

# Инженерно-геологические условия как основа обеспечения строительства подземных сооружений

Ирина Валерьевна АБАТУРОВА<sup>1,\*</sup>  
Иван Андреевич САВИНЦЕВ<sup>1,\*\*</sup>  
Владислав Сергеевич КОЗЛОВ<sup>2,\*\*\*</sup>  
Эльвина Дамировна НУГМАНОВА<sup>2,\*\*\*\*</sup>  
Евгений Алексеевич ЗВОНАРЕВ<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

<sup>2</sup>ООО «ГИНГЕО», Россия, Екатеринбург

**Актуальность работы.** Актуальной и, бесспорно, самой значимой проблемой при строительстве подземных сооружений, особенно в пределах городской территории, является установление параметров инженерно-геологических условий и возможное их изменение при строительстве.

**Цель работы:** предупреждение развития опасных инженерно-геологических процессов для принятия быстрых решений по безопасности проходки при выполнении прогноза устойчивости массива пород, подвергающегося техногенному воздействию.

**Методологические исследования.** Задачи и методы изучения инженерно-геологических условий проектирования и строительства подземных сооружений определяются сложностью природных условий. При этом содержание, объем, точность и достоверная вероятность полученных данных об инженерно-геологических условиях должны быть минимально необходимыми и достаточными для проектирования подземных сооружений. Выбор методических приемов и способов, совокупность которых позволит спроектировать и осуществить рациональный комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ, подчиняется двум целям: изучению инженерно-геологических условий и оценке прогнозных параметров изменения инженерно-геологических условий.

**Результаты работ и область их применения.** Был выполнен прогноз устойчивости массива пород с использованием геомеханической классификации Н. С. Булычева. Анализ инженерно-геологических факторов, влияющих на безопасную проходку подземного сооружения, позволил выделить инженерно-геологическое районирование и выделить в массиве пород пять категорий с различной степенью устойчивости массива проектируемой горной выработки. Учет выделенных участков различной устойчивости при проектировании подземной выработки позволит обеспечить ей безопасную эксплуатацию.

**Вывод.** Выполненные исследования указывают на то, что в процессе строительства подземных выработок формируется взаимодействие между массивом пород и выработкой. Соответственно еще на стадии проектирования должна быть создана адекватная информационная модель инженерно-геологических условий, которая рассматривается как взаимосвязанная система решения двух классов задач – инженерно-геологических и конструкторских. При этом основой должен служить прогноз реакции скального массива на проектные решения.

**Ключевые слова:** инженерно-геологические условия, массив горных пород, трещиноватость, физико-механические свойства, неоднородность, инженерно-геологическое районирование, прогноз устойчивости

**В**ведение  
Эффективность и безопасность строительства подземных сооружений (шахт, тоннелей, метрополитенов) в значительной степени зависят от надежности изучения инженерно-геологических условий, включающего в себя анализ закономерностей их формирования и характера их изменения в процессе строительства и эксплуатации [1–5].

Объектом изучения служит массив горных пород, который обладает определенным набором параметров инженерно-геологических условий. Все параметры отличает чрезвычайно высокая степень изменчивости, которую осложняют различный петрографический состав пород, их структурно-текстурные особенности, степень и характер трещиноватости, свойства и состояние массива пород. Такая масштабная неоднородность обуславливает пространственно-временную изменчивость инженерно-геологических условий при взаимодействии массива горных пород с сооружением. Недоучет информации на этапах проектирования и строительства ведет к формированию мульды сдвига и, как следствие, деформациям зданий и сооружений, попавших в эту зону. Примером может служить целый ряд деформации зданий и сооружений на участках ведения горнопроходческих работ в городах Березовском, Екатеринбурге, Красноуральске и т. д. [6–9].

## Основные результаты работ

Первый пусковой участок первой линии метрополитена г. Челябинска планируется проложить с востока на запад (рис. 1). Длина проектируемого участка составляет 8600 м с глубиной заложения от 6,8 до 50,0 м. Проходка будет осуществляться на участках станций открытым способом, на участках тоннелей – подземным.

Согласно инженерно-геологическому районированию, выполненному вдоль трассы, здесь выделяются три участка, контрастно отличающиеся друг от друга по инженерно-геологическим условиям (рис. 2).

