

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.С. Чувакин

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Учебное пособие

3-е издание, переработанное

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2017

УДК 624.131.1 (075.8)

ББК 26.3

Ч82

- Ч82 Чувакин В.С.** Основы инженерной геологии : учеб. пособие. 3-е изд., перераб. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. – 136 с.

В пособии изложены главные положения основных разделов инженерной геологии – грунтоведения, инженерной геодинамики, региональной и специальной инженерной геологии. Введены новые разделы, связанные с техногенным воздействием на геологическую среду, ее рациональным использованием, охраной и мониторингом. В приложениях представлены данные по технической мелиорации грунтов и инженерной геологии месторождений полезных ископаемых.

Для бакалавров (направление подготовки 05.04.01 – «Геология», 05.03.02 «География») и специалистов (направление подготовки 21.05.02 – «Прикладная геология») геолого-географического факультета Томского государственного университета.

УДК 624.131.1. (075.8)

ББК 26.3

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии *С.Л. Шварцев*;
начальник отдела инженерной геологии
ОАО «Томский проектно-изыскательский институт
транспортного строительства» («Томгипротранс») *Д.Ю. Щанов*

© Чувакин В.С., 2017

© Томский государственный университет, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Содержание курса «Инженерная геология», его задачи, значение и связь с другими науками, основные понятия и термины

Инженерная геология – это геологическая наука, изучающая состав, состояние, строение и свойства верхней части земной коры (литосферы), ее динамику, закономерности формирования и изменения под влиянием природных и антропогенных факторов. Другие определения: 1) инженерная геология – это наука о геологической среде, ее рациональном использовании и охране в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека (Сергеев, 2011); 2) инженерная геология – это наука геологического цикла, исследующая состав, состояние, строение и инженерно-геологические свойства верхних горизонтов земной коры, их современную динамику, закономерности формирования и пространственно-временного изменения под воздействием современных и прогнозируемых геологических процессов (Трофимов, 2005).

Содержание инженерной геологии заключается в комплексном изучении, оценке и прогнозировании геологических условий строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений.

В инженерной геологии выделяются три главных тесно связанных научных направления:

1. Грунтоведение – изучает состав, состояние, строение и свойства грунтов и грунтовых массивов, закономерности их формирования и изменения под влиянием природных факторов и инженерно-хозяйственной деятельности человека.

2. Инженерная геодинамика – рассматривает механизм, динамику и закономерности формирования природных и антропогенных геологических процессов, влияющих на изменения верхней части земной коры.

3. Региональная инженерная геология – изучает закономерности формирования, пространственного распределения, динамику изменения (под влиянием природных и антропогенных геологических процессов) и районирование инженерно-геологических условий структурных зон земной коры.

К научному направлению инженерной геологии относится специальная инженерная геология, которая изучает условия строительства инженерных сооружений в разных геологических условиях с использованием методов инженерно-геологических исследований (в том числе инженер-

ного геологического картирования) на разных стадиях проектирования сооружений и хозяйственного освоения территорий.

Прикладные разделы инженерной геологии:

1. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых изучает инженерно-геологические и горно-геологические условия разработки месторождений полезных ископаемых; горно-геологические условия – совокупность природных свойств полезного ископаемого и вмещающих его горных пород, влияющих на безопасную отработку месторождения (прил. 2).

2. Экологическая инженерная геология наряду с экологической геологией решает общие проблемы – сохранение экологических функций литосферы без отрицательного воздействия на биоту и человека.

Главные задачи, решаемые инженерной геологией

1. Изучение состава, состояния, строения и свойств горных пород как грунтов основания и строительных материалов для возведения различных сооружений.

2. Выяснение геологических условий строительства, выбор для строительства сооружений оптимальных участков с рекомендацией методов производства строительных работ.

3. Разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости сооружений и их нормальной эксплуатации.

4. Типизация и районирование инженерно-геологических условий горных массивов и территорий для целей их хозяйственного освоения.

5. Прогнозирование состояния геологической среды.

6. Прогнозирование и управление природными геологическими процессами, влияющими на инженерные сооружения, и новыми геологическими процессами, которые могут возникать под воздействием сооружений.

7. Инженерная защита территорий и сооружений от опасных геологических процессов.

8. Рациональное использование и охрана геологической среды и разработка мер по ее улучшению.

9. Разработка методов, программ прогнозирования и решения экологических задач в ходе хозяйственного освоения территорий.

Значение инженерной геологии вытекает из тех задач, которые она решает, и, прежде всего, инженерная геология имеет значение для сохранения геологической среды обитания человека, с разрушением которой невозможна нормальная его жизнедеятельность.

Инженерная геология тесно связана с фундаментальными геологическими науками, а также со многими естественными, техническими и социально-экономическими науками – физикой, химией, математикой, почвоведением, мерзловедением, гидрологией, океанологией, климатологией, горным и строительным делом и др.

Основные понятия и термины

Биота – совокупность видов растений, животных и микроорганизмов территории.

Геологическая среда – это взаимосвязанная многокомпонентная открытая система, состоящая из верхней части литосферы и взаимодействующих с ней атмосферы, биосферы, поверхностной и подземной гидросферы, которые формируют геологические условия обитания и жизнедеятельности человека.

Грунты – это любые природные и техногенные горные породы и почвы, рассматриваемые как многокомпонентные и многофазные системы, которые являются объектами изучения инженерной геологии.

Техногенез – изменение природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека.

Техносфера – искусственная оболочка земли, созданная человеком и занимающая часть биосферы.

Почва – поверхностный слой дисперсного грунта, состоящий из неорганического и органического веществ и обладающий плодородием.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Инженерная геология использует методы исследования геологических наук, а также тех наук, с которыми она тесно связана (т.е. физики, химии и др.).

Ее основными методами являются:

1. Инженерно-геологическая съемка различных масштабов с составлением инженерно-геологических карт и разрезов.
2. Инженерно-геологическая разведка с применением горных выработок (шурфов и скважин) и методов геофизики.
3. Опытные полевые работы для оценки различных свойств и устойчивости грунтов в естественном залегании.
4. Режимные стационарные наблюдения за геологическими процессами, подземными водами и т.д.

5. Лабораторно-экспериментальные исследования свойств горных пород в образцах.

6. Методы аналогий, расчетные методы и методы инженерно-геологического моделирования для оценки и прогноза инженерно-геологических условий.

7. Механико-математические методы при выполнении инженерно-геологических расчетов, решении задач в грунтоведении, инженерной геодинамике, анализе геолого-структурных и геомеханических моделей.

2. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Инженерная геология и, прежде всего, ее раздел грунтоведение сформировались на основе многовекового опыта строительных работ и изучения горных пород как оснований фундаментов. Из архивных данных известно, что русские строители в XV в.е закладывали фундаменты с учетом свойств горных пород, в гидротехнических сооружениях XVII в. учитывалась водопроницаемость грунтов.

В XIX веке во многих развитых странах ведущие геологи стали привлекаться в качестве консультантов при строительстве железных дорог и крупных сооружений. В России это были А.П. Карпинский, Ф.Ю. Левинсон-Лессинг, И.В. Мушкетов, В.А. Обручев, А.П. Павлов и др.

В СССР инженерная геология как наука оформилась в двадцатые годы. Ее основоположником был академик Ф.П. Саваренский (1881–1946). В тридцатые годы были открыты первые кафедры грунтоведения и инженерной геологии в ведущих вузах Москвы и Ленинграда. Начались подготовка специалистов по инженерной геологии, издание учебников, монографической литературы.

Для решения научных и практических задач инженерной геологии были созданы отраслевые научно-исследовательские институты, многочисленные проектно-изыскательские и геологические организации.

В историографии развития и становления инженерной геологии можно выделить три этапа – ранний, средний и поздний. Вклад в развитие инженерной геологии на *раннем этапе* внесли – Н.В. Бобков, П.А. Замятченский, Г.Н. Каменский, Н.В. Коломенский, Н.Н. Маслов, С.С. Морозов, В.В. Охотин, А.П. Павлов, Н.Ф. Погребов, И.В. Попов, В.А. Приклонский, М.М. Филатов и др.; на *среднем этапе* – Л.Г. Балаев, В.М. Безрук, Л.Д. Бельй, Г.К. Бондарик, Г.А. Голодковская, И.М. Горькова, Н.Я. Денисов, Р.С. Зиангиров, Н.В. Коломенский, А.К. Ларионов, В.Д.

Ломтадзе, Г.А. Мавлянов, В.И. Осипов, П.Н. Панюков, И.В. Попов, В.А. Приклонский, М.П. Семенов, **акад. Е.М. Сергеев**, В.Н. Соколов, **В.Т. Трофимов**, Е.Г. Чаповский и др.; на *позднем этапе* – В.П. Ананьев, Г.К. Бондарик, А.С. Герасимов, Г.А. Голодковская, Э.Д. Ершов, Р.С. Зигангиров, Г.С. Золотарев, И.П. Иванов, И.С. Комаров, В.А. Королев, Ф.В. Котлов, В.И. Осипов, **акад. Е.М. Сергеев, В.Т. Трофимов** и др.

Из зарубежных ученых в области инженерной геологии необходимо отметить: в США – К. Терцаги (один из основоположников механики грунтов), Р. Пек, Дж. Тейлор и др., в Великобритании – А. Скемптон, во Франции – Ж. Талобр, в Австрии – Л. Мюллер, в Чехословакии – К. Заруба и М. Матула и др.

Во второй половине XX в. в инженерной геологии активно развивалось экологическое направление. В конце XX в. и начале XXI в. сформировалась отечественная научная школа инженерной и экологической геологии, возглавляемая В.Т. Трофимовым. В.Т. Трофимовым сформулирован основной закон инженерной геологии: «Современные инженерно-геологические особенности любого объекта верхних горизонтов литосферы и их изменение определяются историей его геологического развития, структурно-тектоническим положением и климатическими условиями, а на освоенных территориях – и характером техногенных воздействий».

3. ОСНОВЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

3.1. Общие положения

Основы грунтоведения детально изложены в учебнике В.Т. Трофимова «Грунтоведение» (2005 г.), поэтому в данном разделе опирается в основном на результаты этого фундаментального исследования.

Выделяются общее, региональное и геодинамическое грунтоведение, которые тесно взаимосвязаны объектом изучения и методами его исследования.

Общее грунтоведение изучает общие особенности состава, строения и свойств грунтов и грунтовых массивов, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под воздействием природных и антропогенных современных и прогнозируемых геологических процессов.

Региональное грунтоведение изучает особенности пространственного распределения грунтовых массивов (как элементов инженерно-геологических структур), пространственно-временные закономерности

формирования их состава, состояния и свойств и изменение под воздействием современных и прогнозируемых природных и антропогенных геологических процессов. Региональное грунтоведение является частью региональной инженерной геологии.

Геодинамическое грунтоведение изучает закономерности пространственно-временного изменения состава, состояния и свойств грунтов под влиянием природных и антропогенных современных и прогнозируемых геологических процессов. Геодинамическое грунтоведение является частью инженерной геодинамики.

Факторы, определяющие инженерно-геологические свойства горных пород в естественном залегании и влияющие на эти свойства, весьма многообразны. Важнейшими из них являются: возраст и генетический тип горных пород, форма геологических тел, их условия залегания (т.е. структурно-тектонические признаки), общие гидрогеологические условия, количественный минеральный состав и структурно-текстурные особенности горных пород, трещиноватость, пористость, размер минеральных зерен и гранулометрический состав, степень и тип цементации горных пород, физические свойства породообразующих минералов, структура минерального скелета и порового пространства, природа структурных межминеральных и межзатомных связей, параметры кристаллической решетки, вторичные изменения горных пород, выветривание, наличие минеральных примесей, газов, воды и т.д. (включая климат).

Основной закон грунтоведения, названный законом Приклонского-Сергеева-Ломтадзе, заключается в том, что «состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются их генезисом, характером постгенетических процессов и современным пространственным положением» (Трофимов, 2005, с. 54).

Выделяются свойства грунтов – химические, физико-химические, физические, биотические и физико-механические.

3.2. Химические свойства грунтов

Химические свойства грунтов обусловлены взаимодействием компонентов грунта между собой в результате процессов окисления, восстановления, гидролиза, гидратации и другие или в реакциях с другими веществами. Другие химические свойства грунтов связаны с их растворимостью, химической поглотительной способностью, проявлением кислотно-основных свойств и их химической агрессивностью.

1. Растворимость грунтов зависит от их химико-минерального состава, структурно-текстурных особенностей, типа растворителя, участия

биоты, термодинамических параметров (давление и температура) и характеризуется величиной – *произведением растворимости* (ПР) – это произведение молярных концентраций (активностей) катионов и анионов минерала или вещества в его насыщенном растворе.

К растворимым грунтам относятся галоидные грунты, содержащие галит, сильвин и другие, карбонатные грунты (известняки, доломиты, мел, мергель), сульфатные грунты, содержащие гипс, ангидрит и др.

2. Химическая поглотительная способность грунтов проявляется в образовании в них труднорастворимых соединений в результате химического взаимодействия между твердой, жидкой и газовой фазами грунта (например, в результате адсорбции или других реакций).

3. Кислотно-основные свойства грунтов определяют их агрессивность и характеризуются универсальным показателем – величиной pH, которая изменяется в широких пределах и зависит от химико-минерального состава грунта, состава обменных катионов и водорастворимых солей и других факторов. Если величина pH меньше 7 – грунт является кислотным, если pH больше 7 – это отражает щелочность грунта.

4. Химическая агрессивность грунтов проявляется в негативном влиянии их на инженерные сооружения (фундаменты и др.). Это свойство реализуется через воздействие влаги, находящейся в грунтах, или через подземные воды, контактируемые с грунтами. Агрессивность подземных вод по отношению к бетонным сооружениям регламентируется нормативными документами, в том числе СНиП 2.03.11-85 («Защита строительных конструкций от коррозии»). Интенсивность воздействия на конструкции зависит от химического состава влаги в грунте или подземных вод – водородного показателя pH, наличия ионов HCO_3^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , хлоридов Cl^- и, в конечном итоге, приводит к коррозии строительных конструкций.

3.3. Физико-химические свойства грунтов

Физико-химические свойства грунтов обусловлены физико-химическим взаимодействием и процессами, происходящими на границе раздела фаз в объеме грунта.

1. Адсорбционные свойства грунтов отражают процессы концентрации вещества из объема фаз (твердая–жидкая; твердая–пар или газ) на поверхности их раздела и активно проявляются в грунтах с большой удельной поверхностью – дисперсные и высокопористые скальные грунты. Это свойство имеет значение в инженерной и экологической геологии и в развитии новых технологий очистки веществ, так как грунты способ-

ны адсорбировать органические и неорганические вещества из растворов. Например, глинистые грунты используются в качестве адсорбентов для очистки жидкостей от различных (вредных) примесей.

2. Ионно-обменные свойства грунтов являются разновидностью адсорбции и представляют процесс поглощения поверхностным слоем грунта ионов из порового раствора, который сопровождается изменением микроструктуры грунтов. Это свойство используется для целенаправленного изменения структуры и свойств грунтов и регулирования их физико-химических свойств (например, очистка грунтов от загрязнений, уменьшение их водопроницаемости, повышение плодородия почв и др.).

3. Адгезионные свойства и липкость грунтов. *Адгезией* называется прилипание жидкости или твердых частиц к твердым поверхностям. Адгезия грунта имеет существенное значение в природных процессах, например, в ветровой эрозии почв, суффозии, водной эрозии грунтов, их водопрочности и т.д. *Липкость* – способность грунта при определенной влажности прилипать к рабочим поверхностям инструментов и механизмов. Оказывает влияние на производительность работ дорожных и почвообрабатывающих машин, землеройной техники, горнодобывающих механизмов, транспортеров и др., при добыче и транспортировке полезных ископаемых и т.д. Это свойство характерно для влажных высокодисперсных грунтов: глинистых, лессовых, торфяных и др.

Выделяются: 1) *когезия* – взаимодействие молекул внутри одного тела (жидкости или минерала); 2) *аутогезия* – слипание друг с другом твердых частиц одинакового состава в воздушной или жидкой среде; 3) *кольматация грунта* – процесс заполнения его пустот более мелкими частицами, проходящими сквозь грунт с фильтрующимся раствором (суспензией). Процесс широко распространен в природе и используется в технической мелиорации грунтов.

4. Диффузионные свойства грунтов. Диффузией называется самопроизвольный процесс выравнивания концентраций одного вещества в объеме другого под влиянием теплового движения атомов, молекул или коллоидных частиц. В грунтах процесс диффузии происходит за счет выравнивания концентраций твердых, жидких и газовых компонентов в его объеме и наиболее активно протекает в глинистых грунтах.

5. Осмотические свойства грунтов. Осмос – это процесс односторонней диффузии через полупроницаемую мембрану молекул растворителя в сторону большей концентрации растворенного вещества, характерен для глинистых грунтов и играет важную роль в экологии водоемов.

6. Капиллярные свойства грунтов обусловлены капиллярным явлением – физическим явлением, связанным с поверхностным натяжением

жидкости на границе раздела несмешивающихся сред и характерны для большинства грунтов – пористых, трещиноватых, обладающих пустотами и т.п. При инженерно-геологических исследованиях определяются основные показатели капиллярных свойств грунтов: высота капиллярного поднятия – h_c , скорость капиллярного поднятия – v_c и капиллярное давление – $p_{\text{кап}}$.

7. Набухаемость грунтов – это их способность увеличиваться в объеме в результате смачивания водой, характерна для глинистых грунтов и оценивается следующими основными показателями: 1) относительная деформация (или степень) набухания – ε_{sw} ; 2) влажность свободного набухания – w_{sw} ; 3) давление набухания – p_{sw} ; 4) скорость набухания – v_{sw} и 5) период набухания – t_{sw} .

1) Относительная деформация набухания, или степень набухания, равна отношению абсолютной деформации образца, свободно набухшего без бокового расширения Δh , к исходной высоте образца с естественной влажностью (h_0) и измеряется в процентах или долях единицы:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h}{h_0}. \quad (1)$$

2) Влажность свободного набухания – это конечная влажность образца, полностью набухшего без возможности бокового расширения и без давления на образец, измеряется в процентах.

3) Давление набухания – это давление, которое грунт оказывает на внешнее ограничение в процессе увеличения своего объема, и численно равно противодействию при $\varepsilon_{sw} = 0$, измеряется в мегапаскалях.

4) Скорость набухания определяется отношением (единица измерения с, или мин):

$$v_{sw} = \frac{\Delta \varepsilon_{sw}}{\Delta t} \quad (2)$$

5) Период набухания – это время, в течение которого завершается процесс набухания образца и скорость набухания становится равной нулю.

Согласно СП 11-105-97 (ч. 3, с 01.07.2000 г.) выделяются категории грунтов в зависимости от величины относительной деформации набухания (табл. 3.3.1).

Подразделение грунтов по набуханию (СП 11-105-97. ч. 3)

Категория грунтов	Относительная деформация набухания	Давление набухания (нормативное), МПа
Ненабухающие	<0,04	<0,02
Слабонабухающие	0,04–0,08	0,02–0,09
Средненабухающие	0,08–0,12	0,09–0,17
Сильнонабухающие	>0,12	>0,17

В ходе инженерно-геологических изысканий для предпроектной документации должна учитываться набухаемость глинистых грунтов при проектировании промышленных и гражданских сооружений, строительстве дорог, бурении скважин и т.п.

8. Усадочность грунтов – это способность влажных грунтов уменьшаться в объеме в результате обезвоживания (дегидратации), характерна для дисперсных грунтов – глин, илов, торфов и других, и оценивается следующими показателями:

1) Линейная усадка – это уменьшение линейных размеров образца в результате усадки

$$\Delta L = \frac{d - d_1}{d}, \quad (3)$$

где d и d_1 – начальный и конечный линейный размеры образца.

2) Объемная усадка – это уменьшение объемных размеров образца в результате усадки

$$v = \frac{v - v_1}{v}, \quad (4)$$

где v и v_1 – начальный и конечный объемный размеры образца.

3) Влажность предела усадки $W_{\text{пв}}$ – это величина влажности, при которой усадка грунта прекращается: измеряется в процентах или в долях единицы. Усадочность грунтов должна учитываться при проектировании различных водохозяйственных и гидротехнических систем, инженерных сооружений горячих цехов, теплотрасс, днищ солеохранилищ, ТЭЦ, АЭС и др.

9. Водопрочность грунтов (водоустойчивость) – это их способность сохранять механическую прочность и устойчивость при взаимодействии с водой; определяют размокаемость, размягчаемость и размываемость грунтов.

Размокаемость грунтов – это их способность при замачивании в спокойной воде терять связность и превращаться в рыхлую массу с полной потерей прочности. Этим свойством обладают дисперсные группы,

слабо цементированные осадочные и искусственные грунты с растворимым, неводостойким или глинистым цементом. Большинство скальных грунтов являются практически неразмокаемыми.

Показатели размокаемости грунтов: 1) *время размокания* (t_p) – интервал времени, в котором образец грунта, помещенный в воду, теряет связность и распадается на структурные элементы разного размера; 2) *скорость размокания* (v_p) оценивается по относительной потере массы образца за время Δt ; 3) *характер размокания* оценивается визуально в обнажениях, выработках или образцах и отражает качественную картину распада грунта.

Размягчаемость грунтов – это способность скальных грунтов снижать свою прочность при взаимодействии с водой. Показателем размягчаемости грунтов является *коэффициент размягчаемости* (K_{sof}) – это отношение пределов прочности грунта на одноосное сжатие в водонасыщенном ($R_{сжв}$) и воздушно-сухом ($R_{сж}$) состояниях:

$$K_{sof} = \frac{R_{сжв}}{R_{сж}}. \quad (5)$$

В соответствии со СНиП 2.02.01-83 в скальных грунтах выделяются две категории: размягчаемые ($K_{sof} < 0,75$) и неразмягчаемые ($K_{sof} \geq 0,75$) грунты.

