

# МОНОГРАФИЯ Е.М. ПАШКИНА ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ПРИ ТОННЕЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР И КОММЕНТАРИИ

## A MONOGRAPH BY E.M. PASHKIN ON ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS DURING TUNNEL CONSTRUCTION: A REVIEW AND COMMENTS



Опубликованное сравнительно недавно второе (исправленное и дополненное) издание монографии Евгения Меркурьевича Пашкина «Инженерно-геологические исследования при строительстве туннелей» [1] (первое издание вышло еще в 80-х годах прошлого века) вызывает безусловный интерес у широкого круга читателей — от студентов вузов до проектировщиков и строителей, работа которых связана со строительством гидротехнических и транспортных туннелей. Данная статья представляет собой реферативный обзор этого издания с комментариями автора обзора.

Автор рассматриваемой книги Евгений Меркурьевич Пашкин — известный ученый, профессор кафедры инженерной геологии Российского государственного геологоразведочного университета, доктор геолого-минералогических наук.

Следует отметить, что Е.М. Пашкин изначально прошел научную школу подземного гидротехнического строительства, поэтому самый распространенный термин в его монографии — «туннель», традиционно употребляемый подземными гидротехниками. В данной же статье будет использоваться другое написание этого термина — «тоннель», являющееся традиционным в Тоннельной ассоциации России, в которой работает автор данной статьи.

### МАЗЕИН С.В.

*Заместитель руководителя исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России, действительный член Академии горных наук, д. т. н., г. Москва, maz-bubn@mail.ru*

### MAZEIN S.V.

*Deputy head of the executive directorate of the Russian Tunneling Association, academician of the Mining Sciences Academy, DSc (Doctor of Science in Technics), maz-bubn@mail.ru*

### Ключевые слова:

*монография; инженерно-геологические исследования; тоннельное строительство; природно-техническая геосистема; структура массива горных пород; устойчивость горных пород; типизация геологических условий.*

### Аннотация

**В статье приводится реферативный обзор монографии профессора Е.М. Пашкина «Инженерно-геологические исследования при строительстве туннелей» с комментариями автора обзора. Рассматриваемая монография содержит научно-практические результаты инженерно-геологических исследований при строительстве туннелей гидротехнического и транспортного назначения и вызывает безусловный интерес у широкого круга читателей, включая инженеров-геологов, проектировщиков и строителей.**

### Key words:

*monograph; engineering-geological surveys; tunnel construction; natural-technical geosystem; structure of a rock and soil massif; stability of rocks and soils; typification of geological conditions.*

### Abstract

**This paper is a review of the monograph by professor E.M. Pashkin, “Engineering-geological surveys for tunnel construction”, with S.V. Mazein’s comments. This monograph contains research and practice results of engineering-geological surveys during the construction of hydrotechnical and transport tunnels, and generates undoubted interest among a wide range of readers, including geological engineers, designers and builders.**

На основе кропотливого научного труда Е.М. Пашкин обосновывает в своей книге необходимость создания методов прежде всего для инженерно-геологической оценки структуры массива горных пород в качестве базиса для принятия инженерных решений, технологических и расчетных схем, позволяющих, в частности, использовать тоннелепроходческие комплексы, совместимые с геологическими особенностями массива. К слову сказать, в развитие своих исследований автор монографии активно продвигает (в том числе на международном уровне [4])

идею использования методов инженерно-геологической диагностики на основе обратной информационной связи, получаемой во время проходки тоннелей, в том числе с использованием современных технологий и тоннельных комплексов.

Монография Е.М. Пашкина не только интересна благодаря ретроспективному обзору геологических исследований для строительства горных тоннелей, но и актуальна по постановке инженерно-геологических задач перед теми, кто использует современные технологии тоннелестроения.

Остановимся на содержательных аспектах в главах рассматриваемой книги.

В *первой главе* книги автор расширявает понятие «массив горных пород», рассматривая последний как сложную систему в плане структуры и неопределенности динамического состояния. При этом он достаточно логично выделяет три уровня иерархии инженерно-геологических элементов — элементарный блок, структурно-тектонический блок и агломерат структурно-тектонических блоков. Е.М. Пашкин приходит к важному выводу о том, что материальная основа геосистемы «массив горных пород» — не то же самое, что ее элементарные блоки, тем самым подчеркивая важность использования структурного подхода.