I – восточный (от начала линии метрополитена до ПК 41,7), территория западной границы Западно-Сибирской низменности, где доминируют нелитифицированные осадки мезозойского и кайнозойского возраста, представленные

✉ [qingeo@mail.ru](mailto:qingeo@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-4829-3204>

\*\* [office@ursmu.ru](mailto:office@ursmu.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-4760-9900>

\*\*\* [mr.vkla@mail.ru](mailto:mr.vkla@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-0980-8335>

\*\*\*\* [nugmanova\\_elvina@mail.ru](mailto:nugmanova_elvina@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-0218-4494>

\*\*\*\*\* [evgen-zvonarev@mail.ru](mailto:evgen-zvonarev@mail.ru)



Рисунок 1. Схематическая карта расположения линии метрополитена.  
Figure 1. Contour map of the underground line.

глинами, песками и суглинками, тектонические нарушения отсутствуют. Глубина заложения линии метрополитена от 11 до 15 м. Уровень грунтовых вод находится на глубине 3,57–8,3 м.

II – центральный (переходная зона от ПК 41,7 до ПК 65,7). Проложенная линия пересекает палеозойские образования, представленные осадочными (известняки), вулканогенно-осадочными (сланцы, порфириды) и интрузивными породами (гранитоиды), сверху перекрытые мезозойскими корами выветривания [10]. Породы сильнотрещиноватые, либо раздробленные. Уровень грунтовых вод находится на глубине 1,7–9,3 м. Заложение линии метрополитена на ветках в депо мелкое, далее – глубокое.

III – западный (участок территории от ПК 65+70 до конца трассы), относящийся к краевой зоне Зауральского пенеплена, представлен палеозойской Челябинской гранитной интрузией (диориты, гранодиориты, граниты) сложного строения с ксенолитами гнейсов. Сверху палеозойские образования перекрыты корами выветривания. Породы от слабо- до сильнотрещиноватых. Уровень грунтовых вод находится на глубине 2,2–24,3 м. Заложение линии метрополитена – глубокое.

Среди инженерно-геологических факторов, осложняющих условия строительства и эксплуатации метро, – наличие элювиальных образований различной мощности, тектоническая нарушенность и трещиноватость пород, закарстованность, подтопление [9, 11, 12]. При вскрытии массива пород прогнозируется развитие таких процессов, как суффозия, вывалообразование, куполение, формирование мульд сдвига и депрессии дневной поверхности.

Рассмотрим закономерности формирования инженерно-геологических условий в пределах трассы метрополитена. Коры выветривания, развитые в пределах трассы, площадные, линейные, контактные. Залегают на водораздельных пространствах под маломощным слоем четвертичных образований [10]. Пространственная изменчивость мощности коры выветривания определяется условиями формирования, составом и структурно-тектоническими особенностями пород, их раздробленностью, ландшафтом. Так, в пределах терригенно-карбонатных пород она составляет –6,0 м, вулканогенных (порфиридов) –2,9–5,0 м, магматических +2,6–5 м. Наибольшие мощности коры выветривания с образованием карманов выветривания до глубины 25,0–32,3 м отмечаются в тектонических зонах, зонах катаклаза.

