / М.Ю. Баборыкин, Е.В. Жидиляева, А.Г. Погосян [и др.] // Инженерные изыскания. — 2014. — № 9–10. — С. 13–21.
7. Баборыкин М.Ю. Комплексное обследование оползней / М.Ю. Баборыкин, А.М. Кулижников, Р.А. Еремин // Журнал автомобильные дороги. — 2018. — № 2 (1035). — С. 106–113.
8. Валях В.М. Аэроландшафтно-индикационные методы при региональных инженерно-геологических исследованиях / В.М. Валях, С.В. Викторов, Р.Н. Гельман [и др.]. — М.: Недра, 1981. — 203 с.
9. Гафуров А.М. Создание цифровых моделей высот с использованием ГНСС-БПЛА / А.М. Гафуров, О.П. Ермолаев, Б.М. Усманов [и др.] // Интеркарто. Интергис. — 2021. — Т 27. — № 2. — С. 327–339.
10. ГОСТ Р 70173-2022. Геодезия и картография трехмерные цифровые планы населенных пунктов масштаба 1:500. Общие требования. — М., 2022.
11. ГОСТ Р 52440-2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Модели местности цифровые. Общие требования. — М., 2006.
12. ГОСТ Р 58854-2020. Фотограмметрия. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомоделей застроенных территорий. — М., 2020.
13. Гудилин И.С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях / И.С. Гудилин, И.С. Комаров. — М.: Недра, 1978. — 319 с.
14. Звонкова Т.В. Прикладная геоморфология / Т.В. Звонкова. — М.: Высшая школа, 1970. — 273 с.
15. Медведев Е.М. Лазерная локация земли и леса. Учеб. пос / Е.М. Медведев, И.М. Данилин, С.Р. Мельников. — М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН 2007. — 230 с.
16. Гумерова Г.И. Научные исследования – 2017: практическая часть. Раздел «Практические исследования в геологии» / Г.И. Гумерова [и др.]; под ред. Э.Ш. Шаймиевой. — М.: РусАльянс Сова, 2017. — С. 151–225.
17. Овсяченко Н.И. Проектирование Олимпийской инфраструктуры: оценка современной активности тектонических нарушений / Н.И. Овсяченко, С.И. Кирсанов, О.А. Дроздецкая // Бурение и нефть. — 2010. — № 10. — С. 32–34.
18. Ревzon А.Л. Космическая фотосъемка в транспортном строительстве / А.Л. Ревзон. — М.: Транспорт, 1993. — 172 с.
19. Ревzon А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии / А.Л. Ревзон, А.В. Садов. — М.: Недра, 1979. — 223 с.
20. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования / У.Г. Рис. — М.: Техносфера, 2006. — 336 с.
21. Рычагов Г.И. Общая геоморфология / Г.И. Рычагов. — М.: Изд-во Моск. Ун-та: Наука, 2006. — 416 с.
22. Федоров И.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов / И.В. Федоров. — М.: Госстройиздат, 1962. — 201 с.
23. Финкельштейн М.И. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии / М.И. Финкельштейн, В.А. Кутев, В.П. Золотарев. — М.: Недра, 1986. — 128 с.
24. Фоменко И.К. Современные тенденции в расчетах устойчивости склонов / И.К. Фоменко // Инженерная геодинамика. — 2012. — № 6. — С. 44–53.
25. Baborykin M. Application of the methodology of interpretation of exogenous geological processes and engineering-geological conditions for mapping hazardous geological processes and zoning of engineering-geological conditions of the

urban district of the municipal formation of the resort city of Sochi of the Krasnodar Krai / M. Baborykin, E. Zhidilyaeva // Proc. Int. Conf. «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration». — Beijing, 2023. — Pt. 3. — P. 207–215.

26. Lefsky M.A. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies / M.A. Lefsky, W.B. Cohen, G.G. Parker [et al.] // Bioscience. — 2002. — № 52. — Pt. 1. — P. 19–30.

27. Salleh M.R.M. Accuracy assessment of lidar-derived digital terrain model (dtm) with different slope and canopy cover in tropical forest region / M.R.M. Salleh, Z. Ismail, M.Z.A. Rahman // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-2/W2. — 2015. — P. 183–189. — DOI: 10.5194/isprsannals-II-2-W2-183-2015.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aleshin A.S. Sozdanie komplekta tematicheskikh kart s ocenkoj seismotektonicheskikh uslovij na ob'ektah truboprovodnogo transporta (na primere gazoprovoda «Juzhnyj Potok») [Creation of a set of thematic maps with the assessment of seismotectonic conditions at the objects of pipeline transport (by the example of the gas pipeline ‘South Stream’)] / A.S. Aleshin, M.Ju. Baborykin, A.N. Ovsjuchenko [et al.] // VI Obshheros. konf. i vystavka s mezhdunar. uchastiem «Perspektivny razvitiya inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federaci» [VI All-Russian Conf. and Exhibition with International Participation ‘Prospects for Development of Engineering Surveys in Construction in the Russian Federation’] / Ed. by O.P. Pavlov [et al.]. — M.: Geomarketing, 2010. — P. 131–133. [in Russian]