Далее приводится понятие «природно-техническая геосистема (возникающая в процессе сооружения подземных выработок в массиве горных пород)». Подземная технология создания сооружения вызывает появление отрицательных обратных связей, стремящихся стабилизировать природно-техническую геосистему (ПТГ), и провоцирует появление источников возмущения, нарушающих устойчивость горных пород, то есть возникновение положительных обратных связей. К возмущениям Е.М. Пашкин здесь относит подземное выветривание, формирование зон пониженных напряжений, развитие обводненности массива, появление трещин и пр., сопровождая описание процессов конкретными примерами.

Автор монографии отмечает, что сформулированные принципы системного подхода должны быть направлены на комплексное изучение массивов горных пород и прогнозирование реакций геологической среды на намечаемое строительство и последующую эксплуатацию тоннельных сооружений, что необходимо для обеспечения качественных инженерных изысканий и проектирования подземного строительства.

*Вторая глава* книги посвящена роли структуры массивов горных пород в формировании инженерно-геологических условий строительства тоннелей. Для оценки устойчивости горных пород автор рассматривает породный массив как узловую конструкцию, в которой могут быть и ослабленные, и усиленные элементы. При такой схеме массива деформации происходят в зависимости от его структуры, состава и состояния его элементов по принципу слабого звена.

При анализе устойчивости горных пород автор логично принимает за основу структурное объяснение тех явлений, которые наблюдаются в процессе проходки тоннелей. И это важное объяснение дополняется фактом структурной общности массивов горных пород горноскладчатых областей.

Поскольку строительство тоннелей в последние годы дает огромное количество материалов по вывалам пород в выработки, эти объективные источники информации

служат, как правильно утверждает автор, основой для прогноза устойчивости подземных выработок. Для объяснения образования вывалов автор в том числе считает необходимым поиск характера связи между ними и различными геологическими факторами.

Из структурных элементов, наиболее сильно влияющих на устойчивость пород в подземных выработках, автор выделяет трещинную тектонику и разрывные нарушения. При этом Е.М. Пашкин отмечает, что на скорость комбайновой проходки влияют не только типы плоскостей нарушений и частота их встречаемости, но и ориентация трещин по отношению к оси тоннеля. Определяющую роль в формировании крупных вывалов в сводах и стенках подземных выработок играют крупные тектонические трещины с заполнителем из глины, дресвы и щебня.

Автор также приводит реальные примеры породных конструкций, обеспечивающих устойчивость подземных выработок и выполняющих функции каркасов, ребер жесткости, арочных ребристых конструкций из клиновых блоков. При этом весьма убедительным является утверждение о том, что породные конструкции, формирующие поверхность выработок, часто определяют их сопротивляемость воздействию негативных факторов.

В *третьей главе* книги автор рассматривает влияние различных геологических факторов на формирование инженерно-геологических условий строительства тоннелей.

В качестве гипогенных факторов рассматриваются гидротермальные процессы, приводящие к естественной геологической мелиорации горных пород. Приводится наглядный пример залечивания трещин гидротермальным кальцитом.

Рассматривается также весьма распространенное влияние обводненности на устойчивость пород. Суффозионный процесс, всегда протекающий в трещинах по периметру выработки, приводит к вымыванию или растворению заполнителя трещин, снижению устойчивости пород и образованию вывалов. Обводненность также приводит к изменению физического состояния глинистых пород. Притоки и прорывы воды в подземные выработки существенно усложняют ведение горных работ и нередко являются причинами задержек при проходке тоннелей. Правоту автора книги подтверждают многие знакомые нам исторические примеры.

В монографии подчеркивается, что при инженерно-геологических исследованиях устойчивости массивов крайне мало внимания уделялось процессам подземного выветривания горных пород, агентами которого являются вода, углекислота, изменения температуры и влажности воздуха. Одним из существенных факторов подземного выветривания является проходка выработок — дробление пород взрывами, измельчение их буровым инструментом или колесно-гусеничными механизмами. Е.М. Пашкин утверждает, что в выветрелых глинистых породах недопустима установка анкерной крепи, так как может произойти обрушение уже при бурении шпуров с промывкой водой. С этим автор данного обзора согласен, поскольку сам неоднократно был свидетелем вынужденного «сухого» бурения шпуров под анкерную крепь выработок в аргиллитах.

Также описаны примеры набухания сульфатных и глинистых пород в процессе строительства тоннелей, в частности примеры вспучивания подошв тоннелей. В конце третьей главы сделан не вызывающий сомнения вывод о том, что трещиноватость горных пород влияет на обра-

зование вывалов значительно сильнее, чем другие свойства массивов.