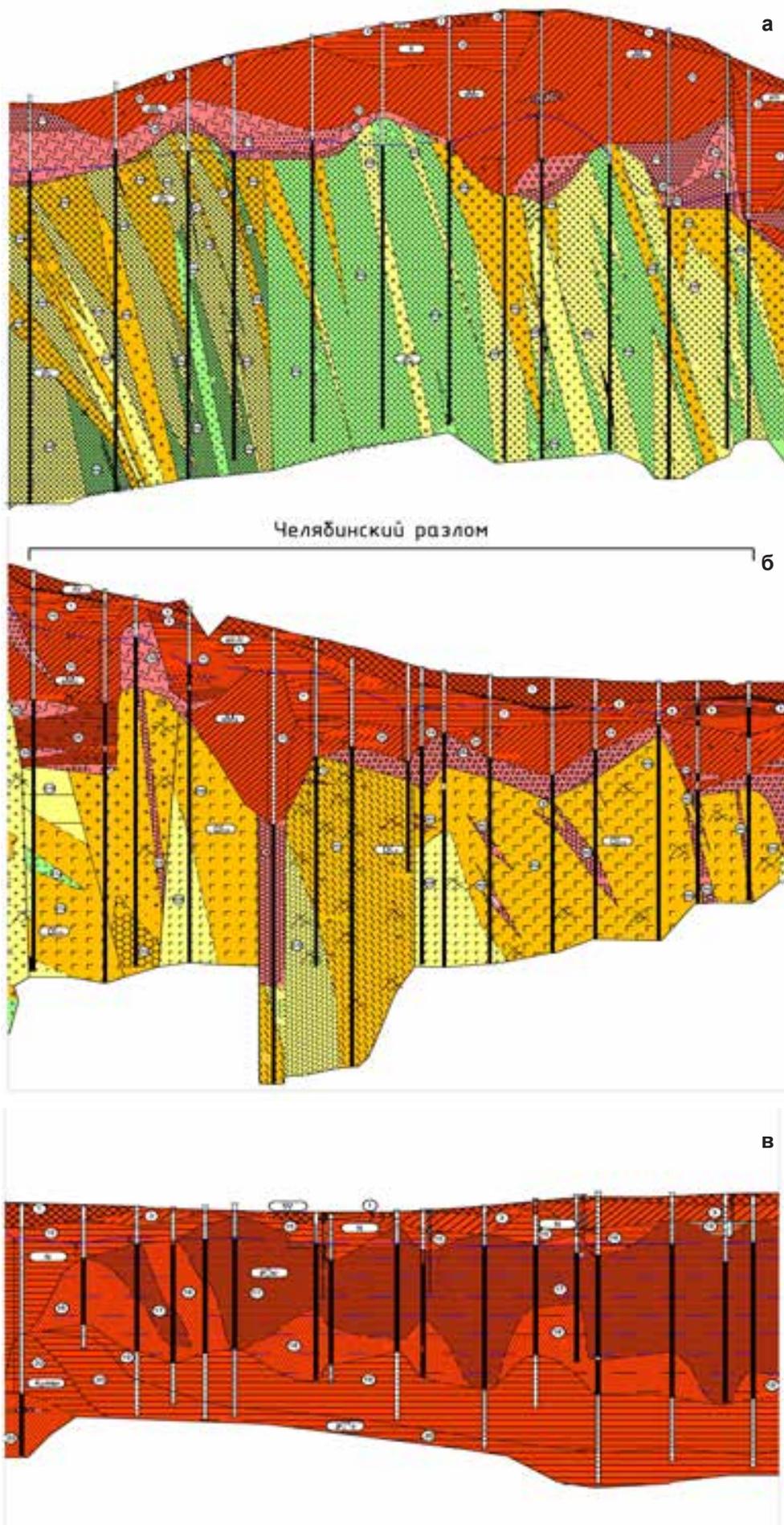
На участках развития площадных кор выветривания при условии расположения тоннеля в прочных скальных грунтах влияние мульды сдвига на поверхности практически не ощутится (из-за образования разгружающего свода). Осадки в мульде депрессии будут равномерны [13].

Линейные коры выветривания характеризуются неравномерностью изменения физико-механических свойств и пилообразным характером инженерно-геологического разреза из-за частой смены выветрелых и не выветрелых грунтов на небольших расстояниях. Такие участки наиболее опасны, так как при их пересечении возможно образование вокруг выработок областей предельного равновесия и развития на поверхности земли значительных по величине осадков.

Закономерность развития коры выветривания вдоль линии метрополитена зависит от петрографического состава пород и геоморфологических условий.

Наиболее выветрелыми являются сланцы, приуроченные к Челябинскому разлому геоморфологически, – это долины реки Игуменки. Наименее выветрелы гнейсы, гранитоиды водоразделов. Вертикальный профиль коры выветривания представлен:

– дисперсной зоной – бесструктурные суглинки развиты практически по всем типам пород, структурные (сапролит) – только по гранодиоритам; минеральном составе зоны преобладают каолинит, гидрослюда, гидрохлорит (рис. 3).



