



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя

Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета

А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

А.В. КОРЧАК

М.В. КУРЛЕНЯ

В.Н. ОПАРИН

В.И. ОСИПОВ

В.Л. ПЕТРОВ

А.Д. РУБАН

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.А. ЧАНТУРИЯ

*президент МГГУ,
чл.-корр. РАН*

*директор
Издательства МГГУ*

академик РАЕН

академик РАЕН

академик МАН ВШ

академик РАН

*чл.-корр. РАН,
директор ИГД СО
РАН*

академик РАН

академик МАН ВШ

*чл.-корр. РАН,
зам. директора
ИПКОН РАН*

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

**А.М. Гальперин
В.С. Зайцев**

IV

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

*Допущено Учебно-методическим объединением
вузов Российской Федерации по образованию
в области горного дела в качестве учебника
для студентов вузов, обучающихся
по направлению «Горное дело»*

**МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»
2011**

ГЕОЛОГИЯ



УДК 624.131(075.8)

ББК 26.3

Г 17

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей № 77.99.60.953.Д.014367.12.10

Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела (письмо № 51-63/6 от 09.06.2009 г.)

Рецензенты:

- кафедра геологии и гидрогеологии Московского государственного открытого университета (зав. кафедрой д-р геол.-минер. наук, проф. С.С. Бондаренко);
- проф., д-р техн. наук В.И. Стрельцов (ФГУП «ВНИОГЕМ»)

Гальперин А.М., Зайцев В.С.

Геология: Часть IV. Инженерная геология: Учебник для вузов. — М.: издательство «Горная книга», 2011. — 559 с.: ил.

ISBN 978-5-98672-158-3 (в пер.)

Изложены основные сведения из инженерной петрографии (грунтоведения): характеристики состава, строения, состояния и свойств горных пород и грунтов. Рассмотрены современные представления об особенностях массива горных пород и методах его исследования. Приведена методика изучения инженерно-геологических условий территорий освоения, а также технические характеристики современного оборудования, используемого для данных целей. Проанализированы характерные этапы составления прогнозных оценок условий разработки месторождений полезных ископаемых и строительства подземных сооружений.

А.М. Гальперин — д-р техн. наук, профессор; *В.С. Зайцев* — канд. техн. наук, профессор (кафедра геологии Московского государственного горного университета).

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Горное дело».

УДК 624.131(075.8)

ББК 26.3

ISBN 978-5-98672-158-3



9 785986 721583

© А.М. Гальперин, В.С. Зайцев, 2011

© Издательство «Горная книга», 2011

© Дизайн книги. Издательство
«Горная книга», 2011

*Памяти учителя, профессора
Пантелеймона Николаевича Панюкова
посвящается*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Инженерная геология входит в состав научных дисциплин, направленных на изучение геологических условий производства разнообразных инженерных работ, связанных в первую очередь с разработкой месторождений полезных ископаемых и строительством подземных сооружений. Богатый опыт горно-строительных и горно-эксплуатационных работ убедительно свидетельствует, что недостаточное знание гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки и неумение оценивать ее с технологических позиций приводят к неритмичности в работе горных предприятий, а порой и к аварийным ситуациям. Вместе с тем всесторонний учет гидрогеологических и инженерно-геологических факторов, формирующих геологическую среду, позволяет не только выявить возможность улучшения технико-экономических показателей работы горно-технических объектов, но и способствует разработке эффективных инженерных мероприятий по поддержанию их в сложных горно-геологических условиях.

Подготовка инженеров по горно-технологическим специальностям предусматривает изучение цикла геологических дисциплин, включающего в себя «Основы геологии», «Месторождения полезных ископаемых», «Гидрогеология», «Инженерная геология» и «Горно-промышленная геология».

В предлагаемом учебнике «Инженерная геология» выделены четыре раздела, дающие представления о характерных инженерно-геологических свойствах горных пород, структурных особенностях толщ (массивов) горных пород, геодинамическом состоянии осваиваемых территорий, принципах прогнозирования

ния поведения геологической среды в ходе ведения горных работ и эксплуатации горно-технических объектов.

Такой многосторонний обзор состояния геологической среды способствует принятию обоснованных технологических, а при необходимости и специальных мероприятий, обеспечивающих безопасность ведения работ, их экономическую эффективность и отвечающую современным нормативным показателям экологическую ситуацию.

При подготовке рукописи к печати были приняты во внимание замечания и пожелания, полученные на изданный в 1989 г. учебник «Гидрогеология и инженерная геология» (авт. А.М. Гальперин, В.С. Зайцев, Ю.А. Норватов).

Авторы выражают также благодарность В.П. Зервандовой, И.А. Честной, А.В. Яшиной и С.А. Пуневскому за помощь в подготовке рукописи к изданию.

Авторы признательны А.Е. Королькову, Т.В. Дубровской, Ю.И. Кутепову, Е.С. Оксенкругу, М.Н. Тавостину и М.М. Хайрутдинову за предоставленные цветные фотографии.

Отзывы просим направлять по адресу: Москва, Ленинский проспект, 6, МГГУ, кафедра геологии.

ВВЕДЕНИЕ

Мы хотим не только знать, как устроена природа и как происходят природные явления, но и ... узнать, почему природа является такой, а не другой.

А. Эйнштейн

Инженерная геология изучает геологические условия строительства и эксплуатации сооружений различного назначения и типа. Эти условия, называемые инженерно-геологическими, определяются геологическим строением и геодинамическим состоянием территории. Соответственно, основными объектами исследований являются *горные породы, толщи (массивы горных пород), современные геологические процессы и явления и инженерно-геологические процессы и явления*, определяемые техногенными факторами. В горно-строительной и горно-эксплуатационной практике подобные процессы и явления известны под названием *горно-геологических*, что подчеркивает специфические особенности инженерной геологии в горном деле, для которого в качестве первоочередных рассматриваются задачи по оценке состояния горных пород и слагаемых ими массивов — среды производства горных работ. Горные породы служат конструктивными элементами подземных или открытых горных выработок и их устойчивость во многом зависит от геологоструктурных характеристик массива пород.

Становление инженерной геологии приходится на конец XIX — начало XX в. и связано с практикой геологических работ для различных видов наземного и тоннельного строительства. Инженеры-строители решали задачи по оценке прочности и устойчивости горных пород в основаниях сооружений; степени опасности для сооружений геологических процессов, вызываемых главным образом разрушительной работой вод поверхностного и подземного стока и землетрясений; устойчивости естественных склонов; условий осушения болотных массивов и т.п. Перечисленные и подобные им задачи решались геологами в

основном на базе общегеологических исследований с привлечением опыта эксплуатации сооружений в различных геологических условиях.

Результаты геологических исследований освещались в многочисленных разрозненных публикациях, причем многие из них не потеряли своего значения и до сих пор. Таковы, например, работы проф. Ф.Ю. Левинсон-Лессинга, акад. А.П. Павлова, проф. И.В. Мушкетова и других выдающихся геологов.