Размываемость грунтов – это их способность разрушаться под действием движущейся воды. В зависимости от динамики водного воздействия выделяются:

1) *Поверхностный размыв* преимущественно связных грунтов, который происходит под действием текучих вод на склонах (плоскостная эрозия) и вдоль постоянных водотоков (боковая и донная эрозия). Показателями характеристики *поверхностного размыва грунтов* являются: а) *размывающая скорость водного потока* (V_k) – при которой начинается отрыв частиц и агрегатов и удаление их по потоку; б) *интенсивность размыва* (I_p) – отношение средней толщины размывого слоя грунта (Δh) при данной скорости размыва к длительности размыва (Δt):

$$I_p = \frac{\Delta h}{\Delta t}; \quad (6)$$

в) *интенсивность смыва* (I_s) – показывает потерю массы смываемых частиц грунта (Δm) в единицу времени (Δt) с единицы площади смыва (S):

$$I_s = \frac{\Delta m}{\Delta t \times S}. \quad (7)$$

2) *Волновой (лобовой) размыв* грунтов, который происходит при фронтальном воздействии воды на грунтовый массив и широко распространен в природе в зоне прибоя по берегам морей, озер и водохранилищ. Оценка волнового размыва грунтов имеет значение при прогнозе переработки берегов водохранилищ. Главным показателем, отражающим водопрочность грунтов по отношению к волновому размыву, является *коэффициент сопротивления горных пород волновому размыву* (K_c), определяемый по формуле

$$K_c = \frac{\Sigma E_b}{V}, \quad (8)$$

где: ΣE_b – суммарная энергия волн за период наблюдения; V – объем размываемого (удаленного) грунта. Этот коэффициент равен энергии волн, затрачиваемых на размыв единицы объема грунта.

3) *Суффозионный размыв*, обусловленный выносом частиц грунта из массива водным потоком. Для борьбы с суффозией грунтов используют различные методы их осушения, уменьшения скоростей фильтрационных потоков и технической мелиорации.

3.4. Физические свойства грунтов

1. Плотностные свойства грунтов. Плотностные свойства грунтов количественно оцениваются величиной отношения их массы к занимаемому объему. При инженерно-геологических исследованиях используются характеристики: плотность твердых частиц грунта, плотность грунта, плотность скелета грунта и некоторые другие.

Плотность твердых частиц грунта – это масса единицы их объема. Численно равна отношению массы твердой части грунта к ее объему; единица измерения – г/см³. Общепринятая методика экспериментального определения плотности твердых частиц грунта изложена в ГОСТ 5180-84. Возможные неточные определения этого свойства скорректированы В.Т. Трофимовым (2005, с. 362–366).

Плотность грунта – это масса единицы объема грунта естественной влажности с ненарушенной структурой; единица измерения – г/см³.

Плотность скелета грунта – это масса единицы объема сухого грунта естественного сложения (P_d). Определяется экспериментально или через плотность грунта (P) и его влажность (W) по формуле:

$$P_d = \frac{P}{1+W} (\text{г/см}^3), \quad (9)$$

где W – весовая влажность в долях единицы.

Плотностные свойства грунтов используются для расчета пористости и других характеристик грунтов.

Пористость грунта (n) – это отношение объема пор в грунте к общему объему грунта. Выражается в процентах или долях единицы и определяется по формуле

$$n = 1 - V_s = 1 - \frac{P_d}{P_s} = \frac{P_s - P_d}{P_s}, \quad (10)$$

где: V_s – объем твердых частиц в единице объема грунта.

Коэффициент пористости – отношение объема пор в грунте к объему твердой компоненты грунта; выражается в долях единицы и определяется по формуле:

$$e = \frac{n}{V_s} = \frac{P_s - P_d}{P_d} \quad (11)$$

Через коэффициент пористости можно определить пористость грунта и объем твердых частиц в единице объема грунта:

$$n = \frac{e}{1+e}; \quad (12)$$

$$V_s = \frac{1}{1+e} \quad (13)$$

Показатели пористости грунтов используются в грунтоведении и механике грунтов для расчетов водопроницаемости, плотности, уплотняемости и других свойств грунтов.

2. Гидрофизические свойства грунтов. В список гидрофизических свойств грунтов входят: влагоемкость, влагоотдача, водопоглощение,

водонасыщение, водопроницаемость, влагопроводимость в ненасыщенных грунтах и термовлагопроводность грунтов.

Влагоемкость – это способность грунтов поглощать и удерживать в своем объеме максимальное количество воды. Выделяются:

1) *Полная влагоемкость грунта* (W_{sat}) – численно равна влажности грунта (весовой или объемной) при полном заполнении всех пор водой. Максимальной полной влагоемкостью обладают высокопористые грунты.

2) *Капиллярная влагоемкость грунта* ($W_{кап}$) – численно равна влажности грунта (весовой или объемной) при его полном капиллярном насыщении, которая всегда меньше полной влагоемкости грунта. Максимальной капиллярной влагоемкостью обладают высокопористые грунты с микропорами капиллярного размера (0,001–1мм) – пески, супеси, песчаники, алевролиты, высокопористые скальные грунты и т.п.

Влагоотдача ($W_{отд}$) – это способность водонасыщенных грунтов терять (или отдавать) влагу. Наибольшей влагоотдачей обладают сильнотрещиноватые, крупнопористые и крупнообломочные грунты.

Водопоглощение ($W_{пог}$) – это способность грунта поглощать воду при нормальном (атмосферном) давлении и комнатной температуре; выражается в долях единицы или в процентах от веса абсолютной сухой горной породы.

Водонасыщение ($W_{нас}$) – это количество воды, поглощенное образцом грунта в вакууме, выраженное в процентах от его первоначального объема или массы. Дополнительно определяется *коэффициент водонасыщения* ($K_{нас}$) – отношение естественной влажности грунта к влажности, соответствующей полному заполнению всех пор водой, измеряется от 0 (для абсолютно сухого грунта) до 1 (для полностью водонасыщенного грунта).

Водопроницаемость – это способность водонасыщенных грунтов пропускать сквозь себя воду за счет градиента напора. Закономерности фильтрации воды в водонасыщенных грунтах при ламинарном режиме течения описываются законом Дарси (1856):

$$V = k_{\phi} \times i, \quad (14)$$

где: V – скорость фильтрации, k_{ϕ} – коэффициент фильтрации, i – напорный градиент.

Водопроницаемость количественно характеризуется коэффициентом фильтрации – скоростью движения подземных вод в зонах полного насыщения при гидравлическом градиенте, равном 1. Определяется по формуле

$$K_{\phi} = \frac{Q}{F \times T \times I} \text{ см/с; м/сут,} \quad (15)$$

где Q – количество воды, F – площадь поперечного сечения грунта, T – время, I – напорный градиент.

Влагопроводность в ненасыщенных грунтах оценивается единым коэффициентом влагопроводности (k_n , см/с), который отражает способность ненасыщенного грунта проводить влагу, является основной гидрофизической характеристикой влагообмена в ненасыщенных грунтах и равен количеству влаги, переносимой в грунте в единицу времени через единицу площади при единичном градиенте потенциала влаги.

Термовлагопроводностью не полностью насыщенных грунтов называется перенос влаги под действием градиента температуры, который активно проявляется в грунтах зоны аэрации.

3. Газофизические свойства грунтов. *Газопроницаемость грунтов* – это их способность пропускать сквозь себя газ при наличии перепада давления. Оценка газопроницаемости грунтов в инженерно-геологической практике имеет значение при строительстве подземных газохранилищ, при исследовании газогенерации грунтов, обустройстве свалок, решении задач в области технической и экологической мелиорации грунтов и т.д. При этом определяется способность грунтов экранировать фильтрацию газов. Низкой газопроницаемостью обладают глинистые грунты.

Диффузия газов в грунтах – изотермический (протекающий при равной температуре) процесс самопроизвольной фильтрации газа под действием градиента концентрации газа, направленный на выравнивание концентраций в порах грунта.

Испаряемость влаги в грунтах – это процесс перехода поровой воды из жидкого в газообразное агрегатное состояние; пар является глобальным, входит в круговорот воды в природе, влияет на водный баланс грунтовых массивов и свойства самих грунтов.

4. Аэродинамические свойства грунтов – это способность грунтов сопротивляться воздействию ветра и участвовать в аэродинамическом переносе слагающих его частиц, агрегатов и т.п. Эти свойства грунтов характеризуют их устойчивость к ветровой эрозии (дефляции), эоловой денудации, участие в ветровом (эоловом) переносе и накоплении материала.

Аэродинамические свойства грунтов в инженерно-геологической практике изучаются в связи с оценкой и прогнозами интенсивности дефляции грунтов, эоловой денудации, оценкой эоловых процессов, пылкостью отвалов искусственных грунтов, ветровой коррозией инженерных

сооружений и т.д. Большой ущерб в мире наносит ветровая эрозия почвам. Поэтому изучение дефляционной стойкости грунтов имеет очень важное значение.

5. Теплофизические свойства грунтов. Теплофизические свойства грунтов оказывают большое влияние на природные процессы – выветривание, почвообразование, сезонное и многолетнее оттаивание, промерзание, а также на условия работы инженерных сооружений. Поэтому при оценке теплового режима грунтовых толщ необходимо знание теплофизических характеристик грунтов.

Теплоемкость грунтов – это их способность поглощать тепловую энергию при теплообмене. Различают удельную и объемную теплоемкость грунтов.

Удельная теплоемкость (C) равна количеству тепла, которое необходимо сообщить единице массы грунта для изменения ее температуры на 1°С при отсутствии фазовых переходов; размерность – кал/г×град.

Объемная теплоемкость (C_v) численно равна количеству тепла, необходимого для изменения температуры единицы объема грунта на 1°С; размерность – кал/см³×град.

Удельная теплоемкость широко распространенных минералов в природе составляет 0,17–0,22 кал/г×град.

Теплопроводность грунтов – это их способность проводить тепло, она оценивается коэффициентом теплопроводности (λ) – количеством тепла, проводимого грунтом в единицу времени через единицу площади при температурном градиенте равном 1; размерность – кал/см×с×град.; ккал/м×ч×град. или Вт/м·К (система СИ).

Теплопроводность большинства породообразующих минералов составляет 0,8–4,0 Вт/м·К.

Температуропроводность грунтов – это скорость распространения изменения температуры вследствие поглощения или отдачи тепла, оценивается коэффициентом температуропроводности (α), который численно равен теплопроводности грунта с объемной теплоемкостью, равной 1.

$$\alpha = \frac{\lambda}{c_v} \quad (16)$$

$$\text{или } \alpha = \frac{\lambda}{\rho C} \text{ м}^2/\text{с} \quad (17)$$

Коэффициент теплопроводности большинства скальных грунтов составляет $(0,6–1,2) \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Термическое расширение грунтов связано с их способностью изменять свои размеры с изменением температуры и характеризуется коэффициентами теплового линейного (α) и объемного (β) расширения, которые широко используются в расчетах в горном деле.

Коэффициент теплового линейного расширения грунта определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l(t_2 - t_1)}, \quad (18)$$

где Δl – измененный линейный размер образца грунта, l – первоначальный размер образца грунта, t_1 – первоначальная температура образца грунта, t_2 – конечная температура образца грунта.

Численная величина коэффициента теплового объемного расширения грунтов примерно в три раза выше значений коэффициента теплового линейного расширения, т.е. $\beta \approx 3\alpha$.

Морозостойкость грунтов – это их способность сопротивляться воздействию отрицательных температур, оценивается коэффициентом морозостойкости (K_m), который представляет отношение предела прочности при сжатии образцов после замораживания к пределу прочности при сжатии сухих образцов. В строительной практике используется понятие «марка морозостойкости» – число циклов промерзания–оттаивания, в результате которых происходит снижение исходной прочности материала на 25% или потеря его массы на 5%.

6. Электрические свойства грунтов. Способность грунтов проводить и поглощать электрический ток широко используется в инженерно-геологической практике при осушении и электрооттаивании грунтов, расчетах заземляющих устройств электростанций и линий электропередач, расчетах защитных устройств для предотвращения коррозии трубопроводов и т.д.

Электропроводность грунтов – это их способность проводить электрический ток, характеризуется величиной удельной электропроводности (σ) или удельного электрического сопротивления (ρ):

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{R \times S}{L}, \quad (19)$$

где: R – полное электрическое сопротивление образца грунта (Ом); S – площадь поперечного сечения образца (m^2); L – длина образца (м).

Поверхностная проводимость грунтов обусловлена подвижностью избыточных ионов двойного электрического слоя, проявляется в высокодис-

персных грунтах (глины, суглинки) и характеризуется удельной поверхностной проводимостью (K_s) – это величина поверхностной проводимости (σ_s) в объеме пор единицы массы (1 г) грунта, отнесенная к его поверхности:

$$K_s = \frac{\sigma_s \times w_n}{\Omega}, \quad (20)$$

где: w_n – объемная влажность; Ω – удельная поверхность грунта.

Диэлектрическая проницаемость грунтов – это их способность к поляризации под воздействием переменного электромагнитного поля за счет упорядоченной ориентации имеющихся в грунте связанных электрических зарядов, характеризуется безразмерной относительной диэлектрической проницаемостью (ϵ), которая показывает, во сколько раз электрическая сила, действующая на любой заряд в данной среде, меньше, чем в вакууме. Диэлектрическая проницаемость чистого воздуха близка к 1, породообразующих минералов – колеблется от 3 до 12.

7. Электрокинетические свойства грунтов. Электрокинетические свойства характерны для водонасыщенных тонкодисперсных грунтов (глины, суглинки, почвы, торф, илы и др.) и проявляются при воздействии на них постоянного электрического тока.

Электроосмос – это движение воды в порах грунта под влиянием внешнего электрического поля от анода к катоду, так как молекулы воды имеют положительный заряд.

Электрофорез – это движение дисперсных минеральных частиц грунта под влиянием внешнего электрического поля в сторону анода, так как минеральные частицы имеют отрицательный заряд.

Электрокинетические свойства грунтов используются в инженерно-геологической практике. Электроосмос применяется: 1) для осушения массивов глинистых грунтов; 2) консолидации и уплотнения водонасыщенных дисперсных грунтов; 3) очистки грунтов от различных загрязнителей, включая токсичные. Электрофорез используется для удаления дисперсных загрязнителей, рассеянных в поровом пространстве грунтов.

8. Электрохимические свойства грунтов. Электрохимические свойства проявляются в их коррозионной способности разрушать металлические конструкции сооружений, контактирующих с грунтами. Интенсивность коррозии металлов в грунтах зависит от их химико-минерального состава, влажности, содержания газов, наличия катионов Na^+ , Ca^+ , электропроводности и присутствия бактерий (биокоррозия).

9. Магнитные свойства грунтов. Магнитные свойства грунтов обусловлены наличием земного магнетизма. В инженерно-геологической практике используются магнитная восприимчивость и остаточная намаг-

ниченность грунтов. Магнитные свойства грунтов учитываются при решении некоторых практических задач (например, при оценке влияния на состояние глинистых грунтов).

10. Радиационные свойства грунтов. Радиационные свойства грунтов обусловлены присутствием в них радиоактивных элементов. Выделяются: 1) естественная радиоактивность грунтов – определяется радиоактивностью слагающих их минералов; 2) искусственная радиоактивность грунтов – результат техногенного загрязнения грунтов радиоактивными материалами. В инженерно-геологической практике оценка радиационных свойств грунтов проводится в связи с проблемами захоронения и утилизации отходов ядерной промышленности, очисткой грунтов от радиоактивных загрязнений, строительством убежищ от ядерных взрывов и других объектов атомной промышленности и при оценке экологической безопасности строительства жилых зданий.

3.5. Биотические свойства грунтов

Биотические свойства грунтов обусловлены присутствием в них компонентов биоты.

Биологическая активность грунтов – это их способность создавать более-менее благоприятные условия для развития и жизнедеятельности биоты определенного типа в грунте. Количество крупных макроорганизмов оценивается числом особей (экз.), обитающих на единице площади или в единице объема грунта (экз./га, экз./м³ и т.д.). Количество микроорганизмов в грунте определяется числом экземпляров на 1 г твердой фазы грунта или относительным содержанием живой массы организмов в единице объема грунта (мг/см³ и др.). Для развития микроорганизмов наиболее благоприятны почвы, илы, торф; менее благоприятны – лёсс, супеси, суглинки, глины, пески. Наименее благоприятны для развития микро- и макроорганизмов невыветрелые магматические, метаморфические и сцементированные осадочные грунты.

Биологическая поглотительная способность грунтов заключается в том, что находящиеся в них микро- и макроорганизмы способны избирательно поглощать и накапливать определенные химические элементы. Это свойство используется как метод биологической очистки почв и других грунтов от различных токсичных загрязнителей (нефтяных, тяжелых металлов, соединений азота и фосфора, радионуклидов и др.).

Биоагрессивность и биокоррозия грунтов обусловлены влиянием биоты, приводящей к разрушению материалов инженерных конструкций (дерево, бетон, металлы), контактирующих с грунтами.

3.6. Физико-механические свойства грунтов

Физико-механические свойства грунтов проявляются при воздействии на них внешнего давления или нагрузок от различных сооружений, инженерных конструкций или самих массивов горных пород. Выделяются деформационные, прочностные, реологические и динамические свойства грунтов.

Деформационные свойства грунтов характеризуют поведение грунта под воздействием докритических нагрузок, не приводящих к его разрушению. Выделяются упругие свойства, компрессионная сжимаемость и просадочность грунтов.

Упругие свойства грунтов (табл. 3.6.1–3.6.4) по своей деформируемости подчиняются закону Гука (1660): «сила упругости, возникающая в теле при деформации, прямо пропорциональна величине этой деформации» и выражается следующими показателями:

1) Модуль упругости (E) характеризует отношение напряжения при одноосном сжатии к относительной обратимой деформации:

$$E = \frac{\sigma}{e_{\text{обр.}}}, \quad (21)$$

$$e_{\text{обр.}} = \frac{\Delta l}{l}. \quad (22)$$

Размерность – паскаль (Па), мегапаскаль (МПа = 10^6 Па), гигапаскаль (ГПа = 10^9 Па).

2) Модуль общей деформации E_0 характеризует отношение напряжения при одноосном сжатии к общей относительной деформации грунта:

$$E_0 = \frac{\sigma}{e_0}. \quad (23)$$

Для линейнодеформируемых материалов $E_0 = E$.

3) Коэффициент Пуассона (μ), или коэффициент поперечной деформации, выражает отношение относительных поперечных деформаций к относительным продольным деформациям:

$$\mu = \frac{\xi_x}{\xi_z}. \quad (24)$$

Упругие константы скальных грунтов

Грунты	Модуль упругости E , ГПа	Коэффициент Пуассона
Сиениты	60–65	0,22
Граниты	39–78	0,12–0,29
Гранодиориты	55–73	0,14–0,29
Габбро	86–105	0,24
Диабазы	21–120	0,26–0,32
Перидотиты	152–160	0,23–0,26
Базальты	3–69	0,10–0,25
Туфы пепловые	5–30	0,14–0,19
Гнейсы	39–105	0,11–0,28
Мраморы	75–82	0,3–0,32
Сланцы кристаллические	49–60	0,14
Известняки хомогенные	44–87	0,25–0,33
Доломиты	3–43	0,25–0,31
Песчаники кварцевые	18–68	0,09–0,19
Алевриты	7–30	0,20–0,30

Компрессионная сжимаемость грунтов, или компрессия, – это их способность уменьшаться в объеме под действием внешней нагрузки без бокового расширения. Основными характеристиками компрессионной сжимаемости грунтов являются:

1) *коэффициент сжимаемости* (α) – отношение изменения коэффициента пористости к разности давления:

$$\alpha = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma}. \quad (25)$$

В зависимости от величины коэффициента сжимаемости выделяются грунты: сильносжимаемые $\alpha > 1 \text{ МПа}^{-1}$, повышенносжимаемые $\alpha = 1–0,1 \text{ МПа}^{-1}$, среднесжимаемые $\alpha = 0,1–0,05 \text{ МПа}^{-1}$, слабосжимаемые $\alpha = 0,05–0,01 \text{ МПа}^{-1}$ и практически несжимаемые $\alpha < 0,01 \text{ МПа}^{-1}$.

2) *коэффициент компрессии* (α_k) – отношение изменения коэффициента пористости к разности давлений в логарифмическом масштабе:

$$\alpha_k = \frac{\Delta e}{\Delta \lg \sigma}; \quad (26)$$

3) *модуль общей компрессионной деформации* ($E_{ок}$) – характеризует коэффициент пропорциональности между давлением и относительной линейной общей деформацией грунта без невозможности его бокового расширения при компрессии:

$$E_{ок} = \frac{1+e_0}{\alpha} = \frac{E_0}{\beta} \text{ (МПа)}, \quad (27)$$

где e_0 – коэффициент начальной пористости; α – коэффициент сжимаемости; E_0 – модуль общей деформации; β – коэффициент, учитывающий невозможность бокового расширения грунта при компрессии (безразмерная величина), равный: для песков – 0,8; для супесей – 0,7; для суглинков – 0,5; для глин – 0,4.

Т а б л и ц а 3.6.2

Упругие характеристики дисперсных грунтов

Грунты	Модуль общей деформации, МПа	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона
Гравий и галька	54–65	24–32	0,23–0,27
Щебень	29–65	13–30	0,25
Дресва	14–42	6–24	0,25–0,27
Пески разные (от гравелистых до мелких глинистых)	11–200	20–380	0,15–0,46
Супеси (твердые и пластичные)	2–39	20–460	0,24–0,31
Суглинки (от твердых до тегучепластичных)	4–40	18–1800	0,25–0,40
Глины (от твердых до тегучепластичных)	2–240	2,7–7600	0,27–0,48

Просадочность грунтов – это их способность уплотняться при смачивании водой в условиях компрессии и без возможности бокового расширения; характерна для дисперсных грунтов: сухие лёссовые грунты, выветрелые глины, вулканический пепел, искусственные грунты, почвы, засаленные пески, и оценивается *коэффициентом относительной просадочности* (ϵ_{s1}):

$$\epsilon_{s1} = \frac{h_p - h_p^1}{h_0}, \quad (28)$$

где h_p и h_p^1 – высоты образца грунта естественной влажности под давлением до и после смачивания водой, h_0 – начальная высота образца грунта естественной влажности и под природным давлением.