I. Литологический состав в основании инженерно-геологического элемента

Геологический индекс	Геологическая колонка	Описание инженерно-геологического элемента
<b>Кайнозойская группа</b> <b>Чугарская система</b>		
IV		Насыщенный супесью, бентонитом и редким мелкозернистым, слабоцементированным дресвой с пачками-островками мелкозернистого, пылеватого, пылевато-глинистого и пылевато-песчаного состава, пылеватый супесь
<b>Континентальная терригенная формация</b> <b>Поярская отложения</b>		
рIV		Супесни твердой и полутвердой, известковатой, с гравием, дресвой, щебнем, с прослойками глина
<b>Аллювиальные отложения</b>		
алл-IV		Терф окислительно-восстановительная, с прослойками глина
алл-IV		Глина, а) мелкозернистая, слабоцементированная, б) твердая и полутвердая, с прослойками глина, с гравием и щебнем
алл-IV		Супесни от твердой до среднетвердой, с прослойками глина
алл-IV		Пески, мелкозернистый и мелкопесчаный: а) пылеватый и мелкий, средней влажности; б) гравелистый, реже средней крупности и крупный, средней влажности
алл-IV		Гравелистый супесь с пачками мелкозернистого, мелкопесчаный
<b>Аллювиально-продолговатая олигоцен-палеогеновая субформация</b> <b>Палеогеновые отложения</b>		
N		Глина твердая, с включением бобовых гидротермальных жезлов и жезлов
<b>Палеогеновая система</b> <b>Курганская свита</b>		
Р <sup>1</sup> IV		Глина полутвердая, с прослойками глина
Р <sup>2</sup> IV		Пески, мелкопесчаный: а) мелкий, средней влажности, с прослойками глина; б) средней крупности, с пачками крупного и гравелистого, средней влажности
<b>Морская карбонатно-терригенная формация</b> <b>Чугарская свита</b>		
Р <sup>3</sup> IV		Глина лептосема, твердая, глинистоуглистая
<b>Ирбитская свита</b>		
Р <sup>4</sup> IV		Глина дисперсная и трещиноватая, с прослойками и пачками глина, полутвердая и трещиноватая
<b>Серовская свита</b>		
Р <sup>5</sup> IV		Пески гравелистые, окислительно-восстановительная
<b>Эпипалеогеновая мезозойская формация</b> <b>Меловая система, Мисювская свита</b>		
К <sub>1</sub> IV		Супесни твердой, с глинистым, прослойками и пачками глина, дресва, щебень, известняки, кварцы, останки позвоночных и скелетных череп
<b>Кора выветривания Мз</b>		
еМз		Супесни с дресвой и щебнем: а) по гравелистым, твердой; б) твердой и полутвердой; в) по пылеватому и глинистому, твердой
еМз		Пески дресвянистые, мелкопесчаный
еМз		Дресвянистый супесь с супесью, реже пачками известняков: а) по пылеватому и порфиритам; б) по гравелистым
еМз		Дресвянистый супесь с супесью мелкозернистым: а) по известнякам, порфиритам; б) по гравелистым
еМз		"Рухляк" (полутвердые породы с очень низкой прочностью до повышенной прочности)
<b>Морская терригенно-карбонатная формация</b> <b>Камышловатая система, Вайгайской и палеорусской группы</b>		
С <sub>1</sub> V+VI		Насыщен органическим, частично карбонатным, с прослойками известняков, прочный: а) среднезернистый; б) глина и окислительно-восстановительная
С <sub>2</sub> V+VI		Известняки известняковый, с прослойками известняков, прочный, раздробленный
<b>Вайгайской группы. Средней и верхней подгруппы</b>		
С <sub>3</sub> V+VI		Песчаная мелкозернистая, среднезернистая и крупнозернистая по карбонатному скелету: а) средней прочности и прочной, глина и окислительно-восстановительная; б) повышенной прочности раздробленной
С <sub>4</sub> V+VI		Известняки карбонатно-терригенной структуры, прочный, окислительно-восстановительная и глина окислительно-восстановительная