Следует отметить, что рекомендации геологов носили описательный, качественный характер, что затрудняло их непосредственное использование в проектных решениях. И.В. Мушкетов (1879 г.) отмечал: «В последнее время практическое применение геологии все более и более расширяется. Не говоря уже о горном деле, из которого возродилась сама геология. Поэтому тем более странно, что в деле проведения и особенно при изыскании направлений железных дорог... ограничивались только изучением орографии местности и не обращали внимания на ее геологические особенности». По мнению Ф.Ю. Левинсон-Лессинга (1912 г.), между геологической наукой и инженерным искусством не должно быть разобщенности и конкуренции, между ними должно быть содружество.

Накопленный опыт обобщался в руководствах по технической геологии, содержавших краткое и доступное для строителей изложение основ геологии и примеры использования геологических знаний для решения отдельных задач строительства. Среди руководств по технической геологии следует выделить книги С. Вагнера (1887 г.), И.В. Мушкетова (1887 г.), Р. Кейлака (1923 г.).

На низком уровне в то время находилась теория фундаментостроения и теория производства земляных, в том числе горных работ. Аварии сооружений, особенно участвовавшие с ростом масштабов и темпов строительства, вызвали необходимость разработки научных основ строительного дела, связанных с грунтами*. Теоретической базой послужили работы К. Кулона

* Грунтами в механике грунтов называют несцементированные (глинистые и раздельнозернистые) горные породы, прочность которых во много раз ниже прочности минеральных составляющих (Н.А. Цытович).

по статике сыпучих тел (1773 г.) и Ж. Буссинеска о распределении напряжений в упругой среде от сосредоточенной нагрузки (1885 г.). За сравнительно короткий срок были заложены основы нового раздела прикладной механики — *механики грунтов*. В частности, получены решения задач по оценке несущей способности естественных оснований сооружений, условий устойчивости откосов земляных масс, давлению горных пород на подпорные стенки и крепь горных выработок; разработан и использован при инженерно-геологических изысканиях ряд экспериментальных методов оценки строительных свойств грунтов.

Однако, как показала практика строительства, степень различия между идеализированными телами, изучаемыми в механике грунтов, и геологическими телами, исследуемыми геологическими науками, настолько велика, что в ряде случаев геологическое строение и геологические процессы полностью противоречили выводам механики грунтов. Это обстоятельство повысило интерес к исследованию поведения горных пород в натуральных условиях (*in situ*); начали распространяться методы моделирования явлений взаимодействия сооружений с геологической средой.

Было установлено, что поведение горных пород определяется результатом совместной работы системы «геологическая среда (массив горных пород) — сооружение». Появление работ К. Терцаги (1925, 1929 гг.) подтвердило необходимость объединения научно-технических средств геологии и механики грунтов и способствовало формированию геотехнического направления в строительной механике, повысившего степень взаимодействия между геологами и инженерами-строителями.

Термин *инженерная геология*, по-видимому, впервые появился в работе Г. Рейса и Т. Ватсона, изданной под таким наименованием в 1915 г. Инженерная геология рассматривается авторами как геология для инженеров, т.е. как техническая геология. Основоположителем инженерной геологии в нашей стране является академик Федор Петрович Саваренский (1881—1946 гг.), сумевший доказать необходимость учета геологических знаний при решении задач проектирования и строительства различных инженерных объектов. В работе «Значение гидрогеоло-

гии в деле землеустройства» (1924 г.) Ф.П. Саваренский подчеркнул внутреннюю взаимосвязь между гидрогеологией и инженерной геологией: «За последние десятилетия понятие гидрогеологии значительно расширилось, и ...представляет собой обширную научно-практическую дисциплину, обнимающую собой не только подземные воды..., но и все явления геологического и физико-географического характера, связанные с деятельностью как подземных вод (оползневые, карстовые явления, заболачивание и т.п.), так и поверхностных вод (размыв, образование оврагов, смыв и заиление и т.п.). Лишь спустя некоторое время гидрогеология выделилась в самостоятельную отрасль знаний. В 1937 г. Ф.П. Саваренский издал учебник «Инженерная геология», где впервые была обозначена структура этой отрасли знаний и выделены научные направления, отвечающие структуре современной инженерной геологии.

Инженерная геология — разветвленная область знаний, объединяющая учение о свойствах горных пород (грунтов) и их толщ (массивов), рассматриваемых как основания сооружений, среда производства инженерных работ и размещения сооружений, а также учение о геодинамических условиях их возведения. Отметим, что под грунтами в современном представлении следует понимать любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы, исследуемые в связи с планируемой, осуществляемой или осуществленной инженерной деятельностью человека (В.Т. Трофимов, 2000).

Выделяют следующие основные разделы инженерной геологии.

1. Инженерная петрография (грунтоведение) исследует свойства грунтов, определяющие их поведение в сфере воздействия инженерных работ и сооружений. В теоретическом плане главная проблема — изучение природы свойств грунтов, знание которой составляет научную базу для их прогнозирования и управления этими свойствами.

Возникновение грунтоведения акад. Е.М. Сергеев относит к 1923 г., когда в Петрограде Н.И. Прохоров, П.А. Замятченский и Н.Н. Иванов приступили к изучению грунтов в связи со строи-

тельством дорог. В дальнейшем это направление в инженерной геологии развивалось М.М. Филатовым, В.В. Охотиным, В.А. Приклонским, Е.М. Сергеевым и их школами и было реализовано в теории и практике направленного изменения состояния и свойств горных пород (М.Е. Кнорре, М.М. Морозов, М.И. Литвинов, С.Д. Воронкевич и др.). Детальные исследования природы механических свойств глинистых пород с применением электронно-микроскопических методов выполнены акад. В.И. Осиповым и В.Н. Соколовым.

2. Инженерная геология массивов пород изучает толщи горных пород как среду производства инженерных (в частности, горных) работ и размещения сооружений. Значение данного раздела инженерной геологии возрастает по мере увеличения масштабов подземного строительства, особенно горно-строительных и горно-эксплуатационных работ, выполняемых на месторождениях полезных ископаемых, разрабатываемых на значительных глубинах. Теоретическая база связана с исследованиями структуры и инженерных свойств массивов горных пород.

Создателем отечественной школы этого направления является П.Н. Панюков, который дал обоснование принципов инженерно-геологической типизации массивов горных пород применительно к практике горного дела. Большой вклад в изучение особенностей массивов горных пород и связанных с ними месторождений полезных ископаемых внесли Г.Г. Скворцов, Г.А. Голодковская, Г.В. Смирнов, И.П. Иванов, Л.В. Шаумян, В.В. Фромм.

3. Инженерная геодинамика изучает геологические процессы и инженерно-геологические процессы и явления, определяющие геодинамическую обстановку возведения и эксплуатации сооружений. В теоретическом плане в ней разрабатываются научные основы и методы оценки геодинамических условий строительства и прогноза этих условий под воздействием инженерных работ и сооружений.