В *четвертой главе* монографии рассматриваются нарушение устойчивости горных пород при строительстве тоннелей, основные черты и условия образования вывалов как наиболее распространенного и опасного горно-геологического явления, зависимость их возникновения от структуры массива горных пород и от технологических факторов. Вывалы образуются, несомненно, по развитым в массивах системам трещин. Е.М. Пашкин предлагает разделить вывалы по условиям образования на три группы:

- 1) связанные с мгновенным хрупким разрушением путем распространения «бегущей трещины» от буровзрывных работ;
- 2) связанные с подземным выветриванием по трещинам;
- 3) связанные с медленным пластическим течением перемятых горных пород.

С определенным приближением представляя форму вывала в виде треугольника, автор аналитически определяет условия равновесия свода обрушения.

Далее он резонно утверждает, что деформирование горных пород при проходке подземных выработок в основном происходит в форме скольжения по поверхностям стенок трещин, в местах зацепления которых возникают значительные напряжения. Для количественной оценки соотношения расположения в пространстве сети трещин и выработки Е.М. Пашкиным предложен коэффициент трещинного ослабления — отношение суммарной площади эллипсоидальных сечений, получаемых при пересечениях элементарного цилиндра (диаметром 1 м) с плоскостями трещин, к его длине. Этот коэффициент, заслуживающий внимания при выборе тоннельных трасс, позволяет определять оптимальные направления подземных выработок.

В *пятой главе* изложены принципы прогнозирования устойчивости горных пород в подземных выработках — непрерывного процесса получения, обработки и обновления информации об устойчивых и слабоустойчивых участках строящихся подземных сооружений, а также выявления регулирующих факторов для конкретной геосистемы.

Помимо рассмотрения подобия между массивами горных пород для двух конкретных объектов Е.М. Пашкиным обсуждаются и некоторые технологические критерии подобия между разными гидротехническими тоннелями. Предлагаются следующие критерии:

- энергия взрыва;
- геометрическое подобие для свода, профиля и поперечного сечения выработки;
- трещинное ослабление;
- пространственное подобие.

Предложенные критерии подобия действительно могут помочь в прогнозировании устойчивости строящейся выработки при учете поведения других выработок при их проходке.

В *шестой главе* приведена методика построения аналоговых расчетных схем для определения параметров вывалов. Были получены уравнения огибающих кривых вывалов для строящихся тоннелей Нурекской и Рогунской ГЭС по фактическим материалам и по эталонным пирамидам. Графическое сравнение этих результатов показало вполне удовлетворительную сходимость. Е.М. Пашкин выдвигает весьма интересный тезис о том, что образовавшееся

после вывалов овоидальное сечение выработки представляет собой устойчивую систему с пропорцией между элементами сечения (осью овоидального сечения и проектным радиусом свода выработки), близкой к таковой для «золотого сечения». Автор настоящей статьи также наблюдал подобное нерукотворное оформление сечений выработок, причем с динамическими проявлениями горного давления массива на глубоком руднике у Норильско-Хараелахского субмеридионального разлома, — шатрообразную форму штреков, параллельных разлому, и «разыгрывание» круглых сечений вертикальных стволов до вытянутого овала. И пропорцию между осями овала автор данного обзора связывал с соотношением величин действующих боковых напряжений в массиве по широте и долготе, а также вертикальных напряжений (для горизонтальных выработок), то есть тоже с природными явлениями, как и подчеркивает в своей монографии Е.М. Пашкин.

Особый интерес представляет *седьмая глава* книги — об инженерно-геологических исследованиях при строительстве тоннелей значительной протяженности. После обзора примеров протяженных тоннелей автор обоснованно говорит о затруднениях при инженерно-геологических изысканиях из-за сочетания больших глубин заложения и значительной протяженности тоннелей в труднодоступных местах.

Мысль о том, что возрастает необходимость в обобщении опыта инженерно-геологических изысканий, в том числе в разработке инженерно-геологического типологического районирования и анализе условий строительства завершённых тоннелей, автор развивает и в своих более поздних публикациях применительно к строительству метрополитена в Москве, например в работе [2]. Действительно, во-первых, новейшие технологии строительства тоннелей включают в том числе и возможность прогнозирования и купирования осложнений при проходке. Во-вторых, обобщение опыта показало несоответствие подходов к инженерно-геологическим изысканиям и требований современных технологий тоннелестроения. Парадоксальным является то, что при достигнутой производительности тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) до 180 м в неделю бурение разведочных скважин и их опробование займут значительно больше времени, чем проходка тоннеля. В-третьих, сооружение тоннелей значительной протяженности стимулировало развитие новых технологий их проходки и появление новых методов оценки инженерно-геологических условий для обеспечения надежности созданных сооружений.