Прочностные свойства грунтов. Прочность грунтов – это их способность сопротивляться разрушению, проявляется при воздействии на грунт нагрузок, равных или превышающих критические, характеризуется следующими показателями:

1) *временное сопротивление сжатию* ($R_{сж}$) – выражает отношение нагрузки максимального упрочнения, близкого или равного усилию раз-

давливания (при одноосном сжатии) к площади поперечного сечения образца:

$$R_{сж} = \frac{P_{\max}}{S} \text{ (Па)}. \quad (29)$$

Таблица 3.6.3

Временное сопротивление сжатию скальных грунтов

Грунты	$R_{сж}$, МПа
Сиениты	100–220
Граниты	80–380
Диориты	140–310
Габбро	190–320
Андезиты	80–200
Базальты	90–460
Кварциты железистые	220–380
Сланцы песчаные	12–89
Сланцы глинистые	7–87
Доломиты	12–150
Известняки хомогенные	5–95
Песчаники	5–150
Алевролиты	12–40
Аргиллиты	16–51

2) *временное сопротивление растяжению* (R_p) – выражает отношение разрушающей нагрузки в условиях одноосного растяжения к площади раскалывания образца:

$$R_p = \frac{P_p}{S} \text{ (Па)}. \quad (30)$$

Для однотипных грунтов всегда $R_p < R_{сж}$.

Таблица 3.6.4

Временное сопротивление растяжению скальных грунтов

Грунты	R_p , МПа
Граниты	4–19
Диабазы	4–31
Габбро	6–20
Базальты	1–40
Гнейсы	7–20
Кварциты	4–16
Сланцы песчаные	1,5–25
Сланцы глинистые	0,5–15
Мраморы	3–17
Известняки	3–10
Песчаники	1–22
Алевролиты	0,7–3,1
Аргиллиты	2–3,5

3) *сопротивление сдвигу* – выражает величину деформирующей нагрузки, при которой происходит перемещение одной части грунта относительно другой:

$$\tau = \sigma \times \operatorname{tg} \varphi + c \quad (\text{закон Кулона, 1773}), \quad (31)$$

где τ – предельное сдвигающее напряжение; σ – нормальное давление; φ – угол внутреннего трения; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения; c – константа, характеризующая сцепление.

Для сыпучих грунтов, не обладающих сцеплением ($c = 0$), формула Кулона имеет вид:

$$\tau = \sigma \times \operatorname{tg} \varphi. \quad (32)$$

Закон Кулона имеет графическое выражение (рис. 3.6.1).

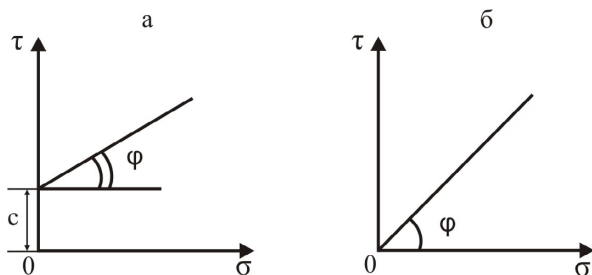


Рис. 3.6.1. Зависимость сопротивления сдвигу связных (а) и несвязных (б) грунтов

Реологические свойства грунтов. Реологические свойства грунтов проявляются в изменении во времени напряженно-деформационного состояния грунтов. Основные явления, определяющие эти свойства в грунтах: 1) *ползучесть* – нарастание деформаций во времени в грунте под действием постоянной нагрузки; 2) *релаксация напряжений* – процесс уменьшения напряжений в грунте при сохранении заданной неизменной деформации; 3) *длительная прочность* – прочность грунта при длительном действии нагрузки.

Динамические свойства грунтов. Динамические свойства – это определенные физико-механические свойства грунтов, определяющие их реакцию на действие динамических нагрузок. Выделяются:

1) *вибрационные нагрузки* – это воздействия на грунт, которые сопровождаются непрерывным изменением напряжений во времени; они могут быть как природными (землетрясения и др.), так и техногенными (влияние транспорта, технологических процессов и т.п.). В результате: а) в скальных и полускальных грунтах снижается прочность и повышается

деформируемость; б) связные грунты могут утрачивать прочность с негативными последствиями (деформации фундаментов инженерных сооружений, оползнеобразование и др; в) несвязные грунты могут испытывать уплотнение, разуплотнение и разжижение в определенных условиях, а также сдвиговые напряжения;

2) *импульсные нагрузки*; могут быть периодическими и непериодическими (ударные, почти периодические, нерегулярные и т.п.), их природа техногенная и связана со взрывами и ударными нагрузками при работе механизмов (забивание свай, уплотнение грунтов и т.п.). Высокая эффективность энергии взрыва используется в инженерной практике для уплотнения рыхлых песков, просадочных лёссов и слабосвязанных грунтов.

3) *разжижаемость грунтов* – это динамический процесс перехода водонасыщенных дисперсных грунтов в текучее состояние под действием внешней нагрузки.

3.7. Классификации грунтов

Классификации грунтов – это их деление и систематизация на основе показателей состава, строения, состояния и свойств. И сами показатели свойств грунтов подвергаются систематизации. Так, например, В.Т. Трофимов (2005) все показатели делит на классификационные и расчетные. Первые – это показатели, отражающие особенности состава, строения, состояния и свойств грунтов, именно они используются при разработке классификаций грунтов, вторые используются при проектировании в инженерно-геологических расчетах. По представительности показатели делятся на: 1) частные (индивидуальные) – представляют единичные значения состава, строения, состояния и свойств грунта в конкретной точке; 2) обобщенные: а) нормативные – усредненные частные показатели какого-то одного свойства, и б) расчетные – получаемые умножением нормативных показателей на коэффициент надежности.

В инженерной геологии используются классификации грунтов – частные, отраслевые, региональные и общие.

Частные классификации основаны на разделении грунтов по одному или двум показателям свойств и используются для решения конкретных задач. Например, классификация грунтов по гранулометрическому составу, отражающая процентное содержание в грунтах фракций определенного размера; классификация глинистых грунтов по показателю консистенции и т.д.

Отраслевые классификации удовлетворяют запросы различных видов строительства – промышленного и гражданского, гидротехнического, дорожного и так далее и используются при производстве инженерных изысканий, проектировании и строительстве зданий и сооружений. В практике современного строительства рекомендуется для использования классификация грунтов по ГОСТу 25100-2011 (введен с 01.01.2013 г.).

Региональные классификации служат для типизации грунтов на определенных крупных территориях (например, Русская платформа и т.д.). Используются при инженерно-геологическом картировании регионов.

Общие классификации включают все типы грунтов и являются основой для построения других классификаций. Примеры: общие классификации грунтов Ф.П. Саваренского (1939), В.А. Приклонского (1943), Н.Н. Маслова (1961), Е.М. Сергеева (1983), В.Д. Ломтадзе (1984), Г.К. Бондарика (1981), В.Т. Трофимова и др.

В общей классификации грунтов (Трофимов и др., 2005) выделяются: 1) царство природных грунтов (горные породы, осадки и почвы) и царство техногенных (искусственных) грунтов (техногенно измененные, перетолженные и образованные грунты); 2) классы – по общему характеру структурных связей; 3) группы – по характеру структурных связей с учетом прочности грунтов; 4) подгруппы – по происхождению и условиям образования; 5) типы – по вещественному составу; 6) виды – по наименованию грунтов (с учетом размеров частиц и показателей свойств); 7) разновидности – по количественным показателям вещественного состава, свойств и структуры грунтов.

В царстве природных грунтов выделяются три класса.

I. Класс скальные грунты (с жесткими структурными связями – кристаллизационными и цементационными). Группы: 1) скальные грунты, подгруппы – магматические интрузивные и эффузивные, метаморфические, осадочные и вулканогенно-осадочные горные породы; 2) полускальные грунты, подгрунты – осадочные и вулканогенно-осадочные горные породы. Разновидности скальных и полускальных грунтов выделяются по коэффициенту выветрелости, степени размягчаемости в воде, температуре, степени водопроницаемости и засоленности, структуре и текстуре.

II. Класс дисперсные грунты (с механическими и водно-коллоидными структурными связями). Грунты: 1) связные грунты (с физическими и физико-химическими структурными связями); подгруппы: а) осадочные, вулканогенноосадочные и почвы; типы – минеральные (виды: глинистые и пылеватые супеси, суглинки, глины), органоминеральные (виды – илы, сапропели, заторфованные грунты), органические (виды – торф и др.);

разновидности различают по: гранулометрическому составу (крупнообломочные и песчаные грунты), числу пластичности и гранулометрическому составу (глинистые грунты), степени неоднородности гранулометрического состава (песчаные грунты), показателю текучести, величине относительной деформации набухания без нагрузки и относительной деформации просадочности, степени влажности, степени плотности (песчаные грунты); 2) несвязные грунты (с механическими структурными связями и сыпучие в сухом состоянии); подгруппа: а) осадочные, вулканогенно-осадочные и почвы; тип – минеральные (силикатные, силикатно-карбонатные и др.); виды: а) крупнообломочные – валунные, галечниковые (щебнистые), гравийные (дресвяные) грунты; разновидности – по коэффициенту выветрелости и истираемости (крупнообломочные грунты), относительному содержанию органического вещества (глинистые и песчаные грунты, сапропели); б) песчаные: пески гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие и пылеватые; разновидности – по степени разложения и зольности (торф), степени засоленности, форме частиц (крупнообломочные и песчаные грунты), вещественному составу (карбонатные грунты).

III. Класс мерзлые грунты (с криогенными структурными связями). Группы: 1) скальные промерзшие; подгруппа – промерзшие эпигенетически (интрузивные, эффузивные, метаморфические и осадочные горные породы); тип – ледоминаральные, вид – все виды скальных промерзших грунтов; 2) дисперсные промерзшие; подгруппа – промерзшие син- и эпигенетически (осадочные и вулканогенно-осадочные горные породы); тип – ледоминаральные, минерально-ледяные, органоминарально-ледяные, органоледажные; вид – все виды промерзших дисперсных грунтов; 3) ледяные; подгруппа – конституционные (внутригрунтовые), погребенные и пещерно-жильные; типы – лед; вид – лед сегрегационный, инъекционный, ледниковый, наледный, речной, озерный, морской, донный, инфильтрационный (снежный), жильный, повторно-жильный, пещерный. Различаются разновидности по всем типам выделяются по: степени морозной пучинистости, льдистости за счет видимых ледяных включений, температурно-прочностным свойствам, степени засоленности, текстуре (табл. 3.7.1).

В царстве техногенных грунтов также выделяются три класса.

I. Класс скальные грунты. Группы: 1) скальные; 2) полускальные; подгруппы: природные образования, измененные в условиях естественного залегания физическим или физико-химическим воздействием, антропогенные образования; все типы и виды измененных природных скальных и реже дисперсных грунтов.

Мерзлые грунты

Класс	Под-класс	Тип	Подтипы	Вид	Подвиды
Мерзлые	Скальные мерзлые	Природные промерзшие	Интрузивные, эффузивные, метаморфические, осадочные, вулканогенно-осадочные элювиальные	Все виды скальных грунтов	Все подвиды скальных грунтов
		Техногенные промороженные и мерзлые	Природные грунты, техногенно измененные в условиях естественного залегания	Все виды техногенно измененных природных скальных грунтов	Все подвиды техногенно измененных природных скальных грунтов
	Дисперсные мерзлые	Природные промерзшие	Осадочные, вулканогенно-осадочные, элювиальные	Все виды дисперсных грунтов	Все подвиды дисперсных грунтов
		Техногенные промороженные и мерзлые	Природные грунты, техногенно измененные в условиях естественного залегания. Техногенно перемещенные природные мерзлые грунты. Антропогенные промороженные и мерзлые грунты.	Все виды техногенно измененных природных дисперсных грунтов	Все подвиды техногенно измененных природных дисперсных грунтов
	Ледяные	Льды конституционные: внутригрунтовые, погребенные, пещерно-жилые	Сегрегационные, инъекционные, ледниковые, наледные, речные, озерные, морские, донные, инфильтрационные, жилые, повторно-жилые, пещерные	Льды, ледогрунты	Льды разного состава Ледогрунты разного состава
		Техногенные ледяные искусственные	Антропогенные намороженные льды	Все виды намороженных льдов	Все подвиды искусственных льдов разного состава

II. Класс дисперсные грунты. Группы: 1) связные; подгруппа: природные образования, измененные в условиях естественного залегания физическим или физико-химическим воздействием; все типы измененных природных дисперсных и скальных грунтов; все виды измененных природных дисперсных грунтов; 2) несвязные; подгруппы: а) природные пе-

ремещенные образования насыпные, намывные или образованные взрывом; б) антропогенные образования насыпные и намывные; тип – отходы производственной и хозяйственной деятельности; виды: отходы бытовые, промышленные, строительные, шлаки, шламы, золошлаки и др.

III. Класс мерзлые грунты. Группы: 1) скальные промороженные; подгруппа: природные образования, измененные в условиях естественного залегания тепловым воздействием; все типы и виды промороженных природных скальных грунтов; 2) полускальные промороженные; 3) связные промороженные; подгруппа: природные образования, измененные в условиях естественного залегания тепловым воздействием; все типы и виды промороженных природных дисперсных грунтов; 4) несвязные промороженные; подгруппы: а) природные перемещенные промерзшие образования насыпные и намывные; б) антропогенные промерзшие образования насыпные, намывные и намороженные; все типы промороженных антропогенных образований; виды: отходы бытовые, промышленные, строительные, шлаки, шламы, золошлаки, искусственные льды и др.

В строительной практике для улучшения качества геологических свойств грунтов используются методы технической мелиорации грунтов (прил. 1).

3.8. Характеристика грунтов разных генетических типов и классов

3.8.1. Магматические горные породы

Магматические интрузивные и эффузивные горные породы относятся к скальным нерастворимым грунтам. Их инженерно-геологические свойства зависят от минерального состава, текстурно-структурных особенностей и других факторов и могут изменяться в широких пределах. Они имеют высокую плотность – от 2,4 до 3,4 г/см³, морозостойкие, невлагоемкие, водонепроницаемость по трещинам, коэффициент фильтрации 0–10 м/сут., пористость незначительная в интрузивных горных породах (до 5%), в некоторых типах эффузивных горных пород достигает 70%, прочность высокая. В водонасыщенном состоянии скальные магматические грунты по величине временного сопротивления сжатия ($R_{сж}$) делятся на очень прочные ($R_{сж} > 120$ МПа), прочные ($120 \geq R_{сж} < 50$ МПа), средней прочности ($50 \geq R_{сж} < 15$ МПа) и малопрочные ($15 \geq R_{сж} < 5$ МПа) разновидности.

Физико-механические свойства скальных магматических грунтов отражены в табл. 3.6.1.

В естественном залегании в массивах характерна анизотропия свойств магматических горных пород. В откосах они устойчивы, являются надежными основаниями любых инженерных сооружений. Так, более 30% всех высоких плотин земного шара возведено на изверженных горных породах. Разрабатываются магматические горные породы взрывным способом.

Ухудшение инженерно-геологических свойств магматических горных пород связано прежде всего с их выветриванием, обводнением, трещиноватостью и тектонической нарушенностью. При этом нарушается монолитность горных пород, образуются ослабленные зоны. В районах высокой сейсмичности вдоль ослабленных зон могут происходить смещения участков земной коры. В местах развития таких зон затрудняются строительство, горнопроходческие работы, эксплуатация гидротехнических и других крупных сооружений. Сухие горные породы являются более прочными, чем водонасыщенные.

Для оценки выветрелости магматических горных пород используется коэффициент степени выветрелости K_{wr} , представляющий отношение плотности выветрелой горной породы к плотности невыветрелой горной породы. Если $K_{wr} = 1$ – горная порода невыветрелая; если $1 > K_{wr} \geq 0,9$ – горная порода слабо выветрелая; если $0,9 > K_{wr} > 0,8$ – горная порода выветрелая; если $K_{wr} < 0,8$ – горная порода сильно выветрелая.

3.8.2. Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы (сланцы, гнейсы, кварциты, роговики и др.) также относятся к скальным нерастворимым грунтам, их общая инженерно-геологическая характеристика близка к магматическим горным породам. Отличие заключается в резко выраженной анизотропии параметров прочности и повышенной водопроницаемости. Так, вдоль плоскостей сланцеватости и гнейсовидности прочность метаморфических горных пород резко уменьшается до 10 раз.

Плотность метаморфических горных пород составляет 2,60–3,10 г/см³, их физико-механические свойства показаны в табл. 3.6.1. Особо высокой прочностью и устойчивостью отличаются кварциты и роговики: сопротивление сжатию кварцитов превышает 150–200 МПа, роговиков – 60–100 до более 150 МПа. Кристаллические сланцы и гнейсы подвергаются более интенсивным процессам выветривания и неустойчивы в откосах

при наклонном залегании, в особенности, если направление падения элементов сланцеватости и гнейсовидности совпадает с уклоном откосов.

3.8.3. Осадочные цементированные горные породы

Осадочные цементированные горные породы относятся к скальным и полускальным грунтам. Их инженерно-геологические свойства зависят от генетического типа, состава, текстурно-структурных признаков и других факторов.

Крупнообломочные горные породы – конгломераты и гравелиты, состоящие из обломков силикатных пород на кремнистом цементе, – обладают высокой прочностью (временное сопротивление сжатию достигает до 100 МПа). Они дают устойчивые откосы. Прочность их уменьшается при наличии в составе нестойкого известково-глинистого и других типов цемента.

Мелкообломочные горные породы – песчаники аркозового типа на стойком цементе – имеют высокую прочность (сопротивление сжатию – от 150–200 до 300 МПа). Физико-механические свойства разных типов песчаников изменяются в широких пределах (колебания прочности от 5–10 до 40–200 МПа, упругие константы (см. табл. 3.6.1 и 3.6.2)). Слабопрочные песчаники (полускальные грунты) легко выветриваются и разрушаются до песков. Плотность песчаников колеблется от 2,20 до 2,80 г/см³.

Тонкообломочные горные породы. Большинство тонкообломочных горных пород – алевролиты и аргиллиты (за исключением высокопрочных алевролитов силикатно-кремнистого состава) – относятся к полускальным грунтам. Их характеризуют следующие особенности: плотность составляет 2,30–2,60 г/см³, пористость – 14–22%, временное сопротивление сжатию колеблется от 2 до 240 МПа, влагоёмкие, способны к размоканию, легко выветриваются, упругие константы (см. табл. 3.6.2). Устойчивость в откосах зависит от степени трещиноватости и выветрелости, могут давать осыпи. Характерна анизотропия свойств в естественном залегании. Обладают реологическими свойствами. Разрабатываются ударным инструментом и взрывным способом.

3.8.4. Химические и биохимические (органогенные) горные породы

Карбонатные горные породы. Плотность карбонатных горных пород, среди которых выделяются известняки, мел, доломиты и другие типы,

варьирует от 1,6 до 2,8 г/см³. В зависимости от инженерно-геологических свойств они делятся на плотные и неплотные. Плотные карбонатные породы относятся к скальным грунтам, неплотные – к полускальным грунтам. Характеризуются слабой растворимостью, в воде не размокают. Водопроницаемость различна. Временное сопротивление сжатию колеблется от менее 10 МПа до 250 МПа, упругие константы (см. табл. 3.6.1). В естественном залегании в массивах часть из них дают глыбовую отдельность, могут быть устойчивы в откосах. Районы развития карбонатных отложений часто закарстованы, что затрудняет их хозяйственное освоение.

Карбонатно-глинистые горные породы (мергели и др.) имеют плотность 2,20–2,40 г/см³, прочность типичных мергелей – от 5 до 30 МПа и редко более 100 МПа. С повышением влажности и пористости их прочность резко снижается. В откосах неустойчивы. Образуют осыпи.

Сульфатные галюидные горные породы (ангидрит, гипс, галит и др.) имеют плотность 2,10–3,1 г/см³, характеризуются слабой прочностью, растворимы в воде (активны процессы карстообразования), временное сопротивление сжатию составляет до 15–20 МПа и может достигать (у ангидритов) до 140 МПа. Ангидрит в присутствии воды переходит в гипс (процесс обратимый), при этом увеличивается объем минеральной массы, что приводит к деформациям в окружающих горных породах. Возможно и отрицательное воздействие на инженерные сооружения.

Отработанные месторождения каменных солей могут использоваться в качестве подземных хранилищ для нефти, горюче-смазочных материалов, захоронения промстоков и т.п.

3.8.5. Осадочные несцементированные горные породы

Осадочные несцементированные горные породы относятся к классу природных дисперсных грунтов, в котором выделяются: 1) несвязные грунты – осадочные и вулканогенно-осадочные образования крупнообломочного и мелкообломочного состава; 2) связные грунты – глинистые, лессовые, илы, сапропели, заторфованные грунты и торф. Они характеризуются **гранулометрическим составом**, который отражает процентное содержание в рыхлой горной породе фракций определенного размера, и **углом естественного откоса** – углом наклона поверхности свободно насыпанного несвязного грунта к горизонтальной плоскости.

Крупнообломочные рыхлые горные породы – валуны, галька, гравий, щебень и другие имеют плотность 2,65–3,30 г/см³. Их инженерно-геологические характеристики зависят от гранулометрического и мине-

рального состава, уплотненности и других факторов. Они имеют свойства сыпучих тел (при этом форму сохраняют под действием массы обломков и трения между ними), практически несжимаемые или слабосжимаемые, пористость – 40%, упругие характеристики (см. табл. 3.6.2), угол внутреннего трения и сцепления зависит от выветрелости обломков и составляет около 40° (для сильно выветрелых обломков – 28–22°), угол естественного откоса превышает 40°, водопроницаемость высокая – коэффициент фильтрации может достигать 1 000 м/сут. Устойчивость как в основаниях, так и в откосах зависит от внутреннего трения и интенсивности динамических воздействий. Разрабатываются механическим и ручным способами.

Мелкообломочные рыхлые горные породы – пески и другие имеют плотность 2,55–2,70 г/см³, пористость изменяется от 25 до 55%, упругие характеристики (см. табл. 3.6.2), угол внутреннего трения зависит от пористости и составляет 30–43°, угол естественного откоса сухих песков – 30–40°, под водой 24–33°, водопроницаемость высокая – коэффициент фильтрации составляет от 40 до 100 м/сут и более, под влиянием статических нагрузок уплотняются очень слабо, дают осадку при динамических нагрузках и могут значительно уплотняться, под влиянием гидродинамического давления переходят в плавунное состояние.