Основоположником инженерной геодинамики Ф.П. Саваренским была поставлена важнейшая научно-практическая проблема инженерной геологии, которая заключается в изучении геологических процессов и физико-технических свойств горных

пород, определяющих условия возведения сооружений и направление инженерно-геологических мероприятий по обеспечению устойчивости земляных масс.

Прогнозированию, контролю и направленному изменению характера развивающихся при производстве горных работ в массивах горных пород горно-геологических явлений посвящены труды А.Г. Авершина, В.В. Ржевского, Г.Н. Кузнецова, П.Н. Панюкова, Г.Л. Фисенко, И.М. Петухова, В.А. Мироненко, И.П. Иванова, М.А. Иофиса, М.А. Ревазова, М.Е. Певзнера, В.Н. Попова, В.Г. Зотеева, В.И. Стрельцова, В.В. Фромма, Д.М. Казикаева, А.Г. Шапаря и др.

4. Региональная инженерная геология занимается изучением инженерно-геологических условий возведения и эксплуатации различных сооружений в геологически обособленных областях (регионах). Знание закономерностей пространственного изменения элементов инженерно-геологических условий лежит в основе их типизации и районирования территорий. Основоположник региональной инженерной геологии — И.В. Попов. Своим дальнейшим развитием эта отрасль инженерной геологии во многом обязана И.С. Комарову, М.В. Чуринову, Е.М. Сергееву, Г.А. Голодковской и др.

5. Горно-промышленная инженерная геология решает вопросы инженерно-геологического обеспечения при строительстве и эксплуатации горно-добывающих предприятий. К числу основных задач этой отрасли специальной инженерной геологии относятся:

- ♦ уточнение физико-механических свойств горных пород в пределах карьерных и шахтных полей, а также отвальных массивов на основе инженерно-геологического опробования в горных выработках;

- ♦ инженерно-геологическая схематизация массивов горных пород для уточненной оценки их устойчивости и разрабатываемости;

- ♦ обоснование горно-технологических решений по выбору схем вскрытия месторождений, определению параметров систем разработки применительно к конкретным типам горно-транс-

портного оборудования, регламентирование режима горных работ;

♦ прогноз, контроль и направленное изменение интенсивности инженерно-геологических процессов (литомониторинг) как основа для разработки природоохранных технологий, обеспечивающих повышение извлечения полезных ископаемых из недр, охрану и ускоренное восстановление водно-земельных ресурсов.

Объединение проблем инженерной геологии и гидрогеологии применительно к условиям горного производства и различных видов строительства возможно в рамках нового научного направления — гидрогеомеханики, созданного чл.-корр. РАН В.А. Мироненко и проф. В.М. Шестаковым. В гидрогеомеханике с единых методологических позиций рассматриваются механико-математические основы гидрогеологических и инженерно-геологических процессов в обводненных массивах горных пород, при этом первостепенное значение приобретает гидрогеомеханическая схематизация массива, обеспечивающая связь геологической основы с ее механико-математическим описанием. Такой методический подход использован для комплексного рассмотрения некоторых горно-геологических явлений: фильтрационных деформаций горных пород вокруг выработок, фильтрационной консолидации естественных оснований и отвальных массивов, депрессионного уплотнения осушаемых массивов.

Проблемы горно-промышленной гидрогеологии и инженерной геологии носят комплексный характер, обусловленный необходимостью всестороннего изучения условий инженерного освоения и преобразования геологической среды. Как считал акад. А.Е. Ферсман, новая геотехнологическая тенденция в эволюции инженерно-геологических знаний приобрела особую роль в связи с тем, что хозяйственная и промышленная деятельность по своему масштабу и значению сделалась сравнимой с процессами в самой природе, а ее последствия приобретают первостепенное значение для этой деятельности. Так, в результате осуществления мероприятий по защите горных выработок от затопления иссушаются подземные источники водоснабже-

ния целых районов, выходят из сферы сельскохозяйственного использования ценные земельные угодья. Наблюдаются активизация ветровой эрозии и захоронение почвенно-растительного покрова на огромных площадях продуктами дефляции породных масс отвалов и терриконов и т.д.

В работе «Человек, техника, Земля» (1967 г.) акад. А.В. Сидоренко отметил: «В современных условиях нельзя сводить геологию только к общей задаче — выявлению и изучению минерально-сырьевых ресурсов... или к инженерно-геологическому обоснованию строительства. Минерально-сырьевое направление в геологии следует дополнить изучением земной коры как среды обитания и деятельности человека».

Акад. Е.М. Сергеевым введено новое определение инженерной геологии как науки о геологической среде. Геологический подход к изучению Земли в нашей стране способствовал становлению новой отрасли геологических знаний — геоэкологии — науки, изучающей геосферные оболочки Земли как компоненты окружающей среды и минеральную основу биосферы и происходящие в ней изменения под влиянием природных и техногенных факторов (В.И. Осипов, 1993).

Предвидение характера и масштабов изменений природно-геологических условий необходимо для обоснования рационального проекта разработки месторождения, объемов работ по охране государственного земельного и водного фондов, рекультивации (восстановления) площадей, использованных под карьеры и шахтные поля, отвалы и терриконы.

Раздел

I

ИНЖЕНЕРНАЯ
ПЕТРОГРАФИЯ

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ПЕТРОГРАФИИ

*Отличительное свойство человека — желать
непрерывно все начинать сначала.*

И. Гете

§ 1. Принципы изучения горных пород

Оценке качественных и количественных характеристик горных пород посвящен раздел инженерной геологии — *инженерная петрография (грунтоведение)*. Инженерная петрография изучает состав и внутреннее строение горных пород, условия их происхождения, изменения и закономерности распространения в земной коре с целью получения всесторонней информации об основном компоненте геологической среды, являющейся объектом инженерно-строительной деятельности человека. В результате взаимодействия инженерного сооружения с геологической средой образуется единая природно-техническая система, которая должна обеспечить устойчивость, целостность, работоспособность инженерного объекта в конкретных инженерно-геологических условиях и ограничить изменения геологической среды под влиянием этого сооружения.

По интенсивности воздействия на геологическую среду наиболее значимы сооружения, возводимые при гидротехническом, мелиоративном, промышленном, гражданском и горно-техническом строительстве.

Состояние горных пород и их отношение к нагрузкам, возникающим в период строительства и эксплуатации инженерного сооружения, характеризуют *физико-механические* (водно-физические и механические) свойства. Эти свойства рассматриваются как результат геологических процессов, определивших формирование горной породы в ее современном виде.

Водно-физические свойства дают представление о физическом состоянии породы (пористости, плотности, водонасыщенности, консистенции) и ее отношении к воде, характеризующимся водопроницаемостью, водоотдачей, влагоемкостью, водоустойчивостью, капиллярностью. Механические свойства разделяют на прочностные, оценивающие сопротивляемость породы различным видам нагрузок, и деформационные, отражающие изменение линейных размеров и объема пород при воздействии на них физических полей. Совокупность показателей водно-физических и механических свойств называют физико-механическими показателями.