Автор выделяет следующие три направления разработки методики изыскательских работ по трассам тоннелей:

- 1) инженерно-геологическая съемка трассы;
- 2) интегральная оценка основных геологических факторов;
- 3) учет роли отдельных геологических факторов.

Далее Е.М. Пашкин приводит конкретные примеры геологических полевых испытаний во время проходки многих протяженных транспортных тоннелей в разных странах мира и дает оценку качества инженерно-геологических изысканий. Он знакомит читателя с результатами исследований эффективности прогнозирования горно-геологических условий проходки по материалам строительства 93 км тоннелей в Колорадо (с результатами крупномасштабного картирования, дополненного данными припортового бурения). Эти, а также другие резуль-



таты прогнозирования, уже из отечественного опыта, действительно показывают, что степень их достоверности является весьма низкой.

Автор данного обзора, специализирующийся на исследованиях тоннельной проходки с помощью щитовых ТПМК, согласен с Е.М. Пашкиным в том, что в последнее время разработаны такие технологии тоннельного строительства, которые в минимальной степени зависят от сложностей геологического строения массива и от гидрогеологических условий при сохранении высоких скоростей и безопасности проходки. При этом скорость проходки можно считать интегральной оценкой эффективности работы щита в конкретных инженерно-геологических условиях.

Автор настоящей статьи солидарен с Е.М. Пашкиным в том, что при проектировании и строительстве тоннелей с использованием ТПМК весьма эффективна типизация геологических условий проходки как метод установления типовых условий на основе общих инженерно-геологических особенностей разрабатываемых грунтов (этот метод получил развитие в последних публикациях Е.М. Пашкина [3]).

В *восьмой, заключительной, главе* автором рассмотрены некоторые принципы и методы управления природно-технической геосистемой «массив горных пород — выработка», учитывающие особенности массива. Приведены схемы породно-анкерных подсистем, а также методики выбора оптимальной формы сечения и ориентировки подземных выработок. Описаны примеры проходки через тектонические разрывы с тампонирующим обвод-

ненных зон и созданием предварительного защитного свода в тектонических нарушениях. Вся эта информация вызывает несомненный интерес у специалистов (и у автора данной статьи в том числе), планирующих развивать методы управления различными природно-техническими геосистемами и еще сказать свое слово в горной науке.

Е.М. Пашкин оправданно считает очевидными следующие выводы:

- имеющееся на сегодняшний день методическое и технологическое несовершенство разведочных работ уже не позволяет должным образом описывать состояние геологической среды на осваиваемых глубинах;
- инженеры-геологи находятся «в долгу» перед современными технологиями строительства тоннелей.

Очевидно, что традиционная идеология инженерно-геологических изысканий при строительстве тоннелей должна быть изменена по намеченным в монографии путям. В контексте своих идей Е.М. Пашкин выделяет такой важный фактор влияния на устойчивость выработок, как геологическая структура массива, которая до сих пор определяется по многочисленным скважинам с земной поверхности только точно и весьма приблизительно. Зато она может достоверно описываться с помощью технологичных геологических исследований в тоннелях, строящихся с использованием современных технологий.

С очень ценными напутствиями автора такой своевременной и методологически точной монографии нельзя не согласиться всем заинтересованным специалистам и исследователям в области инженерно-геологических изысканий при строительстве тоннелей. 🌐

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашкин Е.М. Инженерно-геологические исследования при строительстве туннелей. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во группы компаний «Геореконструкция», 2013. 239 с.
2. Пашкин Е.М., Мазеин С.В., Рябов Е.Б. Оптимизация геологических изысканий для проектирования метрополитена в Москве // Метро и тоннели. 2015. № 4. С. 14–17.
3. Пашкин Е.М., Мазеин С.В., Рябов Е.Б. Разработка технологической типизации инженерно-геологических условий строительства метрополитена в Москве // Метро и тоннели. 2015. № 5. С. 13–15.
4. Pashkin E., Mazein S. The methods of the use of the heterogeneous engineering-geological conditions diagnostic during shield underground tunneling // Procedia Engineering. 2016. V. 165. P. 308–314.



<https://sdelanounas.ru/blogs/18042/>