2. Baborykin M.Ju. Vystraivanie praktiki i metodiki vzaimodejstvija proektirovshhikov i izyskatelej na primere ob'ekta gazifikacii ob'ektov Krasnodarskogo kraja [Building the practice and methodology of interaction between designers and surveyors on the example of the object of gasification of objects in Krasnodar Krai] / M.Ju. Baborykin // Inzhenernye izyskanija [Engineering Surveys]. — 2015. — № 7. — P. 40–43. [in Russian]

3. Baborykin M.Ju. Distancionnoe zondirovanie Zemli v inzhenernoj geologii. Sozdanie operezhajushhih inzhenerno-geologicheskikh kart [Remote sensing of the Earth in engineering geology. Creation of advance engineering-geological maps] / M.Ju. Baborykin // Geoengineering [Geoengineering]. — 2011. — № 1 (10). — P. 38–44. [in Russian]

4. Baborykin M.Ju. Shodimost' rezul'tatov distancionnogo metoda deshifrirovaniya s polevymi rabotami na linejnem ob'ekte. Na primere opolznevogo uchastka [Convergence of the results of remote interpretation method with field work on a linear object. On the example of landslide site] / M.Ju. Baborykin // Izvestija TPU. Inzhiniring georesursov [Proceedings of TPU. Engineering of Georesources]. — 2020. — Vol. 331. — № 7. — P. 161–175. [in Russian]

5. Baborykin M.Ju. Deshifrirovanie i monitoring fiziko-geologicheskikh processov i javlenij na truboprovodah vozdušnym lazernym skanerom [Interpretation and monitoring of physico-geological processes and phenomena on pipelines by air laser scanner] / M.Ju. Baborykin, A.A. Burcev // Novye idei v naukah o Zemle. Mater. XIV Mezdun. nauch.-prakt. konf. [New Ideas in Earth Sciences. Mater. XIV Intern. Scientific-Practical Conf.] / Ed. by V.A. Kos'janov [et al.]. — M.: RGSSU named after S. Ordzhonikidze, 2019. — P. 38–41. [in Russian]

6. Baborykin M.Ju. Deshifrirovanie materialov ajerokosmicheskoy s'emki dlja analiza inzhenerno-geologicheskikh uslovij v obshhem algoritme izyskanij na linejnyh ob'ekta [Interpretation of aerospace survey materials for the analysis of engineering-geological conditions in the general algorithm of surveys on linear objects] / M.Ju. Baborykin, E.V. Zhidiljaeva, A.G. Pogosjan [et al.] // Inzhenernye izyskanija [Engineering Surveys]. — 2014. — № 9–10. — P. 13–21. [in Russian]

7. Baborykin M.Ju. Kompleksnoe obsledovanie opolznej [Complex survey of landslides] / M.Ju. Baborykin, A.M. Kulizhnikov, R.A. Eremin // Zhurnal avtomobil'nye dorogi [Journal of Motor Roads]. — 2018. — № 2 (1035). — P. 106–113. [in Russian]

8. Valjah V.M. Ajerolandshaftno-indikacionnye metody pri regional'nyh inzhenerno-geologicheskikh issledovanijah [Aerial landscape-indicative methods in regional engineering-geological studies] / V.M. Valjah, S.V. Viktorov, R.N. Gel'man [et al.]. — M.: Nedra, 1981. — 203 p. [in Russian]

9. Gafurov A.M. Sozdanie cifrovyyh modeley vysot s ispol'zovaniem GNSS-BPLA [Creation of digital elevation models using GNSS-BPLA] / A.M. Gafurov, O.P. Ermolaev, B.M. Usmanov [et al.] // Interkarto. Intergis. — 2021. — Vol 27. — № 2. — P. 327–339. [in Russian]

10. GOST R 70173-2022. Geodezija i kartografija trehmernye cifrovye plany naselennyh punktov masshtaba 1:500. Obshchie trebovaniya [GOST P 70173-2022. Geodesy and cartography three-dimensional digital plans of settlements at a scale of 1:500. General requirements]. — M., 2022. [in Russian]

11. GOST R 52440-2005. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Modeli mestnosti cifrovye. Obshchie trebovaniya [GOST P 52440-2005. National standard of the Russian Federation. Digital terrain models. General requirements]. — M., 2006. [in Russian]