С учетом вида материальных полей, возникающих в геологической среде, физические свойства пород можно разделить на следующие классы:

- 1) гравитационные;
- 2) гидравлические;
- 3) механические;
- 4) акустические;
- 5) тепловые;
- 6) электрические;
- 7) магнитные;
- 8) радиационные.

Знание показателей этих свойств необходимо для выбора рациональной технологии разработки месторождений и переработки минерального сырья, а также проведения контроля состояния массива с использованием разнообразных методов.

Исследованиями установлено, что свойства горных пород зависят как от свойств составляющих их минералов, так и от геолого-петрографических особенностей пород, представляющих собой самостоятельные геологические тела с конкретными условиями залегания в массиве. Результаты наблюдений свидетельствуют о значительном расхождении показателей свойств горных пород, полученных на образцах и в массиве. Основными причинами подобного явления следует считать: нарушения условий подобия (геометрического); изменения напряженного состояния; временной фактор, т.е. длительность наблюдений. Оказывают влияние и эффект разгрузки горной породы в результате

извлечения образца из массива, и развитие деформаций, неизбежно сопровождающих разгрузку, а также изменения фазового состава (потеря влаги, дегазация) и механические повреждения.

Многие явления текстурной неоднородности и трещиноватости не могут быть представлены в малых объемах — образцах. В то же время их роль в развитии механических и других процессов в массивах пород исключительно велика. Все наиболее серьезные по своим последствиям нарушения устойчивости горных пород в окрестностях горных выработок и области (зоны) их локализации связаны с явлениями структурной и физической неоднородности породы и массива пород в целом.

Поэтому исследования на образцах дополняются изучением характеристик пород (на действующих объектах-аналогах или на опытных участках проектируемого объекта) в массиве, а также специальными экспериментами для оценки влияния трещиноватости, слоистости и обводненности массива на поведение пород в окрестности горных выработок. Такая последовательность исследований обеспечивает возможность экстраполяции результатов испытаний по геолого-петрографическим признакам, что позволяет сократить объем трудоемких определений механических свойств.

Свойства горных пород определяют следующие основные геолого-петрографические характеристики: вещественный состав; структуру минерального скелета и порового пространства; структурные (межминеральные) связи. Перечисленные характеристики названы П.Н. Панюковым *факториальными** (определяющими), а показатели водно-физических и механических свойств, отражающие эффект воздействия различных физических полей, — *результативными* характеристиками.

Геолого-петрографические особенности формируются в течение всей геологической истории горной породы, т.е. в процессе ее образования и последующих изменений (литификации, метаморфизма и выветривания). Влияние геолого-генетических

* Фактор (от лат. factor — делающий, производящий) — причина процесса, определяющая его характер или отдельные черты.

факторов на свойства горных пород проявляется через соответствующие изменения факториальных характеристик.

Вещественный состав горной породы оценивают путем определения ее химико-минералогических составляющих, размера минеральных частиц и их агрегатов (зернового состава), относительного содержания и химического состава подвижных фаз в поровом пространстве. С наличием поровых водных растворов связаны явления снижения прочности горных пород вследствие размягчаемости, возникновения порового давления под действием нагрузок и соответствующего снижения прочности, набухания и усадки высокодисперсных пород.

Газовые компоненты горных пород находятся в адсорбированном, растворенном, защемленном и свободном состояниях. Относительное содержание газовой фазы можно определить через коэффициент водонасыщения G (отношение объема свободной воды к объему пор). Газообразная фаза занимает от 1 до 50 % объема горной породы и представлена метаном, тяжелыми углеводородами (в угленосных толщах), газовыми эманациями магматического и метаморфического происхождения, а в верхних зонах земной коры — углекислым газом, азотом и кислородом атмосферного происхождения. Наиболее чувствительны к изменениям фазового состава высокодисперсные и, в меньшей степени, сыпучие и обладающие жесткими структурными связями твердые горные породы.

Свойства горных пород зависят от свойств их минеральных составляющих, которые определяются химическим составом и внутренним строением минералов. По химическому составу выделяют основные типы минералов (простые вещества, сульфиды и их аналоги, кислородные соединения, галоиды), которые разделяют на классы по характеру электроотрицательных ионов (анионов). С особенностями химического состава минералов при данных термодинамических условиях связаны главные черты их внутреннего строения.

Подразделение классов на подклассы производят по структурным типам кристаллической решетки минералов, основные из которых — координационный, каркасный, островной, кольцевой, цепной и слоистый. Максимальная плотность упаковки

свойственна минералам координационной и островной структур, минимальная — минералам слоистой и каркасной структур. Изменения плотности кристаллической решетки в зависимости от направления определяют анизотропию свойств минералов.

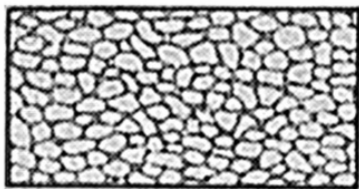
Механические и акустические свойства минералов находятся в тесной зависимости от особенностей внутреннего строения. На электронные (электрические, магнитные, оптические) свойства минералов существенное влияние оказывает вещественный состав.

Понятие «структура (строение) горной породы» объединяет представления о строении минерального скелета и порового пространства. Е.М. Сергеев предложил объединить термины «структура» и «текстура» в единый — «структурно-текстурные особенности породы», включающий в себя размер, форму и характер поверхности слагающих элементов (отдельных частиц и агрегатов), относительное их расположение в породе и характер связей между ними. Для оценки роли факториальных характеристик в формировании состояния и свойств горных пород П.Н. Панюков разделяет термины «структура» и «текстура», определяя их как строение горной породы соответственно в образце и в массиве.

Форма и размер минеральных составляющих и взаиморасположение в объеме породы зависят от способа и условий их образования, которым соответствуют следующие морфогенетические типы пустотности горных пород:

- 1) межзерновая (межгранулярная), присущая раздельнозернистым (раздельнообломочным) породам;
- 2) межминеральная, характерная для кристаллически-зернистых пород;
- 3) трещинная, свойственная твердым и полутвердым породам;
- 4) растворения, наблюдающаяся в карстующихся породах;
- 5) криптопористость (скрытая) глинистых пород;
- 6) пузырьчатая пористость некоторых эффузивных магматических пород.

Схематическое изображение ряда типов пустотностей представлено на рис. 1.1.



1



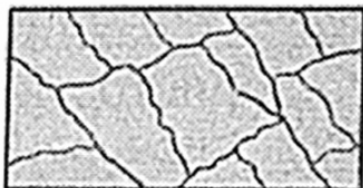
2



3



4



5



6



7

Рис. 1.1. Основные типы (системы) пустотности горных пород:

1 — межгранулярная; 2 — межагрегатная; 3 — межкристаллическая; 4 — выщелачивания; 5 — трещинная; 6 — внутризерновая и внутриобломочная; 7 — макропористость

Возможны сочетания различных типов пустотности. Количественной оценкой пустотности (скважности) служат показатели пористости n (отношения объема пор к полному объему породы) и коэффициента пористости или приведенной пористости ε (отношения объема пор к объему минерального скелета породы).