Глинистые грунты. Свойства глинистых грунтов изменяются в широких пределах и зависят от генетического типа, состава, возраста, плотности, влажности, консистенции, ненарушенности естественного сложения и других факторов. Плотность колеблется от 1,30 до 2,30 г/см³, пористость – 25–30 до 60%, естественная влажность – от 5–10 до 100%, влагоемкие, нерастворимые, слабоводопроницаемые – коэффициент фильтрации менее 1 м/сут, сжимаемые и сильносжимаемые, модуль общей деформации варьирует от нескольких до 50–60 МПа, упругие характеристики (см. табл. 3.6.2). Обладают такими свойствами, как набухаемость, усадка, просадка, липкость, размокаемость, тиксотропность. *Тиксотропность* – это свойство грунта изменять состояние под влиянием механического воздействия (от разрушения до восстановления прочности). В геологических структурах они играют роль водоупорных горизонтов.

Для глинистых грунтов характерна *пластичность* – способность деформироваться без разрыва сплошности под воздействием внешних сил и сохранять полученную форму. *Пределы пластичности* определяют значения влажности в весовых процентах, при которых глинистый грунт переходит из одного состояния консистенции в другое. Выделяются:

1) *нижний предел пластичности* (W_p) – весовая влажность, выше которой грунт переходит из полутвердой консистенции в пластичную;

2) *верхний предел пластичности* (W_L) –весовая влажность, выше которой грунт переходит из пластичной консистенции в текучую.

Разность между верхним и нижнем пределами пластичности называется *числом пластичности* (I_p). Оно характеризует диапазон влажности пластичного состояния глинистого грунта:

$$I_p = W_L - W_p. \quad (33)$$

Важное значение среди свойств глинистых грунтов имеет консистенция – его состояние, характеризующее способность сохранять свою форму без или при наличии внешнего механического воздействия. Выделяются консистенции: текучая, текучепластичная, легкопластичная, тугопластичная, пластичная, твердая и сыпучая. Количественно консистенция оценивается *показателем консистенции* (I_L), который определяется по формуле

$$I_L = \frac{W_e - W_p}{I_p}, \quad (34)$$

где W_e – естественная влажность грунта в процентах.

При $I_L < 0$ грунт имеет твердую консистенцию, при $0 < I_L \leq 1$ консистенция грунта пластичная, при $I_L > 1$ консистенция грунта текучая.

Наибольшей прочностью обладают сухие глинистые грунты, при увлажнении они становятся мягкими пластичными и при высокой влажности переходят в текучее и пльвунное состояние. Устойчивость в откосах глинистых грунтов зависит от влажности и высоты откоса. Дают оползни. Разрабатываются ручным и механическим способами.

3.8.6. Мерзлые грунты

К мерзлым грунтам относятся любые горные породы, находящиеся в условиях отрицательных или нулевых температур, обладающие *криогенной текстурой* и содержащие лед. В северном полушарии земного шара мерзлые грунты образуют зоны многолетней мерзлоты (криолитозоны). Их южная граница является постепенной. В Российской Федерации они занимают площадь около 75% от общей площади государства. Максимальная глубина их достигает более 800 м.

В разрезе мерзлых грунтов выделяется деятельный слой – верхняя приповерхностная часть земной коры, которая замерзает зимой и оттаи-

вает летом. Его мощность достигает 5 м и зависит от широты местности, среднегодовой температуры, геоморфологических особенностей территории, растительности, мощности снежного покрова и других факторов.

Мерзлые грунты характеризуются суммарной льдистостью, которая отражает общее содержание льда в грунтах в процентах или долях единицы. Выделяются (Трофимов и др., 2005):

1. Весовая льдистость – это отношение массы всего льда (m_l) к массе сухой породы (m_s):

$$i_p = \frac{m_l}{m_s}. \quad (35)$$

2. Относительная льдистость – это отношение весовой льдистости (i_p) к суммарной влажности (w_{tot}):

$$i_0 = \frac{i_p}{w_{tot}}. \quad (36)$$

3. Объемная льдистость – это отношение объема всего льда (V_l) к объему мерзлой породы (V):

$$i_V = \frac{V_l}{V}. \quad (37)$$

Криогенная текстура мерзлых грунтов – это строение его минерального скелета с участием льда. Под криогенной структурой понимается строение текстурообразующего льда в мерзлом грунте.

В общей классификации грунтов в классе природных мерзлых грунтов выделяются группы скальных промерзших (перешедших в мерзлое состояние), дисперсных промерзших и ледяных (представлены льдом) грунтов. Каждая группа включает определенные подгруппы и типы (см. табл. 3.7.1).

Скальные мерзлые грунты, в которых количество льда имеет подчиненное значение (до 30%), получили название *ледоминеральные*. К ледоминеральным мерзлым грунтам относятся малольдистые и льдистые песчано-глинистые и крупнообломочные грунты, в которых суммарное содержание льда составляет менее 40%. К минерально-ледяным мерзлым грунтам относятся сильно-льдистые и очень сильнольдистые грунты, в которых содержание льда составляет более 40%. Выделяются *морозные*

грунты – имеющие отрицательную среднегодовую температуру, но не содержащие лед.

Свойства мерзлых скальных ледоминаральных грунтов различного генезиса, возникших при эпигенетическом промерзании, зависят от льдистости, криогенного строения, минерального состава, температуры, степени выветрелости, трещиноватости, пористости, закарстованности и других факторов. Для них характерны криогенные текстуры – трещинная, трещинно-жильная, пластово-трещинная, пластово-трещинно-поровая и пластово-трещинно-карстовая. По сравнению с исходными (немерзлыми) они имеют более высокую прочность, но после протаивания их прочностные и деформационные свойства резко снижаются, увеличивается сжимаемость грунтов.

Криогенные текстуры мерзлых дисперсных грунтов зависят от характера их промерзания. Так, в эпикриогенных массивах криотекстура грунтов слоистая и сетчатая; в грунтах (пески, суглинки), промерзших в условиях аэрации, – массивная, редкослоистая тонкошлифовая; в эпигенетически промерзших русловых или флювиогляциальных песчаных грунтах – массивная с коровым или базальным льдом-цементом; в галечно-гравелистых грунтах – корковая, реже базальная; в синкриогенных грунтах (при наличии нижнего мерзлого водоупора) – параллельно-слоистая и сетчатая; в синкриогенных солифлюкционных и делювиальных грунтах – элементарная линзовидная, сложная волнисто-поясковая и вогнуто-параллельно-слоистая, в диогенетически промерзших грунтах – вогнуто-слоистая, ромбовидная сетчатая, косоугольная конусолинзовидная и косослоистая (Трофимов и др., 2005).

Плотность мерзлых песков составляет $1,5\text{--}2,0\text{ г/см}^3$, мерзлых глинистых грунтов – $1,22\text{--}2,08\text{ г/см}^3$; плотность скелета мерзлых песков – $1,4\text{--}1,7\text{ г/см}^3$, мерзлых глинистых грунтов – $0,58\text{--}1,63\text{ г/см}^3$; пористость мерзлых песков – 35–45%, мерзлых глинистых грунтов – 40–60% и более.

Физико-механические свойства ледоминаральных и минерально-ледяных грунтов зависят от их состава, пористости и температуры. Модуль упругости этих мерзлых грунтов составляет 300–30 000 МПа. Модуль общей деформации мерзлых песчано-глинистых грунтов 8–214 МПа. Засоленность мерзлых грунтов влияет на увеличение их сжимаемости и снижение прочности.

При оттаивании мерзлых дисперсных грунтов резко снижается их прочность, увеличиваются сжимаемость и водопроницаемость. Прочность мерзлых песчано-глинистых грунтов определяется по формуле

$$\delta = \frac{\Delta h_{th}}{h_{th}}, \quad (38)$$

где Δh_{th} – осадка при оттаивании слоя грунта мощностью h_{th} . В зависимости от осадки мерзлые грунты делятся на четыре категории: I – мерзлые непросадочные ($\delta < 0,01$); II – мерзлые среднепросадочные ($0,01 \leq \delta < 0,1$); III – мерзлые просадочные ($0,1 \leq \delta < 0,2$); IV – мерзлые сильнопросадочные ($\delta \geq 0,2$).

Органоминерально-ледяные типы (см. табл. 7.3.1.) – это сильнольдистые песчано-глинистые заторфованные грунты, содержащие 10-60% растительных остатков; органоледяные типы – это преимущественно сильнольдистые торфяные грунты. Криотекстуры этих мерзлых грунтов базальная и массивно-поровая, встречаются криотекстуры – массивная, редкошпировая сетчатая и сетчато-слоистая. Формирование этих мерзлых грунтов часто сопровождается образованием площадей и бугров пучения высотой 2–3 м, редко – 7–8 м и более.

Свойства мерзлых грунтов этих типов зависят, главным образом, от температуры. Так, модуль общей деформации мерзлых заторфованных грунтов составляет 16–41 МПа, мерзлого торфа – 30–300 МПа и более при температуре выше -40°C , модуль упругости мерзлого заторфованного песка $(110-150) \cdot 10^2$ МПа, мерзлого торфа – около $(50-100) \cdot 10^2$ МПа.

Мерзлые ледяные грунты представлены мономинеральным льдом или льдом с примесью терригенного материала. Криоструктура льда преимущественно кристаллически-зернистая, встречается слоистая. Плотность чистого льда при температуре 0°C и давлении 1 атм. равна $0,9168 \text{ г/см}^3$, при понижении температуры на 10°C плотность льда увеличивается на $0,0015 \text{ г/см}^3$. Плотность морских льдов составляет $0,920-0,953 \text{ г/см}^3$ и увеличивается с ростом солёности. Пористость льда в ледниках равна 2,5%, морского льда – 3,0%. Модуль упругости льда (статические испытания) составляет $10^{-3}-10^{-4}$ МПа, динамический модуль упругости – $(8-10) \cdot 10^{-3}$ МПа, модуль упругости морских льдов $(3-9) \cdot 10^3$ МПа; временное сопротивление одноосному сжатию пресных льдов при температуре от 0 до -35°C составляет 1,0–5,9 МПа, морских льдов при температуре около 0°C – 0,4–0,7 МПа и при температуре -30°C – 4,5–4,8 МПа

3.8.7. Техногенные грунты

Техногенные грунты – это измененные массивы горных пород, возникшие в результате инженерно-строительных и хозяйственных работ, сохранившие первоначальное место залегания или перемещенные на раз-

личные расстояния. В царстве техногенных грунтов выделяются (табл. 3.8.7.1) классы скальных, дисперсных и мерзлых грунтов, затем в каждом из них выделяются группы, подгруппы, типы и виды грунтов.

Таблица 3.8.7.1

Общая классификация грунтов. Царство техногенных грунтов

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид
Скальные	Скальные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания физическим и физико-химическим воздействием	Все типы измененных природных скальных и реже дисперсных грунтов	Все виды измененных природных скальных и реже дисперсных грунтов
	Полускальные	Антропогенные образования		
Дисперсные	Связные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания физическим или физико-химическим воздействием	Все типы измененных природных дисперсных и скальных грунтов	Все виды измененных природных дисперсных грунтов
	Несвязные	Природные перемещенные образования насыпные, намывные или образованные взрывом		
Антропогенные образования насыпные и намывные				
Мерзлые	Скальные промороженные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания тепловым воздействием	Все типы промороженных природных скальных грунтов	Все виды промороженных природных скальных грунтов
	Полускальные промороженные			
	Связные промороженные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания тепловым воздействием	Все типы промороженных природных дисперсных грунтов	Все виды промороженных природных дисперсных грунтов
	Несвязные промороженные	Природные перемещенные промерзшие образования насыпные и намывные		
Антропогенные промерзшие образования насыпные, намывные и намороженные		Все типы промороженных антропогенных образований	Отходы бытовые, промышленные, строительные шлаки, шламы, золошлаки, искусственные льды и др.	

Техногенные скальные и полускальные грунты в естественном залегании – это грунты, измененные методами технической мелиорации для

обеспечения устойчивости сооружений, проходки и эксплуатации горных выработок, локализации промышленных отходов, производственных вод и т.п. При этом скальные грунты при снижении прочности на одноосное сжатие менее 5 МПа в водонасыщенном состоянии переходят в полускальные грунты. Для укрепления несущей способности и снижения водопроницаемости трещиноватых и закарстованных грунтов используется тампонирующее цементными и цементно-грунтовыми растворами, глинистыми суспензиями, горячим битумом и жидким стеклом (силикатизация). Некоторые типы связных дисперсных грунтов, обработанные методами технической мелиорации (горячий битум, холодные битумные эмульсии, цементные растворы, жидкое стекло, карбомидные смолы, известкование, термообработка), приобретают по своим прочностным параметрам свойства скальных и полускальных грунтов.

Техногенные дисперсные связные грунты делятся на: 1) природные образования, измененные в условиях естественного залегания (техногенно измененные грунты); 2) природные перемещенные образования (техногенно перемещенные грунты) и 3) антропогенные образования.

1. Техногенно измененные связные грунты формируются из природных в естественном залегании связных и несвязных алевро-глинисто-песчаных грунтов, обработанных методами технической мелиорации – глинизации, холодной битумизации, осушения и уплотнения.

2. Техногенно переотложенные связные грунты делятся на: а) насыпные (возведение насыпей и отвалов) и б) намывные. Для этого типа грунтов допускается использование искусственных грунтовых смесей из глинистых, алевритовых и крупнообломочных грунтов с заданными свойствами.

3. Связные антропогенно образованные грунты. К ним относятся: а) зола тепловых электростанций, из которой формируются пруды-отстойники гидроотвалов глинисто-пылеватого состава; б) шламы – отходы металлургического, химического, горно-обогатительного производств, бурения скважин, строительной индустрии, рудничных и сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности, состав их преимущественно глинистый; в) культурный слой – это поверхностный и приповерхностные пласты горной породы или почвы с материальными следами жизнедеятельности человека от самых древних погребенных до современных. Они крайне неоднородны по своему составу (строительный мусор, предметы домашнего обихода и т.д.). Мощность культурного слоя некоторых городов составляет (в метрах): Киев – 44, Лондон – 25, Москва – 22, Париж – 20, Новгород – 14. Современный культурный слой не может служить основанием инженерных сооружений, а древний куль-

турный слой требует бережного обращения. Для возведения на нем строительных объектов необходимо разрешение археологов. В связи с отсутствием в Российской Федерации государственной археологической службы археологические находки часто совершают строители, а культурному слою, имеющему историческое значение, наносится непоправимый ущерб.

Техногенно дисперсные несвязные грунты делятся, как и связные, на: 1) природные образования, измененные в условиях естественного залегания (техногенно измененные грунты); 2) природные перемещенные образования (техногенно переотложенные грунты) и 3) антропогенные образования.

1. Техногенно измененные несвязные грунты формируются из природных в естественном залегании несвязных грунтов, обработанных методами технической мелиорации – уплотнение, внесение гранулометрических добавок, армирование (использование для упрочнения грунтов каркасных конструкций, пленок, сеток, тканей, металлических полос, стержней, балластных колонн, песчаных свай, грунтовых анкеров, буринъекционных свай т.п.).

2. Техногенно переотложенные несвязные грунты – это: а) насыпные грунты, используемые для возведения насыпей автомобильных и железных дорог, составных частей гидротехнических сооружений (дамбы, плотины) и при планировке территорий, засыпке котлованов и ведении других земляных работ; горные массы отвалов и терриконов из выработанных месторождений полезных ископаемых высотой от 50-80 до 100 м с линейными очертаниями, крутизной склонов, зависящей от углов естественного откоса отсыпаемых грунтов, объемом до нескольких миллионов кубометров. По составу отвалы могут быть однородными и неоднородными. Горные породы отвалов постепенно уплотняются под влиянием естественного веса, ударных нагрузок при сбрасывании на поверхность отвала и веса работающих на отвале машин и механизмов. Со временем происходит их дальнейшее уплотнение силами гравитации. Они создают техногенные уродливые формы рельефа, а угольные отвалы и терриконы подвержены, кроме того, саморазогреванию, которое сопровождается самовозгоранием и взрывами при попадании атмосферных осадков. В последнее время ставится задача возвращения отвалов и терриконов в среду обитания человека по программам рекультивации земель; б) намывные грунты – это искусственные локальные стройплощадки размером в несколько квадратных километров. Они создаются в долинах рек в черте крупных населенных пунктов для возведения промышленных и гражданских объектов. В качестве материала используются

местные аллювиальные песчаные отложения (пример: застройка левого берега р. Томи г. Новокузнецка и др.). При строительстве плотин на равнинных реках и оградительных дамб разного назначения применяется гидронамыв. В результате использования гидромеханизации земляных работ в горно-техническом производстве также образуются техногенные переотложенные несвязные грунты гидроотвалов.

3. Несвязные антропогенно образованные грунты близки к связным антропогенным образованиям подобного типа; это: а) шлаки, представляющие отходы горнометаллургического производства; б) зола и шлаки от тепловых электростанций; в) шламы – отходы производства цветной металлургии.

Техногенные мерзлые грунты образуются в различных условиях: 1) в результате естественного промерзания техногенных грунтов разного типа; 2) искусственного замораживания пльвунов и других водонасыщенных грунтов при шахтном и тоннельном строительстве, возведении гидротехнических сооружений, линий метрополитенов и др.; 3) намораживания искусственных льдов при создании автодорог, аэродромов, причалов, дамб, переправ через водные преграды, платформ для добычи углеводородного сырья и т.п.

3.9. Инженерная геология массивов горных пород

Инженерно-геологический массив представляется как часть геологической среды в литотехнической системе, взаимодействующей с сооружениями в процессе их строительства и эксплуатации. Выделяются массивы грунтов и грунтовые толщи, которые могут быть синонимами понятия «инженерно-геологический массив». Массив грунтов – это геологическое тело, образующее геологическую структуру или часть ее, характеризующееся присущим только ему составом, строением и свойствами в зоне влияния инженерных сооружений. Грунтовая толща – это толща горных пород и почв, слагающая верхнюю часть разреза различных геоморфологических элементов и находящаяся в сфере влияния инженерных сооружений.

Важным элементом структуры инженерно-геологического массива является строение его земной поверхности, называемой физической. Физическая поверхность массива отражает его внутреннее строение и геодинамическое состояние. Она не совпадает с топографической поверхностью, для которой характерна непрерывность и плавность. Различие это проявляется в более сложной конфигурации рельефа, наличии экзогеодинамических напряжений (например, нависающие косогоры, карстовые и

оползневые явления и т.п.), неотектонических новообразований (уступы, ступенчатые сбросы и т.д.), эрозивно-денудационных и аккумулятивных процессов. Строение физической поверхности – один из решающих факторов, влияющих на размещение инженерных сооружений и коммуникаций. Границы инженерно-геологических массивов устанавливаются по комплексу признаков – геолого-структурных, тектонических, геоморфологических, геодинамических. Границами массивов могут быть тектонические швы и зоны резкого изменения состава и геологического строения. Глубина изучения массивов должна превышать глубину производимых работ и размещения сооружений, включая зону воздействия сооружений на массивы. В необходимых случаях проводится специальное изучение подстилающих комплексов горных пород для предупреждения каких-либо катастрофических деформаций. Линии пересечения боковых граничных поверхностей массива с физической поверхностью определяют границы инженерно-геологических районов, т.е. территорий, отличающихся друг от друга условиями строительства, эксплуатации сооружений и хозяйственного освоения в целом.

Внутреннее строение массива оказывает влияние на свойства слагающих его горных пород и определяет инженерно-геологические свойства самого массива. В строении массивов выделяются объемные структурные элементы и поверхности их раздела, которые можно объединить в 4 группы:

1. Петрогенетические – отражают горные породы по своему составу, разделенные на элементарные структурные блоки. Границами раздела являются контакты разновидностей горных пород, трещины, плоскости расщепления и т.д.

2. Петротектонические – объединяют естественные ассоциации горных пород, находящиеся в генетическом родстве, формационные комплексы, структурные этажи земной коры и разделяющие их поверхности.

3. Тектонические – это структурные элементы, имеющие тектоническую природу: складчатые структуры, разрывные нарушения, разломы, тектонические блоки.

4. Неотектонические, экзогенно-гравитационные – это гляциодислокации, вызванные давлением ледников, оползневые процессы, карстовые обрушения, мерзлотно-динамические явления и др.

При изучении свойств массивов нельзя исключать так называемого масштабного фактора или эффекта, основанного на том, что инженерно-геологические свойства горных пород зависят от размеров изучаемых образцов. Считается, что с увеличением размеров образцов прочность горных пород снижается. В целом массивы могут быть изотропными – их

свойства являются одинаковыми во всех направлениях или анизотропными – их свойства являются разными в разных направлениях.

На инженерно-геологические свойства массивов и их поведение при взаимодействии с инженерными сооружениями оказывают влияние следующие главные факторы.

1. Однородность и неоднородность вещественного состава и текстурно-структурных особенностей горных пород, слагающих массивы.

2. Трещиноватость горных пород массивов. Интенсивность трещиноватости оценивается количеством трещин, приходящихся на 1 пог. м массива горных пород. Количественная оценка степени трещиноватости учитывает их размеры и густоту трещин. Отношение средней длины трещин, приходящихся на 1 м² площади массива, называется удельной трещиноватостью. Рассчитывается коэффициент трещиноватости, который показывает число трещин на единицу длины по определенному направлению. Классификация массивов по степени трещиноватости в зависимости от коэффициента фильтрации и удельного водопоглощения показана в табл. 3.9.1.

Таблица 3.9.1

Классификация массивов по степени трещиноватости

Типы массивов	Коэффициент фильтрации, м/сут	Удельное водопоглощение, л/мин
Практически водоупорные, нетрещиноватые	<0,01	<0,005
Очень слабопроницаемые и слаботрещиноватые	0,01–0,1	0,005–0,05
Слабопроницаемые и слаботрещиноватые	0,1–1,0	0,05–5
Водопроницаемые и слаботрещиноватые	10–30	5–15
Сильнопроницаемые, Сильнотрещиноватые	30–100	15–50
Очень сильно проницаемые и сильнотрещиноватые	>100	>50

По данным СНиП 11-02-96 выделяются типы массивов скальных грунтов по степени трещиноватости в зависимости от модуля трещиноватости M_t – число трещин на 1 м линии измерения: 1) слаботрещиноватые – $M_t < 1,5$; 2) среднетрещиноватые – $M_t = 1,5–5$; 3) сильнотрещиноватые – $M_t = 5–30$; 4) очень сильнотрещиноватые – $M_t > 30$.