Геологический индекс	Геологическая колонка	Описание инженерно-геологического элемента
<b>Палеозойская средне-верхнепалеозойская формация</b> <b>Верховой отдал</b>		
С <sup>1</sup> IV		Супесни кварцево-серпент-пальмовый, кварцево-серпент-глина-карбонатный: а) среднезернистый; б) глина и окислительно-восстановительная; в) раздробленный
<b>Средний отдал</b>		
С <sup>2</sup> IV		Порфирит окислительно-восстановительная в глинах глина, раздробленный, средней прочности: а) среднезернистый; б) глина и окислительно-восстановительная; в) раздробленный
<b>Средний отдал</b>		
С <sup>3</sup> IV		Порфирит прочный и средней прочности: а) слабозернистый; б) среднезернистый
С <sup>4</sup> IV		Порфирит: а) средней прочности, окислительно-восстановительная и глина окислительно-восстановительная; б) повышенной прочности в мелкозернистой раздробленной
<b>Магматическая средне-верхнепалеозойская формация</b> <b>Ордовикская система, Верхний и средний отдал</b>		
С <sup>5</sup> IV		Глины в гранито-гнейсах катализированный, средней прочности: а) слабозернистый; б) среднезернистый
С <sup>6</sup> IV		Глины в гранито-гнейсах катализированный: а) прочный, средней прочности глина и окислительно-восстановительная; б) средней прочности раздробленный
<b>Средний отдал</b>		
С <sup>7</sup> IV		Гранит: катализированный, средней прочности и прочный: а) слабозернистый и глина слабозернистый; б) среднезернистый
С <sup>8</sup> IV		Гранит: катализированный, средней прочности и прочный: а) окислительно-восстановительная и глина окислительно-восстановительная; б) раздробленный
С <sup>9</sup> IV		Гранодиорит: а) мелкозернистый слабозернистый и глина слабозернистый; б) средней прочности, среднезернистый
С <sup>10</sup> IV		Гранодиорит прочный: а) окислительно-восстановительная и глина окислительно-восстановительная; б) раздробленный
С <sup>11</sup> IV		Кварцевый диорит и диорит: а) средней прочности и прочный, слабозернистый и глина слабозернистый; б) средней прочности, среднезернистый
С <sup>12</sup> IV		Кварцевый диорит и диорит: а) средней прочности и прочный: а) окислительно-восстановительная и глина окислительно-восстановительная; б) раздробленный
С <sup>13</sup> IV		Гранитоид катализированный средней прочности: а) слабозернистый и глина слабозернистый; б) среднезернистый
С <sup>14</sup> IV		Гранодиорит прочный: а) окислительно-восстановительная и глина окислительно-восстановительная; б) раздробленный
<b>Магматические интрузивы</b>		
С <sup>15</sup> IV		а) Апатит прочный, окислительно-восстановительная, реже трещиноватый и раздробленный; б) Пачки средней прочности и прочной, окислительно-восстановительная и окислительно-восстановительная



Рисунок 2. Характер изменения ИГУ по оси трассы метрополитена. а – фрагмент западной части трассы метрополитена (участок территории от ПК 65+70 до конца трассы); б – фрагмент центральной части трассы метрополитена (переходная зона от ПК 41,7 до ПК 65,7); в – фрагмент восточной части трассы метрополитена (от начала линии метрополитена до ПК 41,7).

Figure 2. Nature of changes in the geological engineering conditions along the axis of the underground line. a - the fragment of the western part of the line (section of the territory from PK 65 + 70 to the end of the line); b - the fragment of the central part of the line (transition zone from PK 41.7 to PK 65.7); c - the fragment of the eastern part of the line (from the beginning of the subway line to PK 41.7).

- зоной литомаржа, представленной рухляками очень низкой и пониженной прочности (рис. 4).
- обломочной зоной, сложенной дресвой и щебнем по терригенно-карбонатным, вулканогенным и магматическим породам (рис. 5).

Тектоническая нарушенность и связанная с ней трещиноватость являются одним из основных факторов, определяющих степень устойчивости скальных грунтов при проходке горных выработок [14, 15].

Трасса Челябинского метро расположена в восточной части Восточно-Уральского поднятия и в западной части Восточно-Уральского прогиба, являющихся структурами 1 порядка. В пределах трассы располагаются структуры 3 порядка – Челябинский антиклинорий и Копейский синклинорий. Границей между ними является Челябинский разлом,



**Рисунок 3. Дисперсная зона.**  
**Figure 3. Dispersal zone.**



**Рисунок 4. Зона литомаржа.**  
**Figure 4. Lithomarge zone.**



**Рисунок 5. Обломочная зона.**  
**Figure 5. Rubble zone.**

заложение которого произошло, вероятно, в рифее. Активные движения по нему продолжались до неотектонического этапа. Строение зоны Челябинского разлома сложное. В западной краевой части Челябинского разлома развиты катаклазированные гнейсы с многочисленными инъекциями гранитов. Осевая часть зоны разлома сложена гранитизированными брекчиями и сланцеватыми апобазальтами. Восточная краевая часть представлена пиритизированными аповулканиковыми сланцами, порфиритоидами, зонами дробления и рассланцевания. Породы в зоне Челябинского разлома многочисленными хаотично ориентированными тектоническими нарушениями и трещинами разбиты на блоки разной величины вплоть до щебня; по трещинам наблюдаются налеты карбонатов, гидроокислов железа (рис. 6).

Сценарии развития негативных последствий, связанных с зонами повышенной трещиноватости массива пород, являющегося средой, вмещающей тоннель, могут рассматриваться как образование осыпей, обрушений, вывалов, приводящих к нарушению устойчивости кровли и стенок тоннеля [15, 16].