Наличие открытых или закрытых систем пустотности определяет значительные изменения водопроницаемости и механических свойств горных пород.

Структурные связи в горных породах в зависимости от типа контактов между минеральными составляющими подразделяют на непосредственные (истинные), пластинизированные и механические.

При непосредственном контакте минеральные зерна «сливаются» между собой мощными силами электромолекулярного взаимодействия. Силы сцепления на площадках истинного контакта достигают величин, часто значительно превышающих прочность на разрыв самих минеральных зерен. Величина силы сцепления обратно пропорциональна четвертой степени расстояния между минеральными зернами. Межзерновые связи данного типа, характерные для магматических и метаморфических пород, названы П.Н. Панюковым кристаллизационными, в отличие от связей цементационных, присущих большинству осадочных горных пород. Свойства пород с цементационными связями определяются не только свойствами минеральных зерен и обломков, но и составом и свойствами цементирующего вещества, типом цементации и характером связей между обломочным материалом и цементирующим веществом.

В тонкодисперсных* породах контакты минеральных зерен пластинизированы адсорбированными** водно-коллоид-

* Дисперсность (от лат. *dispersio* — рассеяние) — степень раздробленности частиц.

** Адсорбция (от лат. *adsorbere* — поглощать) — поглощение вещества поверхностным слоем.

ными* пленками. Межчастичные связи в таких породах осуществляются через сорбированные пленки воды, отличающейся от свободной воды повышенной вязкостью и усиленным клеящим эффектом коллоидных пленок кремнезема, возникающих при гидролизе поверхностного слоя силикатных частиц. Прочность водно-коллоидных связей на несколько порядков ниже прочности кристаллизационных и цементационных связей.

В породах, представленных несцементированным обломочным материалом, минеральные частицы находятся в простом соприкосновении друг с другом. Эти породы представляют собой сыпучие тела, сохраняющие свою форму под действием массы частиц и трения между ними.

§ 2. Инженерно-геологические классификации горных пород

Первая работа по оценке свойств горных пород появилась в России в 1840 г. и называлась «Об основаниях каменных зданий». Ее автор, М.С. Волков выделил два свойства — сопротивление пород давлению и их прочность. Классификация акад. А.П. Павлова, опубликованная в начале XX в. и построенная с учетом сил сцепления пород, предназначалась для строительных целей. Этот же принцип получил развитие в классификации Ф.П. Саваренского (1939 г.), выделившего пять групп горных пород (скальные, полускальные, рыхлые несвязные, мягкие связные, породы особого состава, состояния и свойств). В дальнейшем эта классификация была частично переработана В.А. Приклонским (1943 г.). Для более полного учета генетических и петрографических признаков, а также физико-механических свойств пород классификация Ф.П. Сава-

* Коллоиды (от греч. kolla — клей и eidos — вид) — клеящие дисперсные вещества с частицами размером от 10^{-7} до 10^{-5} см.

ренского была дополнена В.Д. Ломтадзе (1970 г.). Классификацию Ф.П. Саваренского — В.Д. Ломтадзе (табл. 1.1) используют для решения задач горного дела.

Перечисленные классификации имеют общий характер, что и отразилось в их названии, при этом авторы ставили перед собой цель отразить все многообразие горных пород, сгруппировать породы, близкие по инженерно-геологическим особенностям.

Общие инженерно-геологические классификации, охватывая наиболее известные и важные с позиций инженерной деятельности типы горных пород, удовлетворяют следующим требованиям:

- ♦ горные породы рассматриваются как объект инженерной деятельности, т.е. как среда и материал для проведения подземных и открытых горных выработок и других сооружений;
- ♦ подразделение горных пород осуществляется с учетом их факториальных характеристик — физической природы связей между минеральными составляющими, вещественного состава и структуры минерального скелета и порового пространства;
- ♦ основные подразделения горных пород должны соответствовать естественным геолого-петрографическим подразделениям, т.е. учитывать генетические и петрографические признаки.

Наиболее существенные свойства горных пород — механические — предопределяются характером и физической природой межминеральных связей.

Общая классификация пород, построенная на изучении взаимосвязи между отдельными группами горных пород, впервые предложена в 1948 г. Е.М. Сергеевым. В 1957 г. Е.М. Сергеев, В.А. Приклонский, П.Н. Панюков и Л.Д. Белый сформулировали принципиальные положения, на основании которых эта классификация была усовершенствована.

Классификация Е.М. Сергеева (1978 г.) предусматривает выделение двух классов горных пород по наличию или отсутствию структурных связей и двух классов (почвы и искусственные грунты) как особых генетических типов (табл. 1.2).

Инженерно-геологическая классификация горных пород (по Ф.П. Саваренскому, с изменениями и дополнениями В.Д. Ломтадзе)

Группа горных пород	Генетические типы и петрографические виды горных пород			
	Магматические		Метаморфические	
	глубинные — интрузивные	полуглубинные — жильные	излившиеся — эффузивные	массивные
I. Скальные	Граниты, сиениты, гранодиориты, диориты, габбро и др.	Гранит-порфиры, сиенит-порфиры, гранодиорит-порфиры, диорит-порфиры, габбро-порфиры	Кварцевые и бескварцевые порфиры и порфириты, диабазы, липариты, трахиты, дациты, андезиты, базальты	Мраморы, кварциты
II. Полускальные	Выветрелые и сильноотрециноватые горные породы первой группы, имеющие пониженные показатели физико-механических свойств			
III. Рыхлые несвязные	—	—	—	—
IV. Мягкие связанные	—	—	—	—
V. Породы особого состава, состояния и свойств	—	—	—	—
Мерзлые породы, резко изменяющие прочность, деформируемость и устойчивость при оттаивании				

Продолжение табл. 1.1

Группа горных пород	Генетические типы и петрографические виды горных пород			
	Осадочные			
	пирокластические	обломочные	глинистые	органогенные и химические
I. Скальные	—	Песчаники и конгломераты с прочным цементом	—	Известняки и доломиты плотные и прочные
II. Полускальные	Вулканические туфы, туффиты и туфогенные породы	Песчаники, конгломераты и алевролиты с глинистым цементом	Глинистые сланцы, аргиллиты	Известняки и доломиты глинистые, мергели, мел, кремнистые породы
III. Рыхлые несвязные	—	Пески, гравий, галечники	—	—
IV. Мятые связанные	—	—	Глины, суглинки, супеси, лёссовые породы	—
V. Породы особого состава, состояния и свойств	—	Пески-плывуны, песчаные илы	Глинистые породы засоленные, глинистые илы	Торфы, почвы, гипсы, ангидриты, каменная соль
	Мерзлые породы, резко изменяющие прочность, деформируемость и устойчивость при оттаивании	Искусственные — насыпные антропогенные породы		