3. Выветренность горных пород массивов (см. раздел 4.3.1). Согласно СНиП 11-02-96 массивы скальных грунтов классифицируются по степени

выветрелости в зависимости от коэффициента выветрелости $K_{вс}$. Коэффициент выветрелости ($K_{вс}$) – это отношение плотности выветрелого образца грунта к плотности невыветрелого образца этого же грунта: если $K_{вс} < 0,8$ – массив сильновыветрелый, $K_{вс} = 0,8–0,9$ – массив выветрелый, $K_{вс} = 0,9–1,0$ – массив слабовыветрелый, $K_{вс} = 1$ массив невыветрелый.

4. Гидрогеологические условия. Обводненность массивов влияет на состояние, в основном ухудшает физико-механические свойства, слагающих его грунтов, и способствует развитию в них различных геодинамических процессов (суффозия, оплывание, разжижение грунтов и т.п.). В таблице 3.9.2 приводится классификация массивов горных пород по степени водопроницаемости.

Т а б л и ц а 3.9.2

**Классификация массивов горных пород
по степени водопроницаемости (СНиП 2.02-85)**

Типы массивов	Коэффициент фильтрации	Удельное водопоглощение, л/мин·м ²
Практически водонепроницаемые	< 0,005	< 0,01
Слабоводопроницаемые	0,005–0,3	0,01–0,1
Водопроницаемые	0,3–3,0	0,1–1
Сильноводопроницаемые	3–30	1–10
Очень сильноводопроницаемые	> 30	> 10

5. Напряженное состояние массивов. Наличие тектонических вертикальных и горизонтальных напряжений, сил гравитации, локальных напряжений в связи с близостью тектонических нарушений и наличием геологических структур, играющих роль несущих конструкций. Нельзя исключать влияние окружающей геологической среды. Оно проявляется через геолого-структурное положение горных пород в массиве, сказывается в характере общей структурной и физической неоднородности массива, наличии прочных, жестких или пластичных вмещающих горных пород в окружающих структурах.

6. Геотермическое положение массивов. Длительное пребывание массивов в условиях положительных или отрицательных температур формирует в них определенное состояние и физико-механические свойства грунтов.

7. Газонасыщенность массивов. Природный газ (метан) встречается в массивах, сложенных угленосными горными породами, в угольных месторождениях и бассейнах, в соленых горных породах (углекислый газ и др.). Встречаются газонасыщенные горизонты в массивах криогенных грунтов. Наличие газов влияет на инженерно-геологические свойства массивов и всегда должно учитываться при ведении горных работ, свя-

занных с разработкой месторождений полезных ископаемых, строительством подземных сооружений и т.п. Критерии оценки степени газовой опасности грунтов приведены в табл. 3.9.3.

Таблица 3.9.3

Оценка газогеохимической опасности грунтов (СП 47.13330, 2012)

Степень газохимической опасности грунтов	Объемная доля компонента, %			
	CH ₄	CO ₂	H ₂	O ₂
Безопасные	0,01–0,1	1,0–5,0	< 0,1	> 18,0
Потенциально опасные	0,1–1,0	1,0–5,0	< 1,0	< 18,0
Опасные	> 1,0	> 5,0	> 1,0	< 18,0
Пожаро- и взрывоопасные	> 5,0	n · 10	> 4,0	< 18,0

Результаты газогеохимического районирования, полученные в ходе инженерно-геологических изысканий, используются при решении вопросов рационального использования территорий под застройку с проведением необходимых мероприятий по биогазовой защите зданий и сооружений, а также в случаях вторичного использования грунтов, извлекаемых на дневную поверхность в процессе строительства.

4. ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДИНАМИКИ

4.1. Общие положения

Инженерная геодинамика является самостоятельным разделом, или научным направлением, инженерной геологии. Она изучает: 1) природные геологические процессы – эндогенные и экзогенные; 2) инженерно-геологические процессы, вызванные хозяйственной деятельностью человека и взаимодействием инженерных сооружений с геологической средой; 3) горно-геологические явления, возникающие при производстве горных работ и разработке месторождений полезных ископаемых.

Геологические процессы и явления влияют на размещение и условия строительства сооружений и коммуникаций, их устойчивость, надежность, долговечность, эксплуатацию. Изучение геологических процессов и явлений имеет значение для выявления закономерностей их развития, распространения, прогнозирования, количественной оценки, для разработки мер по охране окружающей среды и рациональному использованию недр.

Инженерная геодинамика использует следующие методы исследований: 1) непосредственное наблюдение за геологическими процессами и явлениями; 2) реконструкция геологической истории района, связанной с

развитием геодинамических процессов; 3) периодические повторные инженерно-геологические съемки геодинамического состояния территории; 4) стационарные маркшейдерские наблюдения с точной инструментальной привязкой динамики геологических процессов (с помощью сети реперов и фиксации их координат); 5) моделирование геологических процессов в лабораториях и естественных условиях; 6) вероятностно-статистический метод прогнозирования геологических процессов и их корреляцию с другими процессами в геологической истории; 7) расчетно-теоретический метод прогнозирования явлений; 8) использование новейших высокочувствительных регистрационных приборов, фиксирующих различные параметры изменения геологической среды.

4.2. Эндогенные процессы

Эндогенные геологические процессы. Эндогенные процессы обусловлены внутренней энергией Земли и происходят внутри планеты. Среди них выделяются тектонические, магматические, метаморфические, геотермические и некоторые другие. С тектоническими процессами, которые выражаются в колебательных вертикальных и горизонтальных движениях земной коры, связаны сейсмические явления и землетрясения. Они вызывают на поверхности Земли трещины, разрывы, дислокации, раздробление горных пород, а также кратковременные разной интенсивности вибрационно-динамические нагрузки на строительные объекты. Происходят длительные медленные поднятия или опускания участков суши. Сейсмические явления имеют катастрофический характер, охватывают площади в сотни тысяч квадратных километров, а амплитуды колебаний физической поверхности достигают 20 м.

Эндогенные геологические процессы относятся к неуправляемым со стороны человека. Поэтому отношение к ним основано на изучении их распространения, прогнозировании, количественных оценках. Составляются карты сейсмического районирования разных масштабов, вулканической деятельности; ведутся стационарные наблюдения за действующими вулканами. Составляются схемы тепловых потоков Земли, которые имеют значение для оценки горно-геологических явлений и хозяйственного освоения глубинного тепла. Строительные объекты и технологические схемы приспособляются к воздействию эндогенных процессов (пример: антисейсмические здания и т.д.).

Эндогенные инженерно-геологические процессы. Деятельностью человека могут быть вызваны эндогенные инженерно-геологические процессы. К ним относятся:

1. Сейсмические явления, вызванные взрывами при создании выемок, плотин, подземных коммуникаций. Особое место среди них по масштабам и последствиям занимают ядерные взрывы на специальных испытательных полигонах.

2. Землетрясения, деформации горных пород, обрушения и другие в связи с созданием водохранилищ, длительными откачками подземных вод, добычей полезных ископаемых, изменением гидрогеологического режима участков в ходе строительства, крупномасштабными земляными работами.

4.3. Экзогенные процессы

4.3.1. Выветривание

Общая классификация экзогенных геологических процессов представлена в табл. 4.3.1.1.

Таблица 4.3.1.1

Общая классификация экзогенных геологических процессов

Класс	Подкласс	Тип
Связанные с действием климатических и биологических факторов	Выветривание	Физическое, химическое, биологическое
Связанные с действием силы тяжести	Движение без потери контакта со склоном	Оползни, лавины
	Движение с потерей контакта со склоном	Обвалы, осыпи
Связанные с действием поверхностных вод	Воздействие морей, озер и водохранилищ	Вдоль береговой линии абразия; перенос наносов
	Воздействие водотоков	Склоновый смыв, эрозия, сели
Связанные с действием подземных вод	Выщелачивание (химическое)	Карст
	Механический вынос, понижение уровня грунтовых вод, подъем уровня грунтовых вод	Суффозия, оседание поверхности
	Ослабление связей между частицами грунта	Заболачивание, просадка
Связанные с действием ветра	–	Дефляция, коррозия
Связанные с промерзанием и оттаиванием горных пород	Промерзание	Пучение, растрескивание, наледи
	Колебание температуры с переходом через 0°C	Курумы
	Оттаивание	Термокарст, термоэрозия, термоабразия, солифлюкция

Выветривание – совокупность физических, физико-химических и биохимических процессов разрушения горных пород верхней части земной коры под влиянием климата, подземных и поверхностных вод, деятельности организмов и техногенных факторов. Выветривание – один из масштабных природных геологических процессов, оказывающих огромное влияние на инженерную и хозяйственную деятельность человека. Оно изменяет состав, сложение, состояние и свойства горных пород, снижает их прочность, увеличивает деформируемость, размываемость, меняются фильтрационные свойства. Выветривание вызывает ряд новых геодинамических процессов и явлений – эрозию, оползни, обвалы, сели, карсты и другие; оно влияет на устойчивость откосов, бортов карьеров, оснований фундаментов.

Выветривание начинается с разгрузки напряжений в массивах горных пород в результате расчленения их природными процессами – эрозионными, карстовыми и другими или под влиянием заложения выемок, подземных коммуникаций, взрывных работ. Разгрузка напряжений сопровождается микродеформациями. Происходит разуплотнение горных пород.

Выделяются следующие виды выветривания: физическое, химическое и биологическое.

Физическое выветривание выражается в механическом разрушении горных пород без существенного изменения их минерального состава. Главный фактор выветривания – колебания температур. С участием воды процесс получил название *морозное выветривание*. Физическое выветривание горных пород преобладает в районах с резко континентальным климатом.

Химическое выветривание сопровождается изменением химического состава горных пород. Главные факторы выветривания – вода, кислород, углекислота и органические кислоты. Процесс активно протекает в районах с теплым и влажным климатом.

Биологическое (органическое) выветривание связано с разрушительным воздействием на горные породы живых организмов и растений. Результатом конечного биологического (органического) выветривания являются почвы. Данный вид выветривания проявляется повсеместно на земной поверхности, покрытой растительностью.

В результате выветривания образуются коры выветривания. Среди них выделяются геологические типы на основе тектонического положения (платформенные, геосинклинальные и др.) и по времени образования (палеозойские, мезозойские, современные и др.), а также по преобладающему минеральному составу (латеритная, карбонатная и другие).

В разрезе коры выветривания выделяются сверху вниз три зоны:

1. Дисперсная. Имеет состав: вторичные минералы, глинистые продукты. Они легко размываются и оползают.

2. Обломочная. Имеет сложное строение. В ее составе – продукты физической дезинтеграции и частичного химического разложения горных пород. В ней активно развиваются процессы эрозии, осыпания и др.

3. Трещинная. Строение зависит от степени развития трещиноватости, наличия тектонических зон и гидрогеологического режима.

Строение кор выветривания зависит также от геоморфологических элементов местности, на которых они развиваются (водоразделы, склоны, террасы и т.д.).

В инженерной геологии при изучении процессов и продуктов выветривания решаются следующие задачи: 1) определение строения и закономерностей распространения зон и горизонтов выветривания горных пород; 2) оценка скоростей процессов выветривания и сноса продуктов разрушения, а также изменения состояния и свойств горных пород во времени; 3) разработка региональных схем расчленения кор выветривания с оценкой физико-механических и фильтрационных свойств горных пород; 4) связь оползней, обвалов и других явлений с зонами выветривания; 5) оценка устойчивости выветрелых горных пород в откосах; 6) определение глубины съема выветрелых горных пород в основаниях сооружений; 7) выбор методов технической мелиорации для улучшения свойств выветрелых горных пород; 8) использование выветрелых горных пород в качестве стройматериалов, в земляных сооружениях, противofiltrационных экранах; 9) выбор методов разработки выветрелых горных пород в котлованах и карьерах.

Примеры скоростей выветривания некоторых типов горных пород: глинистые горные породы – 0,02 до 1 м/год, осадочные цементированные горные породы – 0,05–0,12 м/год.

Инженерная и хозяйственная деятельность человека в большинстве случаев усиливают процессы выветривания.

Методы борьбы с выветриванием горных пород: 1) устройство защитных покрытий из рыхлых природных материалов или бетона; 2) обработка горных пород жидким стеклом или смолами; 3) нейтрализация агентов выветривания введением в горные породы минеральных солей; 4) планировка территорий, осушение горных пород разными методами; 5) агролеосмелиорация склонов.

4.3.2. Гравитационные склоновые процессы

Оползни – это скользящие смещения на склонах блоков горных пород под действием собственного веса и влиянием гидродинамических, сейсмических и других факторов. Методы борьбы с оползнями: организация поверхностного стока, осушение участков развития оползней дренажными системами, ограничение строительства, закрепление грунтов травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, техническая мелиорация, запрещение взрывных работ, ограничение скоростей движения транспорта, планировка склонов, возведение удерживающих устройств – набивных свай, стен, банкетов, организация стационарных противоположных наблюдений, изучение и оценка устойчивости склонов.

Обвалы – это отделение блоков горных пород вдоль крутых обрывистых склонов и их последующее обрушение и скатывание. Обвалы вызывают катастрофическое обрушение миллионов и миллиардов кубометров горных пород. Борьба с обвалами: прогнозирование обвалоопасных склонов, искусственное обрушение неустойчивых глыб и участков, цементирование трещин, закрепление склонов железными скрепами, возведение стенок, улавливающих рвов и траншей.

Осыпи – это накопления, образующиеся при скатывании со склонов обломков горных пород различного размера. При накоплении материала осыпи могут многократно переходить в подвижное состояние. Меры предупреждения осыпей: планировка и расчистка склонов, закрепление их подпорными стенками, устройство козырьков (или сеток), галерей и тоннелей.

Некоторые исследователи относят к гравитационным склоновым процессам сели и снежные лавины. Однако необходимо отметить, что механизм образования селей связан с деятельностью поверхностных вод и процессами склоновой эрозии, а снежные лавины – это особые явления в атмосфере сезонного проявления, связанные с климатом, и вряд ли их можно относить к геологическим процессам (геологический процесс начинается тогда, когда в снежные лавины вовлекаются горные породы).

4.3.3. Экзогенные процессы, связанные с деятельностью поверхностных вод

Размывание – это механическое разрушение и снос частиц несвязных грунтов, слагающих дневную поверхность, временными водотоками. Связные скальные грунты относятся к трудноразмываемым горным породам. Процесс размывания получил различные названия – плоскостная

эрозия, склоновая эрозия и др. В результате размывания происходит сглаживание рельефа, возникновение новых его форм, образуются промоины, рытвины, овраги, накапливаются наносы делювия и пролювия. Размывание способствует развитию таких явлений как оползни, обвалы и другие. Формируются каменно-грязевые потоки – сели. Процессы размывания широкомасштабны и затрудняют инженерную и хозяйственную деятельность человека, и человек непродуманной деятельностью может активизировать эти процессы.

Методы борьбы с размыванием можно объединить в несколько групп: 1) создание систем водоотводов; 2) закрепление склонов дерном и растительностью; 3) возведение инженерных сооружений – стен, барьеров и т.д.; 4) техническая мелиорация грунтов; 5) работы по планировке дневной поверхности; 6) организация специальных противоселевых и других служб. Необходимо также систематически проводить работы по прогнозированию отрицательных явлений в связи с размыванием горных пород и разрабатывать рекомендации по их предотвращению.

Селевые потоки – это временные потоки в горных районах, насыщенные твердым материалом от 50 до 1000 кг/м³. Твердая фаза может превышать 50% объема селевой массы. Объемная масса селя достигает 1,5–2 т/м³. Факторы, способствующие селеобразованию: 1) климат с резким перепадом температур и резкой сменой засушливых периодов и ливневых дождей; 2) наличие ледников; 3) расчлененный горный рельеф с крутыми склонами; 4) широкое развитие легкоразмываемых горных пород. В зависимости от количества и гранулометрического состава твердой фазы выделяются водно-каменные и грязекаменные сели. Высота их составляет 10–15 м, а скорость движения от 6–8 до 10–12 м/с. Характерна повторяемость образования селей через 2–4 года, а катастрофических – через 10–15 лет. Сели наносят большой ущерб. Они повреждают инженерные сооружения, дороги, мосты, уничтожают сельхозугодья и населенные пункты. Активными селевыми районами являются Забайкалье, Камчатка, Средняя Азия, Кавказ и Карпаты.

Методы борьбы с селями: 1) запрещение на склонах вырубки лесов, выпаса скота, создания отвалов и терриконов; 2) строительство специальных гидротехнических сооружений – запруд, направляющих дамб, стен и т.д.; 3) укрепление русел рек и дополнительные лесопосадки; 4) регуляция стока гляциальных озер и др.

Русловые процессы связаны с геологической деятельностью рек. Они выражаются в донной и боковой эрозии, процессах аккумуляции. В результате этих процессов разрушается дно водотоков, происходит подмыв берегов, меняется строение речных долин, формируются новые элементы

рельефа, образуются аллювиальные отложения. Для защиты берегов от разрушения выполняются работы по укреплению береговых склонов, сохранению пляжей, регуляции стока (т.е. возводятся сооружения с целью изменения направления течения, уклонов, скоростей и расхода воды). Организуются стационарные режимные наблюдения для прогнозирования аварийного состояния берегов и прилегающих территорий, имеющих инженерные сооружения.

Процессы абразии и сопутствующие аккумулятивные процессы связаны с волноприбойной деятельностью вдоль береговой зоны Мирового океана, внутренних морей, озер и водохранилищ. В результате происходит переработка береговой линии континентов – разрушение берегов и пляжей. Процессы абразии сопровождаются оползнями, обвалами, осыпаниями. Развивается заболачивание территорий, прилегающих к водохранилищам и пр. Методы борьбы с абразией: 1) возведение защитных инженерных сооружений – волноотбойных и подпорных стен, волноломов, молов, буннов, каменных набросков, тетраподов и т.д.; 2) отсыпка искусственных береговых подушек, гасящих волны (т.е. создание искусственных пляжей); 3) сохранение по возможности сложившегося природного равновесия между морем и сушей; 4) сохранение естественных пляжей (нельзя отложения пляжей использовать для строительных целей, пример: драмы черноморских пляжей); 5) проектирование портовых и береговых сооружений с учетом развития процессов абразии.

В последнее время в береговой зоне Мирового океана активизировалась инженерно-геологическая деятельность в связи с активным освоением минеральных ресурсов шельфа, которая должна сопровождаться программами мероприятий по предупреждению развития негативных инженерно-геологических процессов и явлений.

4.3.4. Экзогенные процессы, связанные с деятельностью подземных вод

Среди экзогенных процессов, вызванных деятельностью подземных и частично поверхностных вод, выделяются:

Карст – это характерные формы подземного и поверхностного рельефа – пещеры, каверны, воронки, борозды, канавы и другие, возникшие в результате растворения горных пород под влиянием, главным образом, подземных и в меньшей мере поверхностных вод. Особенно широко развит карст в карбонатных толщах. При инженерно-геологических изысканиях выделяются территории по степени устойчивости в зависимости от развития карста. Противокарстовые мероприятия: 1) регуляция поверх-

ностного и подземного стока с применением противofильтрационных завес; 2) искусственное уплотнение и укрепление горных пород; 3) устройство свай глубокого заложения для укрепления оснований фундаментов; 4) уменьшение веса сооружений, ограничение этажности зданий, регулировка плотности застройки территорий.

Суффозия – это механический размыв горных пород под действием фильтрации подземных вод. Отрицательное влияние суффозии проявляется в изменении водных свойств горных пород, нарушении работы дренажных систем, деформации оснований фундаментов. Для предупреждения подземного размыва грунтов применяются: 1) комплекс мероприятий по уменьшению скоростей подземных потоков (фильтрационные завесы и др.); 2) устройство дренажных водопонижающих систем; 3) изменение свойств грунтов методами технической мелиорации.

Плывуны – это водонасыщенные тонкодисперсные грунты, легко переходящие в движение под влиянием нарушений условий залегания или вибрационных нагрузок. Они имеют песчано-алеврито-глинистый состав с примесью органических веществ. Плывуны затапливают котлованы, горные выработки и другие сооружения. Меры борьбы с плывунами: закрепление грунтов методами технической мелиорации, устройство систем водопонижения, водонепроницаемых перемычек, мерзлотных завес, шпунтовых стен, замораживание самих плывунов.

Заболачивание территорий развивается на пониженных или ровных участках рельефа с избыточным увлажнением, слабым поверхностным стоком и определенным гидрогеологическим режимом (высокий уровень грунтовых вод). Особо отрицательным воздействием хозяйственной деятельности человека на окружающую среду является нарушение гидрогеологического режима, в результате чего происходит подтопление территорий среды обитания с последующим заболачиванием. Эти негативные процессы развиваются в черте городов и населенных пунктов, районах гидротехнических сооружений (в том числе водохранилищ), связаны с неправильно проводимой мелиорации, поливном земледелии и т.д. (примеры: трагедия Каракалпакии, гибель Арала).

В бывшем СССР болота и заболоченные участки составляли около 10% от общей площади. Самое крупное болото – Васюганское в Томской области, его площадь – 50 000 км². Болота содержат около 60% всех запасов торфа. В составе болотных отложений отмечаются растительные остатки, торф, сапропель, заторфованный и сапропелевый ил, рыхлые песчано-глинистые осадки. Они характеризуются низкой прочностью, высокой сжимаемостью, не могут служить основаниями сооружений, осложняют освоение территорий.

Меры по ограничению (но не борьба до полной победы) отрицательного влияния болот: 1) осушение с помощью различных дренажных систем (обычно это сеть канав); 2) уменьшение площади болот искусственными намывными и насыпными грунтами; 3) отвод вод, питающих болота, и снижение уровня грунтовых вод; 4) предотвращение утечек воды из водопроводов и различных коллекторов; 5) комплексное применение (например, параллельно с осушением) методов технической мелиорации для улучшения свойств грунтов; 6) разработка оптимального промышленно-техногенного круговорота воды без его вредного воздействия на круговорот воды в природе (вопрос этот выходит за пределы мер борьбы с заболачиванием и становится глобальной проблемой мировой экологии).