12. GOST R 58854-2020. Fotogrammetrija. Trebovaniya k sozdaniyu orientirovannyh ajerosnimkov dlja postroenija stereomodelej zastroennyyh territorij [GOST P 58854-2020. Photogrammetry. Requirements for creation of oriented aerial images for building stereomodels of built-up areas]. — M., 2020. [in Russian]

13. Gudilin I.S. Primenenie ajerometodov pri inzhenerno-geologicheskikh i gidrogeologicheskikh issledovanijah [Application of aeromethods in engineering-geological and hydrogeological studies]/ I.S. Gudilin, I.S. Komarov. — M.: Nedra, 1978. — 319 p. [in Russian]

14. Zvonkova T.V. Prikladnaja geomorfologija [Applied geomorphology] / T.V. Zvonkova. — M.: Higher School, 1970. — 273 p. [in Russian]

15. Medvedev E.M. Lazernaja lokacija zemli i lesa. Ucheb. pos [Laser localization of land and forest. Textbook] / E.M. Medvedev, I.M. Danilin, S.R. Mel'nikov. — M.: Geolidar, Geocosmos; Krasnoyarsk: V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS 2007. — 230 p. [in Russian]

16. Gumerova G.I. Nauchnye issledovanija – 2017: prakticheskaja chast'. Razdel «Prakticheskie issledovanija v geologii» [Scientific research – 2017: practical section. Section ‘Practical Research in Geology’] / G.I. Gumerova [et al.]; ed. by Je.Sh. Shajmjeva. — M.: RusAl'jans Sova, 2017. — P. 151–225. [in Russian]

17. Ovsjuchenko N.I. Proektirovanie Olimpijskoj infrastruktury: ocenka sovremennoj aktivnosti tektonicheskikh narushenij [Designing the Olympic infrastructure: assessment of modern activity of tectonic disturbances] / N.I. Ovsjuchenko, S.I. Kirsanov, O.A. Drozdeckaja // Burenie i neft' [Drilling and Oil]. — 2010. — № 10. — P. 32–34. [in Russian]
18. Revzon A.L. Kosmicheskaja fotos'emka v transportnom stroitel'stve [Space photography in transport construction] / A.L. Revzon. — M.: Transport, 1993. — 172 p. [in Russian]
19. Revzon A.L. Ajerokosmicheskie metody v gidrogeologii i inzhenernoj geologii [Aerospace methods in hydrogeology and engineering geology] / A.L. Revzon, A.V. Sadov. — M.: Nedra, 1979. — 223 p. [in Russian]
20. Ris U.G. Osnovy distacionnogo zondirovaniya [Fundamentals of remote sensing] / U.G. Ris. — M.: Tehnosfera, 2006. — 336 p. [in Russian]
21. Rychagov G.I. Obshchaja geomorfologija [General geomorphology] / G.I. Rychagov. — M.: Publishing House of Moscow University: Nauka, 2006. — 416 p. [in Russian]
22. Fedorov I.V. Metody rascheta ustojchivosti sklonov i otkosov [Methods for calculating slope and slope stability] / I.V. Fedorov. — M.: Gosstrojzdat, 1962. — 201 p. [in Russian]
23. Finkel'shtejn M.I. Primenenie radiolokacionnogo podpoverhnostnogo zondirovaniya v inzhenernoj geologii [Application of radar subsurface sounding in engineering geology] / M.I. Finkel'shtejn, V.A. Kutev, V.P. Zolotarev. — M.: Nedra, 1986. — 128 p. [in Russian]
24. Fomenko I.K. Sovremennye tendencii v raschetah ustojchivosti sklonov [Modern tendencies in calculations of slope stability] / I.K. Fomenko // Inzhenernaja geodinamika [Engineering Geodynamics]. — 2012. — № 6. — P. 44–53. [in Russian]
25. Baborykin M. Application of the methodology of interpretation of exogenous geological processes and engineering-geological conditions for mapping hazardous geological processes and zoning of engineering-geological conditions of the urban district of the municipal formation of the resort city of Sochi of the Krasnodar Krai / M. Baborykin, E. Zhidilyaeva // Proc. Int. Conf. «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration». — Beijing, 2023. — Pt. 3. — P. 207–215.
26. Lefsky M.A. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies / M.A. Lefsky, W.B. Cohen, G.G. Parker [et al.] // Bioscience. — 2002. — № 52. — Pt. 1. — P. 19–30.
27. Salleh M.R.M. Accuracy assessment of lidar-derived digital terrain model (dtm) with different slope and canopy cover in tropical forest region / M.R.M. Salleh, Z. Ismail, M.Z.A. Rahman // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-2/W2. — 2015. — P. 183–189. — DOI: 10.5194/isprsaannals-II-2-W2-183-2015.