С целью предупреждения развития опасных инженерно-геологических процессов и принятия быстрых решений по безопасности проходки был выполнен прогноз устойчивости массива пород, подвергающихся техногенному воздействию. Прогноз устойчивости был выполнен с использованием геомеханической классификации Н. С. Булычева [1].



**Классификация устойчивости пород кровли тоннеля Челябинского метрополитена.  
Classification of the rocks stability of the tunnel roof of the Chelyabinsk underground line.**

Класс массива (категория устойчивости)	Качественная оценка состояния (степень устойчивости пород)	Характеристика пород	Номера ИГЭ, слогающих класс	Количественные характеристики		Продолжительность устойчивости	Характеристика состояния пород и развития инженерно-геологических процессов при проходке тоннеля
				Модуль трещиноватости пород, м/тр.	Показатель состояния качества пород, RQD		
I	Весьма устойчивые	Скальные породы средней прочности и прочные, очень слаботрещинчатые и слаботрещинчатые	41а, 42а, 43а, 44а, 45а, 46а	<4	70-100	10 лет при пролете 15 м	Вывалы и отслоения отсутствуют
II	Устойчивые	Скальные породы средней прочности и прочные, среднетрещиноватые	30б, 37б, 40б, 41б, 42б, 43б, 44б, 45б, 46б	4-8	50-70	6 месяцев при полете 8 м	Возможно образование единичных вывалов
III	Средней устойчивости	Скальные породы средней прочности и прочные, сильно- и очень сильнотрещиноватые	30а, 34а, 35а, 37а, 40а, 41а, 42а, 43а, 44а, 45а, 46а	8-15	20-50	1 неделя при пролете 5 м	Образование вывалов
IV	Неустойчивые	Скальные породы средней прочности раздробленные, жильные образования, элювиальные щебенчатые грунты	28а, 28б, 29, 30а, 34г, 37г, 40г, 41г, 42г, 43г, 44г, 45г, 46г, 47-48	>15	<20	10 часов при пролете 2,5 м	Обрушение
V	Весьма неустойчивые	Рыхлые несвязные породы (тектонические, элювиальные, аллювиально-пролювиальные отложения, отложения морской кремнисто-терригенной формации, элювиальные супылистые и песчано-дресвяные отложения)	1-2б, 27а, 27б	-	-	30 минут при пролете 1 м	Обрушение и осыпание вслед за обнажением

Неустойчивые породы (IV класс) развиты преимущественно в пределах пикетов ПК 43–ПК 57. На остальных участках распространены фрагментарно в виде участков шириной не более 30 м и представлены жильными образованиями и раздробленными породами. Для таких участков характерно образование обрушений, которые будут происходить в первые часы после проходки или во время нее, причем чем больше будет участок вскрытия неустойчивых пород, тем более высока вероятность обрушения в короткие сроки. Объем обрушения может достигать десятков кубических метров. На участках развития пород IV класса устойчивости, согласно рекомендациям, необходимо использовать сборную железобетонную либо монолитную бетонную крепь.

Весьма неустойчивые породы (V класс) развиты преимущественно в пределах пикетов ПК 30–ПК 43, и фрагментарно в интервале пикетов ПК 43–ПК 57. На участках развития таких пород при их вскрытии в тоннеле будут происходить обрушения и оплывания в первые минуты после проходки. Объем обрушений может достигать десятков кубических метров. На участках развития пород V класса устойчивости, согласно рекомендациям, необходимо использовать сборную железобетонную либо монолитную бетонную крепь.

**Заключение**

Выполненные исследования указывают на то, что в процессе строительства подземных выработок формируется взаимодействие между массивом пород и выработкой. Соответственно еще на стадии проектирования должна быть создана адекватная информационная модель инженерно-геологических условий, которая рассматривается как взаимосвязанная система решения двух классов задач – инженерно-геологических и конструкторских. При этом основой должен служить прогноз реакции скального массива на проектные решения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений. М.: Недра, 1994. 381 с.
2. Яровой Ю. И. Прогноз деформаций земной поверхности и защита городской застройки при строительстве метрополитена на Урале. Екатеринбург: УрГАПС, 1999. 257 с.
3. Bell F. G. Engineering geology and geotechnics. London: Elsevier, 2013. 504 p.
4. McLean A. C., Gribble C. D. Geology for civil engineers. London: E&Spon, 2005. 348 p.
5. Waltham T. Foundations of engineering geology. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2014. 104 p.
6. Абатурова И. В., Стороженко Л. А., Королева И. А., Петрова И. Г. Проблемы получения геологической информации при проведении инженерно-геологических изысканий // 13<sup>th</sup> Conference and Exhibition Engineering Geophysics. 2017. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700376>
7. Дашко Р. Э. Междисциплинарный подход к решению инженерно-геологических проблем при освоении и использовании подземного пространства городов // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: материалы Всерос. конф. Томск, 2015. С. 150–155.
8. Pisetsky V., Lapin S., Vlasov V. The problems and the results of practical application of seismic monitoring and risk assessment of hazardous processes in underground conditions // 12<sup>th</sup> Conference and Exhibition Engineering Geophysics. 2016. P. 367–374. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600334>