Продолжение табл. 1.1

Группа горных пород	Физические	Физико-механические свойства	
		Водные	Механические
I. Скальные	Плотность высокая ($2,65 \div 3,10 \text{ г/см}^3$), пористость незначительная — доли процента, редко больше	Невлагоемкие, практически нерастворимые, водонепроницаемы только по трещинам. Коэффициент фильтрации не превышает 10 м/сут ; удельное водопоглощение $\omega < 5 \text{ л/мин}$	Прочность и упругость высокие. Сопротивление сжатию $500 \div 4000 \text{ кг/см}^2$, скалыванию $200 \div 1000 \text{ кг/см}^2$, разрыву $20 \div 150 \text{ кг/см}^2$. Несжимаемы, устойчивы в откосах. Модуль общей деформации

Группа горных пород	Физические	Физико-механические свойства	
		Водные	Механические
I. Скальные			обычно выше $100\,000\text{ кг/см}^2$. Коэффициент сдвига бетона по этим породам достигает $0,65\div 0,70$. Крепость высокая, $f_{кр} > 8$. Разрабатываются взрывным способом. Характерна анизотропия свойств пород в массиве
II. Полускальные	Плотность средняя ($2,20\div 2,65\text{ г/см}^3$), пористость до $10\div 15\%$, у отдельных разностей выше. Сквозность изменяется в широких пределах	Слабовлагоемкие. Водопроницаемость изменяется в зависимости от трещиноватости и выветрелости, коэффициент фильтрации изменяется от $0,5$ до 30 м/сут ($\omega < 15\text{ л/мин}$) у слабо- и средневодопроницаемых и более 30 м/сут ($\omega > 15\text{ л/мин}$) у сильноводопроницаемых	Прочные — с сопротивлением сжатию $150\div 500\text{ кг/см}^2$, средней прочности — $25\div 150\text{ кг/см}^2$ и малой прочности — $< 25\text{ кг/см}^2$. Сопротивление скалыванию превышает 50 кг/см^2 у пород прочных, от 10 до 50 кг/см^2 — пород средней прочности и менее 10 кг/см^2 — пород слабых. Сопротивление разрыву — от $1\div 2$ до $20\div 30\text{ кг/см}^2$. Слабосжимаемы или практически несжимаемы. Модуль общей деформации ослабленных пород $< 20\,000\text{ кг/см}^2$, пород менее ослабленных — от $20\,000$ до $100\,000\text{ кг/см}^2$. Коэффициент сдвига бетона по этим породам изменяется от $0,3$ до $0,5\div 0,55$. Устойчивость в откосах зависит от степени трещиноватости и выветрелости. Крепость средняя, $f_{кр} = 2\div 8$. Разрабатываются ударным инструментом и взрывным способом.

			Характерна анизотропия свойств пород в массиве. Многие разности обладают реологическими свойствами	
III. Рыхлые несвязные	Плотность (1,40÷1,90 г/см ³) и пористость (25÷40 %) изменяются в широких пределах	Невлагоемкие или слабовлагоемкие (тонко- и мелкозернистые разности), практически нерастворимые, водонепроницаемые. Коэффициент фильтрации до 30 м/сут у слабо- и средневодопроницаемых и превышает 30 м/сут у сильноводопроницаемых	Прочность зависит от плотности слоения. Крепость небольшая, $f_{кр} < 2$. Обычно сжимаемы. Модуль общей деформации изменяется от 50÷100 до 1000 кг/см ² . Коэффициент внутреннего трения $f = 0,25÷0,60$. Устойчивость в основании сооружений и в откосах зависит от величины внутреннего трения и интенсивности динамических воздействий. Разрабатываются механическим и ручным способами	
IV. Мягкие связные	Плотность (от 1,10÷1,20 до 1,90÷2,10 г/см ³), пористость (от 25÷30 до 75÷80 %), влажность (от 12÷15 до 75÷80 %) изменяются в широких пределах	Влагоемкие, нерастворимые, слабо-водопроницаемые или водоупорные. Коэффициент фильтрации обычно меньше 0,1 м/сут	Прочность изменяется в широких пределах в зависимости от влажности и плотности. Крепость небольшая, $f_{кр} < 2$. Сжимаемы и сильносжимаемы, модуль общей деформации изменяется от 25÷50 до 1000 кг/см ² . Коэффициент внутреннего трения $f = 0,15÷0,35$. Устойчивость в откосах зависит от влажности пород и высоты откоса. Разрабатываются ручным и механическим способами. Характерны реологические свойства	
V. Породы особого состава, состояния и свойств	Горные породы этой группы характеризуются специфическими свойствами, требующими индивидуальной оценки			

Таблица 1.2

**Общая классификация грунтов
(по Е.М. Сергееву)**

Класс	Группа	Подгруппа
Породы с жесткими связями	Магматические	Глубинные (интрузивные) Излившиеся (эффузивные)
	Метаморфические	Регионально-метаморфические Контактово-метаморфические
	Осадочные цементированные	Крупнообломочные цементированные Мелкозернистые цементированные Глинистые и пылеватые отвердевшие
	Осадочные химические и биохимические	Кремнистые Железистые Карбонатные Сульфатные Галоидные
Породы без жестких связей	Глинистые и пылеватые	Глинистые Лёссовые (алевритовые)
Почвы	Почвы	Зональные Интразональные
Искусственные грунты	Искусственные грунты	Культурные слои Наносные Насыпные Искусственно улучшенные Искусственно ухудшенные

Н.Н. Масловым (1941 г.) в качестве главных классификационных признаков приняты механическая прочность и водостойкость горных пород; предназначается эта классификация для использования в строительной практике. Применительно к горно-технической практике горные породы целесообразно разделять на группы с близкими инженерно-геологическими характеристиками. Такая классификация используется для предварительной оценки разрабатываемости (сопротивляемости технологическим процессам) и устойчивости пород в окрестности горных выработок, а также их несущей способности в основаниях сооружений наземного комплекса горных предприятий, отвалов, хвостохранилищ и т.д.

В табл. 1.3 приведены характеристики инженерно-петрографических групп горных пород (твердых, связных и раздельно-зернистых) согласно классификации П.Н. Панюкова (1956 г.), которая построена по факториальным признакам, лежащим в основе результативных инженерно-геологических показателей горных пород. Общая инженерно-геологическая классификация включает в себя сведения, позволяющие определять состав и объем дальнейшего инженерно-геологического изучения горных пород с целью разработки мероприятий (технологических и специальных) по направленному изменению свойств пород для обеспечения безопасности и эффективности горных работ.

Помимо общих, имеются также *частные, региональные и специальные* (отраслевые) классификации грунтов и горных пород.