При решении задач, связанных с изучением болот, и ведении инженерно-геологических изысканий заболоченных территорий необходимо руководствоваться указаниями «Строительных норм и правил» и другими нормативными документами.

4.3.5. Экзогенные процессы, вызванные деятельностью атмосферы (эоловые процессы)

Эоловые процессы связаны с разрушительной работой ветра. Среди них выделяются:

Дефляция (выдувание горных пород) – это процесс отрыва и выноса ветром мелких частиц грунта с поверхности массива. Основной метод борьбы с дефляцией: создание лесозащитных полос, укрепление поверхности массивов растительным и травяно-кустарниковым покровом.

Корразия – это разрушение поверхности грунта песчано-ветровыми струями. Препятствием процессу корразии является растительный покров.

Эоловая аккумуляция – выражается в миграции под влиянием ветра и в результате накопления крупных масс песков и других тонких осадков, в формировании дюнного и барханного рельефа. Методы борьбы: закрепление массивов песков растительностью, битумной эмульсией или другими средствами технической мелиорации, возведение многорядных щитовых барьеров.

В результате эоловой аккумуляции формируются лессовые грунты. Их характерные особенности: состав – алевритовые или пылеватые частицы – 52–86%, глинистые частицы – 11–30%, песчаная фракция – от 1 до 30%, пористость – 40–55%, влажность – 3–10%, высокая просадочность, т.е. способность уплотняться при обводнении и под действием статических и динамических нагрузок; низкая прочность, легкая размы-

ваемость. Возведение сооружений на лессовых грунтах обеспечивается следующими мероприятиями: 1) предварительным уплотнением лессового грунта и укреплением его методами технической мелиорации; 2) защитой грунта от обводненности; 3) использованием специальных типов фундаментов – свайных, до глубины устойчивости грунтов и др.; 4) использованием в сооружениях конструкций, малочувствительных к неравномерным просадкам оснований фундаментов.

4.3.6. Мерзлотно-динамические процессы

Развитие мерзлотно-динамических процессов обусловлено влиянием климата. Они осложняют условия строительства, устойчивость и эксплуатацию сооружений. Среди них выделяются:

Морозное пучение – это процесс увеличения объема грунта, связанный с расширением находящейся в нем воды при замерзании и выделением льда. Общее увеличение объема горных пород может достигать 11%. Процесс протекает активно в рыхлых тонкодисперсных водонасыщенных грунтах. В результате на поверхности земли образуются бугры пучения высотой от 0,2–0,5 до 4–8 и 25–30 м. Они деформируют дороги, аэродромы, вымораживают столбы, наносят ущерб сооружениям. Основной метод борьбы с пучением: осушение, меры по уменьшению глубины сезонного промерзания грунтов, заложение фундаментов сооружений на глубину промерзания горных пород и др.

Наледи – это скопления льда на поверхности земли в результате замерзания многократно изливающихся поверхностных (речных) или подземных вод. Источники воды могут быть искусственными (откачки производственных вод, неисправности коммунальных водопроводов и др.). Форма и размеры наледей – самые разнообразные. Так, Большая Мамская наледь в Якутии достигает площади 80 км², а объем льда в ней – около 200 млн м³. Наледи нарушают условия эксплуатации сооружений, создают аварийные обстановки, блокируют трассы дорог и системы регулируемого стока, вызывают обводнение и затопление территорий, выводят из строя различные здания и гидротехнические объекты. Методы борьбы с наледями связаны с защитой от их вредного воздействия и предупреждением их образования.

Термокарст – это вытаивание подземных льдов с последующим проседанием дневной поверхности и возникновением отрицательных форм рельефа. Причины их возникновения – нарушения температурного режима в верхних приповерхностных горизонтах горных пород. Термокарстовые явления развиты широко и представляют угрозу для сооружений.

Известны многочисленные случаи просадки фундаментов и возникновения аварийных ситуаций со зданиями в Магадане, Норильске, в Воркутинском районе. Методы борьбы с термокарстовыми явлениями: прогнозирование их появлений и предупреждение их развития различными способами.

Солифлюкция – это течение по склонам оттаявшего переувлажненного высокопластичного грунта. Развивается локально, может носить катастрофический характер. Меры предупреждения – закрепление склонов растительностью.

Курумы – это «каменные реки» в горных речных долинах и у подошвы склонов, сложенные крупными глыбами горных пород (часто магматических). Скопления глыб нередко занимают большие площади, а мощность накоплений может достигать 15 м. Курумы могут перемещаться вниз по склону со скоростью до десятков сантиметров в год. Методы борьбы с курумами: отвод поверхностных вод нагорными канавами, использование взрывных работ.

4.3.7. Экзогенные инженерно-геологические (антропогенные) процессы

К экзогенным инженерно-геологическим, или антропогенным, процессам относятся: 1) осадки, смещения и деформации скальных и рыхлых горных пород под воздействием сооружений; 2) просадки лессовых горных пород под влиянием увлажнения и нагрузок от сооружений; 3) оползневые явления; 4) деформации горных пород, вызванные изменением гидрогеологических условий, под влиянием выщелачивания, суффозии и развития карста; 5) пльвинные явления; 6) деформации массивов горных пород под влиянием горного давления (при подземной разработке месторождений полезных ископаемых); процесс является переходным к эндогенным; 7) размыв берегов водохранилищ; 8) выветривание под влиянием воздействия сооружений и инженерных работ и др.

5. ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

5.1. Общие положения

Региональная инженерная геология изучает закономерности формирования и географическую распространенность инженерно-геоло-

гических условий территорий или структурных зон верхней части земной коры. Инженерно-геологические условия территории – это совокупность, прежде всего, геологических факторов, определяющих возможности ее инженерно-хозяйственного освоения. К ним относятся: геологическое строение, состав и свойства массивов горных пород, рельеф территории, гидрогеологический режим, геокриологические условия, геологические процессы и явления. Дополнительными факторами являются климатические особенности территории, а в освоенных районах – характер техногенных воздействий.

Теоретические основы современной региональной инженерной геологии разработаны В.Т. Трофимовым (2007) и Т.И. Аверкиной. В.Т. Трофимовым сформулирован основной закон региональной инженерной геологии (закон И.В. Попова): «Современные особенности инженерно-геологических структур Земли определяются историей их геологического развития, современным пространственным положением, контролирующим тектонический режим и характер тепло-и влагообеспеченности, а на освоенных территориях – и характером техногенных воздействий» (2007, с. 57). Основными методами региональной инженерной геологии считаются (Трофимов, 2007): инженерно-геологическое картирование, инженерно-геологическая типизация, инженерно-геологическое районирование, региональное инженерно-геологическое прогнозирование и региональный инженерно-геологический мониторинг. Формирование инженерно-геологических условий территорий определяется тремя факторами: 1) региональными геологическими; 2) зональными; 3) техногенными.

Региональные геологические факторы формирования инженерно-геологических условий – это совокупность геологических процессов, реализованных в ходе геологической истории территории, и ее современное тектоническое развитие. Решающую роль здесь играют типы тектонических структур, которые определяют набор геологических формаций, особенности пликативной и разрывной тектоники, развитие неотектоники и последующих современных геологических процессов. От геологического строения и тектоники территории зависят и ее геоморфологические особенности.

Зональные факторы – это экзогенно обусловленные климатические особенности территории, прежде всего, температурный режим и влажность горных пород и их соотношение, которые определяют тепловой баланс земной поверхности, состояние, в том числе криогенное, горных пород, их свойства, химический состав грунтовых вод, характер и интенсивность экзогенных геологических процессов (выветривание, эрозионные, склоновые, эоловые, мерзлотные процессы и др.).

Техногенные факторы воздействуют на все компоненты естественно сложившихся (под влиянием двух предыдущих факторов) инженерно-геологических условий на освоенных территориях (геологическое строение, свойства грунтов, рельеф, поверхностные и подземные воды, геокриологическая обстановка и др.). Под влиянием техногенных изменений возникают новые инженерно-геологические процессы. Техногенные факторы, воздействующие на геологическую среду, весьма многочисленны и разнообразны (табл. 5.1.1).

Таблица 5.1.1

Классификация техногенных воздействий на геологическую среду
(Трофимов, 2007, с. 40–43)

Класс воздействий	Подкласс воздействий	Тип воздействия	Вид воздействия	Потенциальные источники воздействия
Физическое	Механическое	Уплотнение	Статическое (гравитационное) виброуплотнение, укатывание, трамбование, взрывоуплотнение	Здания, сооружения, вибромеханизмы, автотранспорт, катки, метрополитен, взрывы
		Разуплотнение	Статическая разгрузка. Динамическая разгрузка	Шахты, полости. Котлованы, взрывы
		Внутреннее разрушение массивов	Бурение, дробление, фрезерование, откалывание, рытье, экскавация, взрывное разрушение, распахивание, культивация	Буровые скважины, горные комбайны, горные выработки, карьеры, разрезы, шахты, штольни, взрывы, агротехническая деятельность
		Аккумуляция рельефа	Отсыпка терриконов, отвалообразование, создание насыпей и дамб	Шахты, рудники, ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС, комбинаты, строительство
		Планировка рельефа	Строительная и дорожная планировка, рекультивация, террасирование склонов	Строительство, объекты рекультивации и мелиорации
		Эрозия рельефа	Формирование выемок; рытье каналов, котлованов, разрезов; подрезка склонов, образование мульд проседания и опускания	Карьеры, разрезы, котлованы, каналы, дорожное строительство, шахты, рудники
	Гидромеханическое	Гидроаккумуляция рельефа	Гидронамыв дамб, плотин; намыв золоотвалов, насыпей и массивов	Строительство, ТЭЦ, ТЭС, хвостохранилища, шламоуловители
		Гидроэрозия рельефа	Гидроразмыв массивов, просадочно-суффозионное воздействие	Карьеры, разрезы, драги, водозаборы, подземное выщелачивание

Класс воздействий	Подкласс воздействий	Тип воздействия	Вид воздействия	Потенциальные источники воздействия	
Физическое	Гидродинамическое	Повышение напора	Нагнетание, инъекция, подтопление, орошение	Закачки, сбросы, утечки, промстоки, сельскохозяйственные поливы, гидромелиорация	
		Снижение напора	Откачки, дренирование, осушение	Водозаборы, объекты мелиорации	
	Термическое	Нагревание	Кондуктивное (до 1°C), конвективное (до 1°C), обжиг (более 1°C), плавление, термическое, биохимическое упрочнение	Домны, ТЭЦ, АЭС, ТЭС, ГРЭС, горячие цеха, подземная выплавка серы, газификация углей, объекты технической мелиорации, полигоны ТБО	
		Охлаждение	Кондуктивное, конвективное замораживание	Холодильники, закачки растворов, объекты технической мелиорации	
	Электромагнитное	Стихийное	Наводка электрических полей	ЛЭП, линии железных дорог, метрополитена, трамваев, троллейбусов	
		Целенаправленное	Электрообработка, электроосмос, электролиз, электросиликатизация	Объекты технической мелиорации	
	Радиационное	Загрязнение	Короткоживущее и долгоживущее радионуклидное	Ядерные взрывы, выбросы АЭС, склады радиоактивных веществ, АЭС, заводы по переработке радиоактивных веществ	
		Очистка	Дезактивация химическая, электрохимическая, биологическая, механическая	Объекты дезактивации и реабилитации	
	Физико-химическое		Гидратное	Капиллярная конденсация, дегидратация (сушка)	Асфальтовые покрытия, дренажные системы
			Кальматирование	Физическое, физико-химическое	Объекты технической мелиорации
Выщелачивание			Прямое, диффузное	Объекты выщелачивания	
Ионно-обменное			Солонцевание, собственно ионно-обменное	Мелиорация земель	

Класс воздействий	Под-класс воздействий	Тип воздействия	Вид воздействия	Потенциальные источники воздействия
Химическое		Загрязнение	Фенольное, хлорфенольное, нитратное, пестицидное, гербицидное, тяжелыми металлами, углеводородное, кислотное, щелочное, засоление	Химфабрики, фермы, животноводство, склады отходов, с/х деятельность, транспорт, выбросы, АЗС, нефтехранилища, кислотные дожди, предприятия, стоки, внесение удобрений
		Очистка	Нейтрализация, рассоление, разбавление	Мелиорация земель
		Закрепление массивов	Цементация, силикатизация, битумизация, смолизация, известкование и др.	Объекты технической мелиорации
Биологическое		Загрязнение	Бактериологическое, микробиологическое	Свалки ТБО, с/х фермы, склады, силосные ямы, канализация
		Очистка	Стерилизация	Объекты очистки

В результате анализа региональных, геологических зональных и других факторов сформулировано понятие «инженерно-геологическая зона» – это крупная часть инженерно-геологического региона или провинции, в пределах которой современное состояние горных пород обусловлено, главным образом, особенностями фазового состояния воды в них, а инженерно-геологические условия однотипны и регионально выдержаны. В настоящее время выделяются три типа инженерно-геологических зон (Трофимов, 2007): 1) зона практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород (приурочена к высоким широтам Земли); 2) зона совместного распространения многолетнемерзлых и талых пород (расположена на севере умеренного пояса); 3) зона распространения талых и немерзлых пород (занимает большую часть площади континентов). В.Т. Трофимовым выведен закон зональности инженерно-геологических условий: «Зональное изменение инженерно-геологических условий континентов Земли выражается в их закономерной горизонтальной и вертикальной (высотной) трансформации и определяется современной тепло- и влагообеспеченностью и их соотношением между собой» (2007, с. 76).

Системный анализ по обобщению региональных геологических и зональных факторов, полученных в результате инженерно-геологических съемок, позволяет выделять типы инженерно-геологических условий тер-

риторий. *Типизация инженерно-геологических условий* – это выделение участков и отдельных частей, которые определяют тип региона с общими и существенными признаками инженерно-геологических условий. Решение этой задачи является первым (более ранним) этапом последующего районирования, в результате которого определяются территории, обладающие какими-либо общими инженерно-геологическими признаками.

Результатом анализа региональных геологических факторов на формационной основе стало введение понятия «инженерно-геологическая формация». По Т.В. Трофимову, «инженерно-геологическая формация – это полипородное многокомпонентное геологическое тело, включающее взаимодействующие твердую, жидкую и газообразную составляющие, а) объединяющее парагенетически связанные геологические тела меньшего объема, сформировавшиеся в определенной тектонической и климатической обстановках, б) претерпевшие впоследствии в ходе геологической истории воздействие одних и тех же геологических процессов и в) находящиеся в настоящее время в однотипном и регионально выдержанном состоянии, обусловленном фазовым состоянием и количеством жидкого компонента в нем» (2007, с. 107). Примеры классифицирования инженерно-геологических формаций имеются в различных литературных источниках.

В региональной инженерной геологии используется понятие «грунтовая толща». Под грунтовой толщей понимается комплекс горных пород и почв верхней части от дневной поверхности разреза отложений, находящихся в зоне влияния инженерных сооружений. Верхней границей грунтовой толщи является физическая поверхность инженерно-геологического массива; латеральная граница определяется размером зон влияния инженерных сооружений, соизмеримых с размерами самих сооружений, а глубина грунтовых толщ при массовой наземной застройке территорий ограничивается часто 10 м. Примеры систематизации, или классификации, грунтовых толщ изложены в работах различных авторов.

5.2. Инженерно-геологические структуры

Инженерно-геологические структуры – новое понятие в региональной инженерной геологии: «Это закономерно организованные объемы или части литосферы, сформированные под влиянием определенных региональных и зональных геологических факторов и однородные по каким-либо (заранее определенным) инженерно-геологическим параметром» (Трофимов, 2007, с. 120). В.Т. Трофимов и Т.И. Аверкина выделяют: 1) *инженерно-геологическую суперструктуру* (структура первого уров-

ня) – часть литосферы, однородную по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены типом глубинного строения земной коры и водно-воздушными условиями поверхностной среды. Пример: континентальная субаэральная или континентальная субаквальная инженерно-геологические структуры; 2) *инженерно-геологическую мегаструктуру* (структура второго уровня) – часть инженерно-геологической суперструктуры, однородную по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены типом строения современного мегарельефа и особенностями фазового состояния воды в горных породах. Пример: платформы с практически сплошным распространением многолетнемерзлых пород или орогены с распространением талых и немерзлых пород; 3) *инженерно-геологическую макроструктуру* (структура третьего уровня) – часть инженерно-геологической мегаструктуры, однородная по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены возрастом заложения тектонических структур и характером площадного развития горных пород разного состояния. Пример: древний ороген с распространением слабоувлажненных пород или молодая платформа с редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород; 4) *инженерно-геологическую мезоструктуру* (структура четвертого уровня) – часть инженерно-геологической макроструктуры, однородная по инженерно-геологическим параметрам, которые обусловлены геологическими особенностями верхней части разреза отложений и наличием (или отсутствием) сезонного промерзания (протаивания) горных пород этой части разреза. Пример: плита с сезонным промерзанием горных пород (грунтов) верхней части разреза или щит без сезонного промерзания горных пород (грунтов) верхней части разреза. Общая классификация инженерно-геологических структур при переходе на структуры с меньшим объемом и площадью имеет следующий вид: инженерно-геологические суперструктуры → инженерно-геологические мегаструктуры → инженерно-геологические макроструктуры → инженерно-геологические мезоструктуры → ... → формации (инженерно-геологические формации) → субформации (инженерно-геологические субформации) → геолого-генетический комплекс → монопородное геологическое тело первого уровня расчленения → монопородное геологическое тело второго уровня расчленения → монопородное геологическое тело третьего уровня расчленения.

В.Т. Трофимовым (2007) и Т.И. Аверкиной разработана классификация инженерно-геологических структур Земли. В основу классификации положены регионально-геологические ряды признаков и таксонов 1, 2, 3

и 4-го порядков и зонально-геологические ряды признаков и таксонов (геологические климатические структуры 1, 2, 3, 4-го порядков).

5.3. Природно-технические и литотехнические системы

Комплексный анализ региональных геологических и техногенных факторов определяет такие понятия, как природно-техническая система и литотехническая система. *Природно-техническая система* – это целостная упорядоченная в пространственно-временном отношении совокупность природных и техногенных элементов, функционирующих как единая система. *Литотехническая система* – это: 1) часть природно-технической системы, включающая объекты техносферы и взаимодействующую с ними верхнюю часть литосферы; 2) система инженерно-технических сооружений или объектов с частью геологической среды в зоне их непосредственного влияния.

По уровню организации В.Т. Трофимов (2007) и Т.И. Аверкина выделяют литотехнические системы: 1) *элементарные* – включают единичные сооружения с частью инженерно-геологического массива в зоне его влияния; 2) *локальные* – представляют комплекс элементарных литотехнических систем; 3) *региональные* – объединяют комплекс локальных литотехнических систем конкретного региона: а) градопромышленные – включают серии городов и промышленных комплексов с их инфраструктурой; б) горнотехнические – приурочены к районам разработки месторождений полезных ископаемых; в) нефтепромысловые – включают объекты нефтепромыслов и их инфраструктуру; г) гидромелиоративные – приурочены к районам искусственного орошения или осушения; 4) *глобальные* – объединяют комплекс региональных литотехнических систем.

5.4. Инженерно-геологическое районирование территорий

Инженерно-геологическое районирование – это выделение территорий с достаточно однородными или общими инженерно-геологическими признаками. Схема последовательности районирования была предложена И.В. Поповым: регион – область – район – подрайон. Общая схема последовательности районирования, основанная на системном учете региональных и зональных геологических факторов, представлена в следующем виде: регион – провинция – зона – подзона – область – район – подрайон – участок – элемент (Трофимов, 2007, с. 204).

Инженерно-геологические регионы выделяются по структурно-тектоническому признаку. В их геологическом строении участвуют несколько структурных этажей, каждый из которых сложен определенным набором

формаций. К инженерно-геологическим регионам 1-го порядка относятся тектонические структуры 1-го порядка, т.е. платформы и орогены. К инженерно-геологическим структурам 2-го порядка относятся тектонические структуры 2-го порядка (например, щиты, синеклизы и антеклизы на платформах). Выделяются инженерно-геологические регионы 3-го порядка.

Инженерно-геологические провинции выделяются в зависимости от типа горных пород, слагающих территорию регионов, например: провинция распространения горных пород с жесткими связями, без жестких связей и т.д. Возможно выделение **подпровинций**, – например: территория провинции сложена преимущественным распространением горных пород с жесткими связями, локально перекрытым маломощным чехлом дисперсных грунтов, или распространением горных пород с жесткими связями, перекрытыми горными породами без жестких связей и т.д.

Инженерно-геологические зоны и подзоны обособляются по характеру современного состояния горных пород верхней части разреза отложений. В.Т. Трофимов выделяет три типа инженерно-геологических зон, каждая из которых состоит из двух инженерно-геологических подзон: 1) практически сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород, подзоны: а) практически сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород; б) распространения ледников и многолетнемерзлых горных пород; 2) совместного распространения многолетнемерзлых и талых горных пород, подзоны: а) массивно-островного и островного распространения многолетнемерзлых горных пород; б) редко островного распространения многолетнемерзлых горных пород; 3) распространения талых и немерзлых горных пород, подзоны: а) развития сильноувлажненных горных пород; б) развития слабо- и умеренноувлажненных горных пород.

Инженерно-геологические области выделяются по геоморфологическим признакам. По геологическому строению они представлены одним структурным этажом, сложенным одной геологической формацией. Инженерно-геологические области могут быть 1, 2 и 3-го порядков.

Внутри инженерно-геологических областей выделяются инженерно-геологические районы, которые имеют однородное геологическое строение и сложены горными породами одного геолого-генетического комплекса. Если возникает необходимость, то внутри инженерно-геологического района выделяются инженерно-геологические подрайоны. Последние отличаются состоянием горных пород, развитием локальных геологических процессов и другими признаками. При крупномасштабном инженерно-геологическом картировании внутри подрайонов выделяются инженерно-геологические участки, в пределах которых могут выделяться инженерно-геологические элементы.

5.5. Региональное инженерно-геологическое прогнозирование

В современной региональной инженерной геологии важной задачей является разработка инженерно-геологических прогнозов. *Инженерно-геологические прогнозы* – это научно обоснованные предвидения пространственно-временных изменений природных и природно-технических литосистем или их компонентов. Классификация инженерно-геологических прогнозов дана в табл. 5.5.1.