9. Pisetski V. B., Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Savintsev I. A., Petreova I. G. Solving the problems of obtaining geological information with using geophysical methods of research during engineering-geological surveys // 23<sup>rd</sup> European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 2017. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701984>
10. Барановский А. Г. Состав и строение дисперсной зоны коры выветривания гранитоидов территории города Челябинска // Инженерная геология. 2018. Т. 13, № 4/5. С. 20–34.
11. Шинкарьюк В. А. Прогнозирование устойчивости горного массива в процессе проходки горных выработок // ГИАБ. 2013. № S4 (1). С. 93–101.
12. Nikulina M. E., Gorobtsov D. N., Pendin V. V. Engineering and geological audit in design and construction of linear transport facilities // Procedia engineering. 2017. Т. 189. С. 70–74. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.012>
13. Alrowaimi M., Chopra M., Yun H., Mokhtari S. Experimental Study of Sinkhole Failure Related to Groundwater Level Drops // Journal of Testing and Evaluation. 2019. Т. 48, № 6. <https://doi.org/10.1520/JTE20180064>
14. Xue Y., Zhang X., Li S., Qiu D., Su M., Li L., Li Z., Tao Y. Analysis of factors influencing tunnel deformation in loess deposits by data mining: A deformation prediction model // Engineering Geology. 2018. Т. 232. С. 94–103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.014>
15. Zheng J., Yang X., Lü Q., Zhao Y., Deng J., Ding Z. A new perspective for the directivity of Rock Quality Designation (RQD) and an anisotropy index of jointing degree for rock masses // Engineering geology. 2018. Т. 240. С. 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.013>
16. Naghadahi M. Z., Thewes M., Lavasan A. A. Face stability analysis of mechanized shield tunneling: An objective systems approach to the problem // Engineering Geology. 2019. Vol. 262.105307. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105307>

*Статья поступила в редакцию 13 февраля 2019*

# Engineering and geological conditions as the basis for the construction of underground structures

Irina Valerievna ABATUROVA<sup>1,\*</sup>  
 Ivan Andreevich SAVINTSEV<sup>1,\*\*</sup>  
 Vladislav Sergeevich KOZLOV<sup>2,\*\*\*</sup>  
 Elvina Damirovna NUGMANOVA<sup>2,\*\*\*\*</sup>  
 Evgeny Alekseevich ZVONAREV<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>

1Ural State Mining University, Russia, Ekaterinburg 2000 GINGEO, Russia, Ekaterinburg

**Relevance of the work.** The most significant problem in the construction of underground structures, especially within the city territory, is the determination of parameters for engineering and geological conditions and their possible change during construction.

**Purpose of the work:** preventing the development of hazardous engineering and geological processes for making quick decisions on safety of tunneling when performing a forecast of the stability of a rock mass subjected to anthropogenic impact. Methodological studies. The tasks and methods of studying the engineering and geological conditions for the design and construction of underground structures are determined by the complexity of natural conditions. At the same time, the content, volume, accuracy and confidence level of the obtained data on engineering-geological conditions should be minimally necessary and sufficient for the design of underground structures. The choice of methodical methods and techniques, the combination of which will allow us designing and implementing a rational set of field, laboratory and office work, has two goals: To study geological- engineering conditions and to evaluate the forecast parameters of changes in geotechnical conditions.

**Results of the work and the scope of their application.** The forecast was made of the stability of the rock mass using the geomechanical classification by N. S. Bulychev. The analysis of engineering and geological factors affecting the safe holing through an underground structure made it possible to carry out engineering and geological zoning and distinguish five categories in the rock massif with varying degrees of stability of the designed mine working massif. Consideration of the allocated sections of different stability during the design of underground workings will ensure its safe operation.