Частные классификации дополняют общие, подразделяют и детально расчленяют отдельные группы пород на виды и разновидности по одному или нескольким признакам, исходя из определенных количественных показателей. Они обычно входят в состав нормативной документации, например СНиП, ГОСТ, СП (Строительные нормы и правила, Государственный стандарт, Свод правил).

Примером частной классификации может служить классификация искусственных грунтов (табл. 1.4).

Общая инженерно-геологическая классификация горных пород (по П.Н. Паникову)

Инженерно-геологический класс	Основные свойства горных пород	Подкласс	Горные породы	Характерные особенности горных пород	Показатели свойств
I. Твердые породы					
1. Силикатные массивно-кристаллические (магматические)	Высокая прочность и стойкость, квазизотропность физико-механических характеристик	Полнокристаллические (интрузивные)	Граниты, диориты, габбро, дуниты	Равномерно-зернистое кристаллическое строение. Пористость от незначительной до высокой	$\sigma_{сж} = 100 \div 500$ МПа; $\sigma_p = (0,02 \div 0,04) \times \sigma_{сж}$; $f_{кр} > 10$
	Водопроницаемы в случае трещиноватости	Неполнокристаллические (эффузивные)	Базальты, порфиры, трахиты, андезиты	Порфировое, скрытокристаллическое или стекловатое строение	
2. Силикатные и карбонатные, кристаллические, обычно сланцеватые (метаморфические)	Резко выраженная текстурная, а иногда и трещинная анизотропность физико-механических	Регионально-метаморфические	Филлиты, кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты, гнейсы, мигматиты, мраморы	Пористость от незначительной до высокой Сланцеватое сложение, выдержанность свойств на больших про- странствах	$\sigma_{сж} = 75 \div 180$ МПа; $\sigma_p = (0,02 \div 0,08) \times \sigma_{сж}$; $f_{кр} > 5$

	ких характеристик. Размягченность от очень слабой до средней. Водопроницаемы по трещинам	Контактово-метаморфические	Роговики, спилзиты, скарны	Невыдержанность строения и свойств на коротких расстояниях	
3. Несиликатные кристаллические зернистые (осадочные)	Слоистая неоднородность. Распространенность в виде от средней до высокой. Практически водонепроницаемы	Осадочные карбонатные и сульфатные Осадочные галогенные	Кристаллические и скрытокристаллические известняки, доломиты, гипсы, ангидриты Каменная и калийные соли	Слабая растворимость в воде, прочность и стойкость средние Хорошая растворимость в воде	$\sigma_{сж} = 12 \div 150$ МПа; $\sigma_p = (0,04 \div 0,1) \times \sigma_{сж}; f_{кр} > 4$ $\sigma_{сж} = 20 \div 30$ МПа; $\sigma_p = (0,1) \sigma_{сж}; f_{кр} > 2$
4. Окаменевшие глинистые (осадочные)	Высокая размягчаемость, нередко резко выраженная анизотропность физико-механических характеристик. Практически водонепроницаемы или слабопроницаемы по трещинам	Сланцеватые глинистые породы дислоцированных толщ	Глинистые, песчано-глинистые, глинисто-известковые и другие сланцы	Сцементированные, отчасти перекристаллизованные породы с резко выраженной анизотропией свойств	$\sigma_{сж} = 10 \div 50$ МПа; $\sigma_p = (0,02 \div 0,17) \times \sigma_{сж}; f_{кр} > 2 \div 3$

Инженерно-геологический класс	Основные свойства горных пород	Подкласс	Горные породы	Характерные особенности горных пород	Показатели свойств
4. Окаменевшие глинистые (осадочные)		Массивные, микро- и грубослоистые глинистые породы слабодислоцированных или недислоцированных толщ	Аргиллиты, алевролиты, мергели и твердевшие мергелистые глины, опоки и опоковидные глины	Окаменевшие твердые породы, не размокающие в воде, но сильно размягчающиеся	
5. Цементированные обломочные (осадочные)	Зависимость прочностных и деформационных характеристик от состава цементирующего вещества и характера обломочного (тонкодисперсного) материала.	Обломочные с кремнистой цементацией Обломочные с карбонатной цементацией	Кремнистые конгломераты, песчаники, граувакки, туффиты Известковые конгломераты, брекчии и песчаники	Высокая прочность и стойкость. Водонепроницаемы по трещинам и порам Размягчаемы, но слабо. Прочность от средней до высокой. Водонепроницаемы по трещинам и порам	$\sigma_{сж} \leq 100 \text{ МПа};$ $f_{кр} = 8 \div 10$ $\sigma_{сж} \leq 85 \text{ МПа};$ $f_{кр} = 6 \div 8$
	Прочность и стойкость пород изменяются от высокой (обло-	Обломочные с глинистой и глинисто-гипсовой цементацией	Глинистые и глинисто-гипсовые конгломераты, брекчии и песчаники	Сильная размягчаемость. Практически водонепроницаемы	$\sigma_{сж} \leq 25 \div 30 \text{ МПа};$ $f_{кр} = 2 \div 3$

6. Сильно трещиноватые и выветрелые (деградированные) твердые	мочные породы с кремнистой цементировкой) до низкой (обломочные горные породы с глинистой и льдистой цементировкой)	Детритусовые сцементированные	Известняки — ракушечники, мел	Ноздреватое или тонкопористое строение, невысокая прочность. Водопроницаемость от низкой до высокой	$\sigma_{сж} \leq 10 \div 20 \text{ МПа};$ $f_{кр} = 2$
		Обломочные с льдистой цементацией	Вечномерзлые гранитно-галечные, валунные, щебенистые, песчаные и песчано-глинистые породы	Зависимость прочности от величины отрицательной температуры, льдистости и влажности	$\sigma_{сж} < 10 \text{ МПа};$ $f_{кр} = 1 \div 2$
	Зависимость свойств от степени трещиноватости и химического разложения (выветривания). Высокая водопроницаемость	Выветрелые и трещиноватые породы магматического происхождения	Сильно трещиноватые и выветрелые граниты, диориты, базальты, порфиры и др.	Резко пониженные показатели прочности и стойкости (разборные скальные горные породы)	$\sigma_{сж} \leq 5 \text{ МПа};$ σ_p равна или близка к нулю
		То же, метаморфического происхождения	Сильно разрушенные кристаллические сланцы, гнейсы и др.		$f_{кр} = 1,5 \div 2,0;$ $K_{\phi} = 10 \div 20 \text{ м/сут}$
		То же, осадочного происхождения	Сильно разрушенные известняки, доломиты и обломочные сцементированные породы		