Таблица 5.5.1

Классификация инженерно-геологических прогнозов (Трофимов, 2007)

Характер оценок	Отношение ко времени	Отношение к пространству	Охват инженерно-геологических условий
Качественные	Безотносительные ко времени	Локальные	Общие
			Частные
		Региональные	Общие
			Частные
		Глобальные	Общие
			Частные
	Бессрочные	Локальные	Общие
			Частные
		Региональные	Общие
			Частные
		Глобальные	Общие
			Частные
Срочные	Локальные	Общие	
		Частные	
	Региональные	Общие	
		Частные	
	Глобальные	Общие	
		Частные	
Количественные	Безотносительные ко времени	Локальные	Общие
			Частные
		Региональные	Общие
			Частные
		Глобальные	Общие
			Частные
	Срочные	Локальные	Общие
			Частные
		Региональные	Общие
			Частные
		Глобальные	Общие
			Частные

В соответствии с классификацией (табл. 5.5.1) инженерно-геологические прогнозы по характеру оценок делятся на качественные и количественные. В зависимости от времени прогнозы подразделяются на три категории: 1) *безотносительные ко времени* – качественные прогнозы механизмов каких-либо процессов (например: расчетные прогнозы осадок фундаментов, устойчивости склонов и т.п.); 2) *бессрочные* – качественные прогнозы, которые дают возможность предсказать тенденцию изменения во времени каких-либо составляющих инженерно-геологических условий или геологической среды в целом без количественной оценки (исключение составляют некоторые прогнозируемые параметры, которые могут выражаться в количественной форме, например: как изменится пораженность территории под влиянием тех или иных процессов и др.); 3) *срочные* – это качественные прогнозы, которые дают оценку изменений инженерно-геологических условий или их отдельных компонентов на заданный срок (например, расчет величины переработки берегов водоемов на 10 или 25 лет и др.).

В зависимости от размеров территорий инженерно-геологические прогнозы делятся на: 1) *локальные* – прогнозы оценивают только отдельные массивы или зоны влияния сооружений или групп сооружений; 2) *региональные* – прогнозы распространяются на некоторую территорию, ее границы определяются целевым назначением; 3) *глобальные* – прогнозы охватывают континенты.

Выделяются прогнозы: а) *общие* – дается прогнозируемая оценка инженерно-геологической обстановки района в целом с полным охватом инженерно-геологических условий; б) *частные* – оценка прогноза разделяется на отдельные составляющие инженерно-геологических условий.

Для разработки инженерно-геологических прогнозов используются следующие методы: 1) *природных (геологических) аналогий*: а) *сравнительно-геологический метод* даст качественные прогнозы, основан на экспертных оценках закономерностей эволюции инженерно-геологических условий территорий; б) *метод аналогий* основан на сравнительном анализе с выбранной хорошо изученной территорией со сходными инженерно-геологическими условиями; 2) *физического моделирования* – поведение геологических объектов изучается на физических моделях в натуральных условиях, в лабораториях или на опытных стендах; модели могут быть из естественных горных пород или искусственных материалов; 3) *математического моделирования* – используются динамические, структурные, вероятностные и комбинированные математические модели.

Качество инженерно-геологических прогнозов определяется их достоверностью. Дальнейшее повышение качества региональных инженер-

но-геологических прогнозов связано с совершенствованием методов прогнозирования и эффективного использования регионального инженерно-геологического мониторинга.

5.6. Региональный инженерно-геологический мониторинг и геоинформационные системы

Инженерно-геологический мониторинг (литомониторинг) – это система наблюдений, оценки, прогноза и управления состоянием природных и природно-технических литосистем (Трофимов, 2007). Структурная схема инженерно-геологического мониторинга (литомониторинга) состоит из следующих частей: 1) блок контроля. Его главная задача – контроль за состоянием геологической среды в природно-технических литосистемах, за строительством и работой защитных сооружений; 2) блок управления (связан с блоком контроля каналами связи через передачу информации), в функции которого включены: а) решение оптимизационных задач и выработка инженерно-геологических рекомендаций; б) осуществление инженерной защиты; 3) автоматизированная информационная система связана с блоком управления. Ее главные задачи: а) хранение и поиск режимной информации; б) целенаправленная ее обработка и оценка; в) выполнение перманентных прогнозов; г) решение оптимизационных задач; 4) система инженерной защиты с блоком управления.

Эффективность функционирования инженерно-геологического мониторинга может быть повышена за счет привлечения ГИС-технологий.

ГИС – географическая информационная система, которая базируется на современной многофункциональной компьютерной технологии картоирования и анализа пространственных объектов (сбор, хранение, анализ и моделирование информации). В современной региональной инженерной геологии на основе ГИС решаются следующие задачи (Трофимов, 2007): 1) справочно-информационные задачи; 2) подбор систем-аналогов; 3) типизация, классификация и районирование инженерно-геологических структур; 4) динамические задачи – оперативное отслеживание изменений состояния природных и природно-технических систем и их компонентов.

5.7. Инженерно-геологические особенности территории Российской Федерации и сопредельных регионов

В материале, приведенном ниже, в очень краткой форме отражены главнейшие инженерно-геологические особенности территории РФ и

сопредельных регионов, рассматриваемые на тектонической основе (по типам глобальных тектонических структур первого и второго порядков) и преимущественно те из них, которые осложняют хозяйственное освоение районов.

5.7.1. Щиты древних платформ

К щитам древних платформ относятся Балтийский и Украинский щиты Русской платформы, Алданский и Анабарский щиты Сибирской платформы. Они сложены массивами скальных и полускальных горных пород докембрийского возраста. Редко встречаются отложения осадочного чехла. Развита разрывная и трещинная тектоника. Подземные воды – трещинного и трещинно-жильного типа. Грунты отличаются высокой прочностью и могут служить основаниями любых сооружений. Осложнения при хозяйственном освоении связаны с выветриванием горных пород, зонами разломов, возможен карст в отложениях осадочного чехла.

Балтийский щит занимает Карелию и Кольский полуостров. Часть Кольского полуострова сложена горной системой с максимальными отметками до 1 200 м. В горах развиты снежные лавины. Выделяются тундра, лесотундра и лесная зоны. Большая часть щита входит в зону избыточного увлажнения с сезонным промерзанием. При обработке месторождений полезных ископаемых в горных выработках могут возникать горные удары, связанные с напряженным состоянием массивов горных пород в неотектонических зонах.

Украинский щит расположен в юго-западной части Русской платформы. Прочность скальных грунтов, слагающих приповерхностную часть щита, зависит от степени выветрелости и трещиноватости. Специфическая особенность территории – повсеместное развитие коры выветривания мощностью до 10–40 до 100 м. Выделяется зона недостаточного увлажнения.

Алданский и Анабарский щиты. Прочность скальных грунтов, слагающих физическую поверхность щитов, снижается в тектонических зонах. Имеет место развитие карста. Выделяются зоны многолетнемерзлых горных пород.

5.7.2. Щиты молодых платформ

Щиты молодых платформ имеют сходные черты с щитами древних платформ. Более сложной из них является гидрогеологический режим.

В качестве примера можно рассмотреть *Казахстанский щит*, расположенный между Аральским морем и долиной р. Иртыша. В пределах этого щита широко развита кора выветривания на мезокайнозойских горных породах, распространены засоленные грунты и лессовые горные породы. Выделяются ландшафтно-климатические зоны – лесостепная, степная и полупустынная.

5.7.3. Плиты древних платформ

К ним относятся плиты Русской и Восточно-Сибирской платформ. Сложены они отложениями платформенного чехла, залегающими субгоризонтально. Рельеф представлен равнинами. Из геологических процессов и явлений в этих структурах развиваются карст, оползневые, эоловые и эрозионные процессы, встречаются пльвуны. Наблюдаются суффозия, явления заболачиваемости. Гидрогеологический режим территорий сложный.

В площади Русской платформы с севера на юг выделяются следующие зоны: тундры, лесотундры, лесная, лесостепная, степная и зона пустынь и полупустынь (Прикаспийская низменность). Выделяются также зоны различного увлажнения.

Для плиты Восточно-Сибирской платформы характерны широкое развитие многолетнемерзлых горных пород и сопровождающие их мерзлотно-геодинамические, а также оползневые процессы.

5.7.4. Плиты молодых платформ

Плиты молодых платформ (примером их является Западно-Сибирская плита) характеризуются широким развитием несвязных грунтов кайнозойского возраста. Они имеют высокую сжимаемость. Развита процессы выветривания, мерзлотные, заболачивания, оползневые, а также осыпи, суффозия, оплывание тонкодисперсных грунтов.

В пределах *Западно-Сибирской плиты* выделяют 4 зоны: 1) Заполярная – сплошного развития многолетнемерзлых горных пород; 2) Северная – прерывистого распространения многолетнемерзлых горных пород; 3) Центральная – сильного увлажнения и высокой заболоченности; 4) Южная – умеренного и слабого увлажнения с частым развитием лессовых грунтов.

Туранская плита занимает центральную и западные части Казахстана и Средней Азии до восточного побережья Каспийского моря. Имеет

крупные массивы эоловых песков, мощностью до 30–40 м (пустыни Каракум и Кызылкум). Скорость движения барханов в них достигает 30–35 м/год. Широко развиты солончаки и лессовые грунты. В регионе произошло несколько крупных экологических катастроф (бассейн Амударья–Сырдарья–Арал, Каракалпакия). При эксплуатации искусственных оросительных систем происходили большие потери воды в связи с их фильтрацией, в результате чего активно развивалось заболачивание территорий и засоление почв.

5.7.5. Горно-складчатые области

Уральская горно-складчатая область. Для Уральской горно-складчатой области характерны: широкое и многократное развитие кор выветривания разного возраста, карст в карбонатных толщах, высокая обводненность горнодобывающих предприятий, в северных широтах – мерзлотные процессы, солифлюкция и повсеместно – лавинные явления.

Алтае-Саянская горно-складчатая область. На ее территории находятся уникальные инженерные гидротехнические сооружения.

1. Саяно-Шушенская ГЭС является одной из самых мощных в мире. Ее бетонная арочно-гравитационная плотина высотой 242 м опирается на ороговикованные кристаллические сланцы и держит напор воды высотой 220 м. Объем водохранилища составляет около 31,4 км³. Экологическими последствиями возведения Саяно-Шушенской ГЭС являются изменения микроклимата и заболачивание берегов водохранилища.

2. Красноярская ГЭС. Ее гравитационная плотина весом 15 млн т опирается на трещиноватые граниты, которые «залечивались» методами технической мелиорации. Удерживающий напор воды достигает 101 м, площадь водохранилища 2 000 км², объем составляет около 73,5 км³. Сооружение такого гигантского искусственного моря в центре Сибири заметно ухудшило климатические условия средней и южной частей Красноярского края. Возможны и другие экологические проблемы (подтопление и заболачивание территории и т.д.).

Территория горно-складчатой области в целом характеризуется разнородными и сложными инженерно-геологическими условиями. В разных ее частях развиты мерзлотные процессы, карст, активна склоновая эрозия, отмечаются эоловые процессы. Выделяются зоны повышенной сейсмичности с землетрясениями разной силы (до 6 баллов).

Забайкальская горно-складчатая область обладает уникальным природным богатством – оз. Байкал. Для области в целом характерны следующие особенности: 1) широкое развитие многолетнемерзлых гор-

ных пород; 2) высокая сейсмичность отдельных территорий до 6–10 баллов, требующая использования антисейсмических конструкций в строительстве; 3) большая заболоченность межгорных равнин; 4) в горах часто проявляются гравитационные склоновые процессы; 5) широкое развитие снежных лавин и селей.

Альпийские горно-складчатые области. К ним относятся горные системы Карпат, Крыма, Кавказа, Средней Азии, Восточного Казахстана, Дальнего Востока (Тихоокеанский подвижный пояс). Они имеют следующие характерные инженерно-геологические особенности: 1) широкое развитие разрывной и трещинной тектоники, новейшего вулканизма, сейсмически активных зон; 2) активно протекающие в горах эрозионные склоновые и гравитационные процессы, особенно следует выделить сели; 3) наличие высокогорных зон ледников, многолетнемерзлых грунтов, снежных лавин; 4) встречаются лессовые грунты.

Для альпийских структур северной части Дальнего Востока характерны развитие зон многолетней мерзлоты и сопутствующие им мерзлотно-геодинамические процессы. На Камчатке и Курилах преобладают процессы, связанные с действующими вулканами, повышенной сейсмичностью и воздействием цунами (цунами – гравитационные морские волны, возникающие вследствие землетрясений и имеющие высоту до 50 м и более). Знаменит регион и снежными заносами.

6. ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

6.1. Общие положения

Специальная инженерная геология относится к научному направлению инженерной геологии и изучает инженерно-геологические условия строительства инженерных сооружений с использованием методов инженерно-геологических изысканий на разных стадиях проектирования сооружений и хозяйственного освоения территорий. Главная задача инженерно-геологических изысканий – изучение природных инженерно-геологических условий возведения и эксплуатации сооружений, получение материалов для разработки комплексных схем освоения природных ресурсов, ведения инженерных работ и охраны геологической среды.

Для основных видов строительства разработаны строительные нормы и правила (табл. 6.1.1). Для составления проектов возведения зданий и сооружений различного назначения разработан стандарт, введенный с

01.01.1980 г. (дата добавления в базу (01.09.2013 г.), СТСЭВ 1001-78 – «Модульная координация размеров в строительстве», вместо устаревшего норматива СНиП 11-А.3-62 – «Классификация зданий и сооружений», в котором выделялось 4 класса сооружений в зависимости от назначения, капитальности, эксплуатационных качеств, архитектурной и другой значимости.

Т а б л и ц а 6.1.1

Строительные нормы и правила видов строительства

Виды строительства	СНиП
Градостроительство	2.07.01-89
Гидротехническое строительство	2.06.01-86
Автомобильные дороги	2.05.02-85
	3.06.03-85
Строительство трубопроводов	2.05.06-85
Электротехнические устройства	3.05.06-85
Строительство аэродромов	3.2.03-96
Сооружение промышленных предприятий (подземные сооружения)	2.09.03-85
Строительство мелиоративных систем и сооружений	3.07.03-85

6.2. Этапы и стадии инженерно-геологических изысканий

Этапы и стадии инженерно-геологических изысканий выделяются в зависимости от планов хозяйственного освоения территорий, целей и поставленных задач, видов строительства, сложности и степени изученности инженерно-геологических условий местности, классов возводимых сооружений и др.

Проектно-планировочные этапы хозяйственной деятельности и этапы инженерно-геологических изысканий представлены в следующем виде (Бондарик, 2008):

Этап I. Инженерно-геологические изыскания для обоснования инженерно-геологических, экономических, экологических и других возможностей хозяйственного освоения конкретного района. Исходные материалы – инженерно-геологические карты масштабов 1:1 000 000 и мельче, 1:500 000–1:100 000 прошлых лет. При недостаточности материалов проводится инженерно-геологическая рекогносцировка с необходимым объемом горно-буровых и геофизических работ.

Этап IIА. Инженерно-геологические работы на перспективных участках строительства района. Содержание работ: инженерно-геологические съемки масштабов 1:100 000, 1:500 000–1:100 000, горно-буровые и полевые опытные работы, опробование.

Этап IIБ. Инженерно-геологические работы на выбранном варианте. Содержание работ: инженерно-геологические съемки масштабов 1: 10000 и крупнее, предварительная инженерно-геологическая разведка, горно-буровые и полевые опытные работы, опробование.

Этап III. Инженерно-геологические работы на участках размещения зданий и сооружений. Составление проекта производства строительных работ. Содержание работ: детальная инженерно-геологическая разведка, горнобуровые и полевые опытные работы, опробование.

Этап IV. Инженерно-геологические работы для корректировки рабочей документации, контроля качества строительных работ, оценки прогноза возникающих инженерно-геологических процессов. Содержание работ: оперативная инженерно-геологическая разведка, инженерно-геологические наблюдения за геологической средой, опробование, полевые опытные работы.

Этап V. Инженерно-геологические работы для оптимального управления геологической средой в пределах сформированной природно-технической системы, рационального использования и охраны природных ресурсов. Содержание работ: режимные наблюдения, литомониторинг.

Г.К. Бондарик (2008) и Л.А. Ярг выделяют следующие этапы инженерно-геологических работ для разных видов строительства:

I. Промышленное и гражданское строительство.

1. Проект генерального плана города (поселка), промышленного комплекса – этап I. В программе реализации этапа: проведение крупномасштабной инженерно-геологической съемки территории города в масштабе 1:10 000 и пригородной зоны в масштабе 1:25 000. В результате инженерно-геологической съемки составляются карты общего инженерно-геологического районирования территории города в масштабе 1:10 000 – типологического, эколого-геологического и геолого-экономического.

2. Проект детальной планировки микрорайонов, жилых комплексов, города (поселка) – этап IIа. Инженерно-геологические изыскания: а) инженерно-геологическая съемка в масштабе 1:5 000; б) инженерно-геологическая съемка в масштабе 1: 2 000 – в сложных условиях.

3. Проект застройки микрорайонов, жилых комплексов и строительства отдельных зданий и сооружений – этапы IIб и III. Проведение на строительных площадках: а) предварительной инженерно-геологической разведки (этап IIб); б) детальной инженерно-геологической разведки (этап III). Для сейсмически активных районов составляется карта сейсмического микрорайонирования в масштабе 1:5 000.

II. Гидротехническое строительство.

1. Разработка схемы комплексного использования водного объекта – этап I. Проведение: а) инженерно-геологических съемок, масштаб кото-

рых зависит от сложности инженерно-геологических условий и характеристики объектов (табл. 6.2.1); б) поисков и разведки строительных материалов для обеспечения будущего строительства местными строительными материалами.

2. Обоснование проекта.

2.1. Инженерно-геологические изыскания на перспективных вариантах – этап Па.

Таблица 6.2.1

**Масштабы инженерно-геологической съемки при изысканиях
для обоснования схемы комплексного использования водотока (Бондарик, 2008)**

Категории сложности инженерно-геологических условий	Масштаб съемки		
	Долина реки	Район возможного размещения гидроузла	
		Первой очереди	Второй очереди
I. Не требует ограничений нагрузок от сооружений и улучшения свойств горных пород	1:200 000	1:25 000	1:50 000
II. Требуется ограничения нагрузок от сооружений и улучшения свойств горных пород	1:100 000	1:10 000	1:25 000
III. Требуется проведения сложных мероприятий по улучшению свойств горных пород и применения специальных конструктивных решений (наличие многолетней мерзлоты, карст и др.)	1:50 000	1:5 000	1:10 000

Проведение: а) в районе строительства гидроузла инженерно-геологических съемок в масштабах 1:25 000 (для районов I категории сложности инженерно-геологических условий), 1:10 000 (II категория сложности) и 1:5 000 (III категория сложности); б) геофизических, горно-буровых, гидрогеологических и опытных полевых работ по соответствующим программам; в) по трассам деривации (отводных каналов) – инженерно-геологических съемок масштабов 1:25 000–1:5 000 в зависимости от категории сложности инженерно-геологических условий с привлечением буровых и горных работ.

На площади будущего водохранилища проводятся инженерно-геологические съемки масштабов 1:200 000–1:50 000 с последующим районированием территории водохранилища и выделением участков, на которых ожидается развитие процессов переработки берегов, подтопления территории, фильтрации воды в борта водохранилища и др.

При изысканиях для проекта ведутся поиск и разведка месторождений строительных материалов с подсчетом запасов по категориям С₁ и В.

2.2. Инженерно-геологические изыскания на выбранной строительной площадке – этап Пб. Проводятся инженерно-геологические съемки мас-

штабов 1:1 000–1:5 000; масштаб съемки: а) 1:1 000 – узкие горные долины со сложным геологическим строением; б) 1:2 000 – широкие долины со сложными инженерно-геологическими условиями; в) 1:2 000 – широкие долины равнинных рек. Продолжается разведка месторождений строительных материалов с подсчетом запасов по категориям В и А.

3. Инженерно-геологические изыскания для обоснования рабочей документации – этап III. Проведение: а) детальной инженерно-геологической разведки: горные и буровые работы, геофизические исследования; б) моделирования гидрогеологических и инженерно-геологических процессов; в) опытно-строительные работы (опытные котлованы и др.).

4. Инженерно-геологические изыскания в период строительства гидротехнических сооружений – этап IV. Содержание работ: а) авторский надзор за техническими условиями выполнения строительных работ; б) корректировка рабочих чертежей в ходе ведения строительных работ; в) оперативная инженерно-геологическая разведка.

5. Инженерно-геологические изыскания в период эксплуатации гидротехнических сооружений – этап V. Проведение режимных наблюдений за динамикой инженерно-геологических и гидрогеологических процессов.

III. Дорожное строительство. При проектировании дорог на выбранных вариантах трасс работы производятся в одну (рабочий проект – если строительство ведется по типовым или повторно используемым проектам) или две (проект и рабочая документация) стадии.

При планировании дорожного строительства выделяется несколько этапов. Этап I. Камеральная обработка накопленных материалов прошлых исследований и составление специальной (для дорожного строительства) карты инженерно-геологических условий масштабов 1:50 000–1:25 000. В слабоизученных районах проводятся инженерно-геологическая рекогносцировка, а также маршрутные, горно-буровые и геофизические работы с составлением схематической инженерно-геологической карты крупного масштаба. Этап IIа. Для обоснования проекта проведение инженерно-геологической съемки масштабов 1:5 000–1:10 000 вдоль будущей трассы шириной 0,4–0,6 км. Выбор оптимального варианта трассы. Этап IIб – работы на оптимальном варианте. Этап III. Инженерно-геологические изыскания для рабочей документации. Детальная разведка на участках индивидуального проектирования дорожных сооружений. Для районов со сложными инженерно-геологическими условиями – специальные работы (горно-буровые, опробование, режимные наблюдения и др.) для обоснования проектов защитных мероприятий.