**Conclusion.** The performed studies indicate that interaction between the mass of rocks and mining is formed during the process of construction of underground workings. Accordingly, at the design stage, an adequate information model of engineering-geological conditions should be created, which is considered as an interconnected system for solving two types of problems - engineering-geological and developmental. In this case, the basis should be a forecast of the reaction of the rock mass to design decisions.

**Keywords:** engineering-geological conditions, rock mass, fracturing, physical and mechanical properties, heterogeneity, engineering-geological zoning, stability forecast

## REFERENCES

1. Bulychev N. S. 1994, *Mekhanika podzemnykh sooruzheniy* [Mechanics of underground structures]. Moscow, 381 p.
2. Yarovoy Yu. I. 1999, *Prognoz deformatsiy zemnoy poverkhnosti i zashchita gorodskoy zastroyki pri stroitel'stve metropolitena na Urale* [Forecast of deformations of the earth's surface and protection of urban development during the construction of underground line in the Urals]. Ekaterinburg, 257 p.
3. Bell F. G. 2013, *Engineering geology and geotechnics*. London: Elsevier, 504 p.
4. McLean A. C., Gribble C. D. 2005, *Geology for civil engineers*. London: E&Spon, 348 p.
5. Waltham T. 2014, *Foundations of engineering geology*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 104 p.
6. Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Koroleva I. A., Petrova I. G. 2017, *Problemy polucheniya geologicheskoy informatsii pri provedenii inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy* [Problems of obtaining geological information during engineering geological surveys], 13th Conference and Exhibition Engineering Geophysics. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700376>
7. Dashko R. E. 2015, *Mezhdistsiplinarnyy podkhod k resheniyu inzhenerno-geologicheskikh problem pri osvoenii i ispol'zovanii podzemnogo prostranstva gorodov* [The interdisciplinary approach to solving geotechnical problems in the development and use of the underground space of cities], Modern problems of hydrogeology, engineering geology and hydrogeoecology of Eurasia: proceedings of the All-Russian Conference, Tomsk. Pp. 150-155.
8. Pisetsky V., Lapin S., Vlasov V. 2016, The problems and the results of practical application of seismic monitoring and risk assessment of hazardous processes in underground conditions. 12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics. P. 367-374. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600334>
9. Pisetski V. B., Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Savintsev I. A., Petrova I. G. 2017, Solving the problems of obtaining geo-logical information with using geophysical methods of research during engineering-geological surveys. 23rd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701984>
10. Baranovsky A. G. 2018, Composition and structure of the dispersed zone of the weathering crust of granitoids in Chely-abinsk. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], vol 13, No 4/5. Pp. 20-34. (In Russ.)
11. Shinkaryuk V. A. 2013, Forecasting rock mass stability during mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], P. 93-101. (In Russ.)
12. Nikulina M. E., Gorobtsov D. N., Pendin V. V. 2017, Engineering and geological audit in design and construction of linear transport facilities. *Procedia engineering*. Vol. 189. P. 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.012>
13. Alrowaimi M., Chopra M., Yun H., Mokhtari S. 2019, Experimental Study of Sinkhole Failure Related to Groundwater Level Drops. *Journal of Testing and Evaluation*. Vol. 48, No 6. <https://doi.org/10.1520/JTE20180064>

✉ [aingeo@mail.ru](mailto:aingeo@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-4829-3204>

\*\* [office@ursmu.ru](mailto:office@ursmu.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-4760-9900>

\*\*\* [mr.vkla@mail.ru](mailto:mr.vkla@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-0980-8335>

\*\*\*\* [nugmanova\\_elvina@mail.ru](mailto:nugmanova_elvina@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-0218-4494>

\*\*\*\*\* [evgen-zvonarev@mail.ru](mailto:evgen-zvonarev@mail.ru)

14. Xue Y, Zhang X., Li S., Qiu D., Su M., Li L., Li Z., Tao Y. 2018, Analysis of factors influencing tunnel deformation in loess deposits by data mining: A deformation prediction model. *Engineering Geology*. Vol. 232. P. 94-103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.014>
15. Zheng J., Yang X., LQ Q., Zhao Y, Deng J., Ding Z. 2018, A new perspective for the directivity of Rock Quality Designation (RQD) and an anisotropy index of jointing degree for rock masses. *Engineering geology*. Vol. 240. P. 81-94. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.013>
16. Naghadehi M. Z., Thewes M., Lavasan A. A. 2019, Face stability analysis of mechanized shield tunneling: An objective systems approach to the problem. *Engineering Geology*. Vol. 262.105307. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105307>

*The article was received on February 13, 2019*