Инженерно-геологический класс	Основные свойства горных пород	Подкласс	Горные породы	Характерные особенности горных пород	Показатели свойств
II. Связные (глинистые) породы					
7. Неокрепшие, плотные глинистые	Способность переходить в пластическое состояние при водонасыщении	Водно-осадочные слоистые, нередко микрослоистые	Глины, суглинки и супеси морского, лагунного и континентального происхождения	Слоистое сложение, пониженная прочность по углам, слоистость	$\varphi = 16 \div 35^\circ$; $C = 0,04 \div 0,15$ МПа; $f_{кр} = 1,5$; $K_\phi = 0,001$ м/сут
	Практически водонепроницаемы	Осадочные глинистые породы неправильного, слоистого или слоистого сложения.	Элювиальные глины (первичные каолины, бокситы, латериты и др.). Валунные глины, суглинки и супеси	Свойства слабо изучены. Контакты в углах, слоистость резко ослаблены. Высокая прочность и жесткость, слабая водонепроницаемость	
	Сжимаемость слабая и средняя, $K_d > 1$	Моренные (валунные) глинистые			
8. Среднеплотные или плотные, слоистые со слабой устойчивой цементацией	При водонасыщении переходят в текучее состояние. Средне и сильно	Водно-осадочные слоистые, нередко микрослоистые глинистые	Глины, суглинки и супеси морского, лагунного, континентального происхождения	В зависимости от влажности породы могут находиться в твердом состоянии	$\varphi = 14 \div 23^\circ$; $C = 0,02 \div 0,05$ МПа; $f_{кр} = 0,3 \div 0,8$; $K_\phi = 0,001 \div 0,01$ м/сут

таций, глинистые	сжимаемы, иногда обладают просадочностью, $0 > K_d > 1$ или $K_d < 0$	Континентальные макропористые глинистые	Лёсс и лёссовидные глины, суглинки и супеси	Слабая водостойкость, иногда просадочность	
9. Глинистые осадки, не перепевшие уплотнения и цементацию	Рыхлое слоение, нередко текучее состояние, $K_d < 0$	Современные глинисто-илистые осадки Заторфованные глинистые осадки Почвы	Морские, лагунные, озерные и аллювиальные илы Заторфованные илы, илисто-глинистые осадки Почвы различных генетических типов глинистого состава	Тиксотропность, высокая влажность и сжимаемость Высокая влагоемкость и сжимаемость Высокая сжимаемость и размываемость	$\varphi < 10^\circ$; $C = 0,05 \text{ МПа}$; $f_{кр} = 0,3$; $K_\phi = 0,01 \div 0,1 \text{ м/сут}$
III. Раздельнозернистые (несвязные)					
10. Крупнообломочные несцементированные	Высокая водопроницаемость и жесткость. Способность держать крутые откосы (под углом $30\text{—}45^\circ$)	Каменистые и щебенчатые накопления	Отложения горных обвалов, осыпей и россыпей	Практически несжимаемы без вибрации	$\varphi = 30\div 45^\circ$; $f_{кр} = 1,0\div 1,5$; $K_\phi = 50\div 100 \text{ м/сут}$

Инженерно-геологический класс	Основные свойства горных пород	Подкласс	Горные породы	Характерные особенности горных пород	Показатели свойств
10. Крупнообломочные несцементированные		Валуно-галечные и гравелистые отложения водно-осадочного и ледникового происхождения	Отложения аллювиального, делювиального, флювиогляциального, пролювиального происхождения		
11. Песчаные	Хорошая водопроницаемость	Крупнозернистые пески	Отложения морские, аллювиальные, пролювиальные, озерные	Сжимаемы за счет рыхлого сложения. Уплотнение следует быстро за расположением на грузки	$\varphi = 20 \div 35^\circ$; $f_{кр} = 0,5 \div 0,8$; $K_\phi = 5 \div 50$ м/сут
	Свободные откосы устойчивы под углом $25 \div 35^\circ$	Среднезернистые пески	То же		$\varphi = 15 \div 20^\circ$; $f_{кр} = 0,2 \div 0,5$; $K_\phi = 1$ м/сут
		Мелкозернистые пески	— " —		
<i>Примечание.</i> K_d — коэффициент уплотненности (по Приклонскому); K_ϕ — коэффициент фильтрации; C — сцепление; $f_{кр}$ — коэффициент крепости; $\sigma_{сж}$ — прочность образца на сжатие; σ_p — прочность образца на растяжение; φ — угол внутреннего трения.					

Таблица 1.4

Классификация искусственных грунтов (по ГОСТ 25100—95)

Подгруппа грунтов	Тип грунтов	Вид грунтов	Разновидности грунтов
Уплотненные в природном залегании	Песчаные грунты Пылеватые и глинистые, биогенные почвы	<i>Выделяются по способу преобразования:</i> уплотненные методами трамбования, осушения, оттаивания, кольматации, камуфлетных взрывов, глубинного виброуплотнения и т.п.; уплотненные с использованием электроосмоса, поверхностно-активных веществ, методом трамбования, укатки, камуфлетных взрывов, оттаивания, осушения песчаными дренами в совокупности с пригрузкой и т.п.	Выделяются по показателям, установленным техническим заданием на производство работ
Насыпные	Крупнообломочные, песчаные, пылеватые и глинистые, за торфованные, торфа	<i>Выделяются по степени уплотнения от собственного веса:</i> слежавшиеся —	
Намывные	Песчаные, пылеватые и глинистые. Отходы производства (хвосты обогательных фабрик, шлаки, золы и др.)	процесс уплотнения закончен; не слежавшиеся — процесс уплотнения продолжается	

Региональные классификации рассматривают грунты (породы) применительно к конкретной территории, отражая тем самым специфические особенности их формирования и развития в физико-географической обстановке и под влиянием техногенной нагрузки. Построение таких классификаций базируется на представлении о геологических фациях* и формациях** и предусматривает возрастное и генетическое подразделение горных пород в пределах данной территории. Примером могут служить региональные классификации элювиальных грунтов районов Урала, Сибири, Дальнего Востока и др.

Отраслевые (специальные) классификации составляются преимущественно к запросам определенного вида строительства — горного, промышленного, дорожного, гидротехнического и др., характеризующегося конкретными техногенными нагрузками и чувствительностью сооружений к ответным реакциям геологической среды. К специальным относятся классификации пород по величине силовых и энергетических воздействий при разрушении, несущей способности в основаниях сооружений, устойчивости в обнажениях горных выработок и др.

В строительном деле используется классификация горных пород (грунтов), в которой выделяют следующие классы:

♦ *скальные*: практически несжимаемые, водоустойчивые, сцементированные породы, залегающие в виде сплошного слоя или несмещенных отдельностей, образующих подобие сухой кладки (разборная скала);

♦ *полускальные*: сцементированные породы, способные к уплотнению под фундаментами (например, мергели, кремне-глины), неводостойкие (гипс, каменная соль, гипсоносные конгломераты);

* Фация (от лат. *facies* — облик, вид) — обстановка образования пород в тектонических, физико-географических и других условиях.

** Формация — комплекс горных пород, образующихся в определенных геологических условиях. Формации пород представляют собой совокупность пород различного типа, отличаются набором входящих в них пород, особенностями сочетания комплексов пород, характером слоистости.