IV. Строительство трубопроводов. Этап I. Разработка схемы размещения трубопроводов. Камеральная обработка инженерно-геологических

материалов прошлых лет и составление предварительно возможных вариантов трубопроводных трасс. Этап Па. Проектирование магистральных трубопроводов. Инженерно-геологические изыскания для выбора оптимального варианта трассы трубопровода (рекогносцировочные обследования, горные работы, на сложных участках инженерно-геологическая съемка масштабов 1:5 000–1:25 000). Этап П. Инженерно-геологические изыскания на выбранном варианте трассы трубопровода (предварительная инженерно-геологическая разведка, горно-буровые и геофизические работы, опробование и др.). Этап Ш. Инженерно-геологические изыскания на стадии рабочей документации (участки индивидуального проектирования и мест размещения сооружений, на сложных участках инженерно-геологическая съемка масштабов 1:2 000–1:5 000, полевые опытные работы и геофизические исследования. Сбор данных для разработки защитных мероприятий.

V. Строительство линий электропередач. Этап I – проект выбора трассы воздушной линии электропередач (ЛЭП). Проведение инженерно-геологической рекогносцировки. Этап Па – выбор варианта трассы ЛЭП, и этап Пб – работы на выбранном варианте трассы ЛЭП. Инженерно-геологическая съемка по оси трассы шириной 0,6 км масштабов 1:5 000–1:25 000, горно-буровые и опробовательские работы. Этап Ш (рабочая документация) – проект расстановки опор. Проведение детальной инженерно-геологической разведки, дополнительные горные работы, выполнение динамического или статистического зондирования. На сложных участках – специальные инженерно-геологические исследования для оценки общей устойчивости территории и прогноза негативных процессов. Одностадийное проектирование и инженерно-геологические изыскания допускаются для снабжения электроэнергией населенных пунктов в сельской местности, если напряжение ЛЭП не превышает 500 кВ, а стоимость строительства укладывается в установленные лимиты.

VI. Строительство аэродромов. Этап I. Планирование предполагаемого размещения участка аэродрома на основе имеющихся материалов по инженерно-геологическому строению территории. Этап Па. Выбор варианта расположения аэродрома на основе проведения инженерно-геологической рекогносцировки. Этап Пб. Работы на выбранном варианте: проект размещения аэродромных сооружений и проведение защитных мероприятий. Проведение специальных инженерно-геологической, почвенной и геоботанической съемок масштаба 1:10 000 на базе топографической основы масштаба 1:5 000; горные работы. На местах размещения сооружений и взлетно-посадочных полос – предварительная инженерно-геологическая разведка. Этап Ш. Расчет оснований аэродромных соору-

жений, составление проектов производства строительных работ и защитных мероприятий. Проведение детальной инженерно-геологической разведки, полевые опытные работы для определения прочностных и деформационных свойств грунтов, гидрогеологические работы по трассам нагорных канав и дренажей.

Малые аэродромы местных авиалиний проектируют и проводят изыскания в одну стадию (рабочий проект).

VII. Строительство подземных сооружений (тоннели, шахты, хранилища нефти и газа, холодильники, складские помещения, резервуары специального назначения и др.). Этап I. Составление инженерно-геологического заключения по накопленным материалам на геологическое пространство, рекомендуемое для строительства подземных сооружений. Этап II. Составление проекта строительства: этап IIа – инженерно-геологические изыскания для обоснования проекта на конкурирующих вариантах; этап IIб – инженерно-геологические работы на выбранном варианте. Задачи второго этапа решаются: а) проведением инженерно-геологической съемки специального назначения масштаба 1:10 000. На участках размещения порталов (главных входов в подземные сооружения) масштаб съемок составляет 1:2 000–1:5 000. При изысканиях линейных сооружений ширина полосы съемки достигает 1 км; б) опробование (инженерно-геологическое и гидрогеологическое); в) горные и буровые работы; г) полевые опытные работы; д) геофизические исследования (электропрофилирование, ВЭЗ, сейсморазведка, каротажи скважин); е) гидрогеологические исследования; ж) обследование состояния существующих подземных сооружений. Этап III (рабочая документация). Решаются задачи: а) расчет сооружений; б) обоснование способов производства горных работ; в) составление проекта защитных мероприятий. Содержание работ: а) детальная инженерно-геологическая разведка участков размещения подземных сооружений; б) дополнительное бурение скважин; в) опробование (в том числе на воду); г) полевые испытания грунтов на сжимаемость, прессиометрические испытания для определения прочности и модуля деформации, измерение горного давления; д) наблюдение за поведением горных пород. Этапы IV и V. Изыскания, проводимые в ходе строительства и эксплуатации горных сооружений. Оперативная инженерно-геологическая разведка, опробование, опытные полевые работы по измерению горного давления, гидрогеологические исследования, наблюдения за состоянием крепления сооружений и инженерно-геологическими процессами.

VIII. Строительство мелиоративных систем и сооружений (плотины, дамбы, каналы). Этап I. Планирование мелиоративных систем. Составле-

ние схемы комплексного использования и охраны земельных и водных ресурсов на основе анализа имеющихся литературных и фондовых инженерно-геологических материалов по региону. Для решения отдельных вопросов планирования проводится инженерно-геологическая рекогносцировка по трассам переброски стока рек или на участках размещения крупных гидротехнических сооружений. Этап II. Составление проекта работ: этап IIа – изыскания по выбору оптимального варианта (специальная инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемки масштаба 1:200 000, горно-буровые работы, геофизика – электроразведка и электропрофилирование); этап IIб – работы на выбранном варианте (комплексная инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемки масштаба 1:50 000, реже 1:25 000, горно-буровые работы, геофизика – ВЭЗ, электропрофилирование, опробование, опытно-фильтрационные работы, динамическое и статистическое зондирование на местах расположения сооружений (насосные станции, плотины, магистральные каналы и др.). Этап III (рабочая документация) – проведение детальной инженерно-геологической разведки, горно-буровые работы, полевые испытания грунтов, инженерно-геологическое и гидрогеологическое опробование, составление расчетных схем и окончательных расчетов оснований сооружений.

Допускается проектирование в одну стадию (рабочий проект) несложных мелиоративных систем на небольших территориях. В процессе эксплуатации мелиоративных систем проводятся дополнительные инженерно-геологические изыскания, полевые опытные работы и режимные наблюдения для проверки инженерно-геологических и гидрогеологических прогнозов, оценки негативных процессов (подтопление, засоление почв, снижение плодородия земель и др.), эффективного использования земельных и водных ресурсов, охраны геологической среды и разработки рекомендаций по оптимальному управлению мелиоративных систем и сооружений.

6.3. Геофизические методы при инженерно-геологических исследованиях

Геофизические исследования являются самостоятельным видом работ, выполняемых на всех этапах (стадиях) проектирования инженерно-геологических изысканий, и регламентируются «Правилами производства геофизических исследований» – СП 11-105-97, ч. VI.

Геофизические методы позволяют решать следующие геологические задачи: 1. Определять геологическое строение инженерно-геологических

массивов, в том числе выделять границы мерзлых и немерзлых горных пород. 2. Диагностировать элементы тектоники, в том числе зоны повышенной трещиноватости и обводненности. 3. Определять параметры водных горизонтов – глубины залегания, водоупоры, динамику потоков и др. 4. Определять состав, состояние и свойства грунтов в инженерно-геологических массивах и их изменение во времени, в том числе положение ледяных тел в разрезе отложений и мощность ледников. 5. Осуществлять сейсмическое микрорайонирование территорий. 6. Выявление, изучение и мониторинг опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

Для решения геологических задач используются геофизические методы: 1. Электромагнитные: а) естественного электрического поля; б) постоянного (низкочастотного) поля; в) вызванной поляризации; г) переменных электромагнитных полей. 2. Сейсмоакустические. 3. Магниторазведочные. 4. Гравиразведочные. 5. Ядерно-физические. 6. Газово-эманационные. 7. Термометрия. Сопутствующие методы: а) кавернометрия (измерение диаметра скважин); б) циклинометрия (измерение искривления скважин).

6.4. Инженерно-геологическая рекогносцировка

Термин «рекогносцировка» следует понимать как осмотр и обследование местности для обоснования и постановки более детальных работ. После получения *технического задания* на инженерно-геологическую рекогносцировку составляется программа работ (с определением объема работ и сметы). Её содержание: 1. Выполнение организационно-технических мероприятий. 2. Обобщение накопленной информации об инженерно-геологических условиях района, ее анализ и уточнение вопросов, оставшихся нерешенными. 3. Определение задач, которые должны быть решены на данном этапе инженерно-геологических изысканий.

Для решения поставленных задач следующие шаги. 1. Составляется предварительная схематическая инженерно-геологическая карта района с разрезами по результатам дополнительного дешифрирования аэрокосмофотоматериалов и анализа накопленных материалов прошлых лет. 2. Аэровизуальные и наземные наблюдения. 3. Наземные геологические маршруты. 4. Горные и буровые работы. 5. Опробование. 6. Геофизические исследования. 7. Полевые опытные работы для определения прочностных и деформационных свойств грунтов. 8. Оконтуривание участков с активным проявлением экзогенных геологических процессов и выяснением их генезиса. 9. Обследование имеющихся сооружений для обнару-

жения возможных деформаций. 10. Оценка эффективности защитных мероприятий.

По результатам инженерно-геологической рекогносцировки составляется заключение с графическими приложениями: 1) схематическая инженерно-геологическая карта с разрезами и сводной колонкой; 2) карта фактического материала.

6.5. Инженерно-геологическая съемка

Инженерно-геологическая съемка – это основной вид полевых изысканий для выяснения инженерно-геологических условий строительства, эксплуатации сооружений и хозяйственного освоения территорий в целом. По ее результатам составляются инженерно-геологические карты, описания и оценки инженерно-геологических условий местности.

Цели инженерно-геологических съемок:

1. Обоснование схем размещения производительных сил (промышленных предприятий и других отраслевых инженерных объектов).

2. Сравнительная оценка инженерно-геологических условий строительства и выбор оптимальных участков для возведения инженерных сооружений.

3. Проектирование отдельных видов строительства и размещение конкретных сооружений на строительных площадках.

4. Разработка прогнозов изменения свойств геологической среды при освоении территорий и решение экологических задач (оценка экологической опасности и риска, экологический мониторинг на разных этапах работ и др.).

В зависимости от масштаба Г.К. Бондарик и Л.А. Ярг (2008) выделяют инженерно-геологические съемки: 1) среднего масштаба (1:500 000–1:100 000) и 2) крупного масштаба (1:500 000 и крупнее). Ранее самостоятельно выделялись детальные инженерно-геологические съемки. Их масштаб – 1:10000 и крупнее.

На выбор масштаба инженерно-геологической съемки влияют следующие факторы: 1) цели и решения поставленных задач; 2) стадия инженерно-геологических изысканий; 3) категория сложности района по инженерно-геологическим условиям; 4) тип проектируемых сооружений или инженерных работ; 5) размер территории, её доступность и обнаженность.

Виды проводимых работ: 1) наземные (полевые маршруты и др.) и аэровизуальные наблюдения; 2) аэрокосмофотосъемка и дешифрирование аэрокосмофотоматериалов; 3) горные и буровые работы; 4) инженер-

но-геологическое опробование; 5) геофизические работы; 6) полевые опытные работы; 7) гидрогеологические исследования; 8) лабораторные методы изучения и камеральная обработка полевых материалов. В процессе инженерно-геологической съемки необходимо соблюдать определенную последовательность в проведении отдельных видов работ для максимального использования их результатов и корректировки планов их дальнейшего проведения.

Все виды полевых инженерно-геологических работ должны проводиться при строгом соблюдении правил техники безопасности.

При среднемасштабных инженерно-геологических съемках производится ландшафтное районирование территории с использованием метода ландшафтных индикаторов. Выделяются ключевые участки для детального изучения инженерно-геологических условий местности и разрабатывается план размещения опорных профилей, охватывающих главные направления изменчивости инженерно-геологических условий. По линиям опорных профилей будут закладываться основные объемы горно-буровых, геофизических специальных и опробовательских работ и составляться инженерно-геологические разрезы.

С ростом масштаба инженерно-геологических съемок возрастет роль и объемы горно-буровых, специальных работ и инженерно-геологического опробования. Вся площадь съемки при крупномасштабном картировании изучается равномерно детально в зависимости от принятого масштаба. Особое внимание уделяется изучению инженерно-геологических условий участков активного проявления инженерно-геологических процессов и расположения месторождений полезных ископаемых.

Основанием для организации инженерно-геологической съемки является *техническое задание*. Его содержание: этапы или стадии проектирования хозяйственных объектов, техническая характеристика сооружений и их фундаментов, наличие подземных сооружений, генеральный план размещения объектов, сроки выполнения работ, перечень необходимых материалов, которые должны быть получены в результате организуемых работ, и др. Проектирование и методика инженерно-геологических съемок регламентируются соответствующими Методическими руководствами. Инженерно-геологические съемки выполняются в три основных этапа: 1) подготовительный; 2) полевой; 3) камеральный.

Подготовительный этап. Его содержание: 1) изучение и анализ всех предшествующих материалов – опубликованных, фондовых, архивных, с составлением предварительных графических документов (карта фактического материала и др.), разработкой рабочей инженерно-геологической гипотезы и определением задач, которые должны быть решены в процес-

се съемки; 2) составление программы (проекта) работ, в которой обосновываются: методики исследований, объемы и виды проводимых работ, сметно-финансовые расчеты, трудовые и материальные затраты, календарный график работ, потребности в стройматериалах, источники и организация водоснабжения и др.; 3) подготовка к полевым работам, решение организационных вопросов, комплектование полевой партии материалами, оборудованием, снаряжением, рабочей силой и транспортом.

Полевой этап. Реализуется программа полевых работ. Выполняются объемы и виды работ. Ведется документация всех горных выработок и скважин. Производится предварительная камеральная обработка поступающих полевых материалов. Уточняется рабочая инженерно-геологическая гипотеза. Составляются предварительные графические документы – карта фактического материала, колонки буровых скважин, инженерно-геологические разрезы и карты разного содержания, графики полевых испытаний грунтов и т.п. Предварительно обрабатываются данные полевых опытных испытаний. Глубина изучения инженерно-геологических условий местности определяется зоной влияния инженерных сооружений на геологическую среду и составляет 15–20 м (Бондарик, Ярг, 2008).

Камеральный этап. Производится окончательная обработка полевых материалов. Выполняются объемы лабораторных работ по определению состава горных пород, их физико-механических свойств и лабораторные испытания грунтов. Составляется окончательный отчет, оформляются инженерно-геологические карты и другие графические и текстовые приложения в соответствии с целевым техническим заданием.

6.6. Инженерно-геологическая разведка

Инженерно-геологическая разведка осуществляется с использованием горных, буровых, геофизических, гидрогеологических, полевых опытных работ, инженерно-геологического опробования, режимных стационарных наблюдений и, в зависимости от стадии проектирования, разделяется на предварительную, детальную и оперативную (Бондарик, Ярг, 2008).

Предварительная инженерно-геологическая разведка проводится в границах будущей строительной площадки с целью получения инженерно-геологической информации для эффективного размещения сооружений на строительной площадке, сбора данных для проведения проектных расчетов оснований фундаментов, выбора их типов и разработки проекта защитных мероприятий.

Изучается инженерно-геологический разрез участка, в котором по составу и свойствам горных пород выделяются монопородные геологиче-

ские тела второго уровня расчленения (по гранулометрическому составу рыхлых осадков) – МГТ-2 (Бондарик, Ярг, 2008). По данным опробования определяются классификационные показатели свойств грунтов, которые используются в предварительных расчетах оснований фундаментов (прочностные и деформационные характеристики).

В ходе гидрогеологических исследований определяются уровни грунтовых вод, изучаются химический состав подземных вод, их агрессивность, возможности их загрязнения и изменения состава, водопроницаемость горных пород, вероятность подтопления территории и др.

При обнаружении активно протекающих экзогенных геологических процессов составляется программа режимных наблюдений за их динамикой.

Детальная инженерно-геологическая разведка проводится в границах зоны предполагаемого влияния инженерных сооружений на геологическую среду с целью решения задач: 1) определения проектных контуров размещения инженерных сооружений; 2) получения данных для окончательных расчетов оснований фундаментов сооружений. Решения поставленных задач излагаются в рабочей документации. Используются следующие виды проводимых работ: горные, буровые, полевые опытные и гидрогеологические исследования. Изучается инженерно-геологический разрез в границах предполагаемой зоны взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой с помощью вертикальных расчетных сечений, в которых выделяются монопородные геологические тела третьего уровня расчленения (горные породы характеризуются однородными по прямым показателям прочности и сжимаемости) – МГТ-3 (Бондарик, Ярг, 2008).

Содержание гидрогеологических исследований: 1) наблюдение за уровнем грунтовых вод; 2) определение химического состава и агрессивных подземных вод. В сложных гидрогеологических условиях проводятся опытные гидрогеологические работы.

Оперативная инженерно-геологическая разведка проводится в процессе непосредственного строительства (на нулевом цикле) ответственных и уникальных сооружений с целью получения информации об изменении свойств геологической среды на начальной стадии формирования сферы взаимодействия с будущими инженерными сооружениями под влиянием строительных работ.

Содержание работ: 1) документация строительных выемок в масштабах 1:20–1:500 (котлованов, открытых и подземных выработок), выявление ранее неизвестных инженерно-геологических элементов, которые могут повлиять на устойчивость сооружений; 2) опробование грунтов для дополнительной оценки их прочности, просадочности и фильтрационных

свойств; 3) режимные инженерно-геологические наблюдения за динамикой экзогенных геологических процессов.

Результаты оперативной инженерно-геологической разведки используются для корректировки рабочих чертежей и проекта производства строительных работ.

6.7. Полевые опытные работы

Полевые опытные работы являются составной частью инженерно-геологических изысканий. Их назначение – получение достоверных данных о прочности и деформационных свойствах горных пород в естественном залегании, уточняются параметры водоносных горизонтов.

В ходе проведения полевых опытных работ используются следующие методы (Бондарик, Яр, 2008):

1. Динамическое зондирование. В песчано-глинистые горные породы забиваются специальные конические наконечники (зонды) до глубины 20 м с использованием установок УБП-15/14 Гидропроекта и др.

1.1. Виброударное зондирование – погружение зонда в грунт производится вибромолотом массой 350 кг и частотой ударов 300–1 200 в минуту.

1.2. Статическое зондирование – зонд задавливается в песчано-глинистый грунт статической нагрузкой с помощью установок различных конструкций.

1.3. Пенетрационно-каротажный метод – основан на совмещении статического зондирования с радиоизотопным каротажом. Для испытаний используются станции пенетрационного каротажа (СПК).

2. Исхиметрия применяется для измерения величины сопротивления резанию при изучении прочностных свойств рыхлых песчано-глинистых грунтов в стенках буровых скважин, для чего используются скважинные исхиметры, снабженные специальным режущим ножом.

3. Испытание грунтов жесткими штампами проводятся для определения деформационных характеристик крупнообломочных и песчано-глинистых грунтов в шурфах, скважинах и котловинах с использованием гидравлических домкратов.

4. Прессиометрия используется для изучения прочностных и деформационных свойств скальных и рыхлых горных пород в скважинах с применением приборов бокового давления – прессиометров.

5. Испытание грунтов на срез в скважинах выполняется для определения прочностных свойств средне- и мелкозернистых песков и глинистых грунтов. Выделяются модификации испытаний – вращательный, кольцевой и поступательный среды, которые производятся лопастными приборами, оборудованными специальными крыльчатками.

6. Круговой срез грунтов применяется для определения прочностных свойств глинистых грунтов. Испытания проводятся в шурфах или на дневной поверхности.

7. Испытание на срез целиков грунта в шурфах. Показатели прочности изучаются в трещиноватых, несвязных песчано-глинистых горных породах, глинисто-щебенистых и песчано-гравелистых отложениях, в плотных трещиноватых глинистых грунтах с комковатой, плитчатой и листоватой текстурами и в песчано-глинистых отложениях с неоднородными структурно-текстурными признаками. Для испытаний используются установки конструкции Фундаментпроекта (Бондарик, Ярг, 2008).

8. Испытания целиков грунта методами обрушения, раздавливания и выпирания. Показатели прочности изучаются в грубообломочных выветрелых грунтах, слабых песчаниках, глинисто-щебенистых мергелях и трещиноватых твердых глинистых грунтах. Испытания проводятся в шурфах с использованием штампов, домкратов и динамометров.

9. Определение порового давления имеет значение при оценке прочности глинистых отложений и выявлении уплотнения водонасыщенных грунтов. Для этого применяются приборы – поропьезометры, пьезометры, приборы с дистанционными манометрами и электродинамометрами, которые помещают в шурфы, скважины или грунты земляных сооружений. Для измерения порового давления в приборах используются дистанционные манометры с сильфонами, струнные тензометры, диафрагменные датчики.

Гидрологические задачи решаются с использованием следующих методов:

1. Направление и скорость движения подземных вод методами запуска индикаторов, электрометрическим, заряженного тела и др.

2. Водопроницаемость горных пород, водообильность водоносных горизонтов, дебит скважин, колодцев и других водозаборов методом опытных откачек.

3. Водопроницаемость горных пород методом налива в шурфы и скважины.

4. Водопроницаемость, трещиноватость и закарстованность горных пород методом опытных нагнетаний.

Другие задачи, решаемые в ходе проведения полевых опытных работ:

1. Оценка устойчивости горных пород в опытных котлованах и горных выработках.

2. Определение скорости выветривания горных пород на опытных площадках.

3. Оценка горного давления в подземных выработках.

4. Определение условий и характеристики цементации горных пород методом опытной цементации.

6.8. Режимные стационарные инженерно-геологические наблюдения

Главная цель режимных стационарных наблюдений – получение информации об изменении состояния геологической среды во времени, экзогенных и эндогенных геологических и инженерно-геологических процессах, влияющих на ее развитие. Значение режимных стационарных инженерно-геологических наблюдений связано с решением задач по рациональному использованию геологической среды: а) при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых; б) функционировании природно-технических систем от периода формирования до эксплуатации и относительной стабилизации инженерно-геологических процессов.

Наблюдения за изменением состояния геологической среды также являются частью литомониторинга.

Содержание режимных стационарных наблюдений:

1. Метеорологические наблюдения: атмосферные осадки, влажность воздуха, ветер, влажность горных пород в зоне аэрации, колебания температур в разные периоды года, глубина сезонного промерзания горных пород на разных элементах рельефа.

2. Гидрологические наблюдения: водный баланс местности, уровни воды в реках и водоемах, скорости и расходы воды, ледовый режим, химический состав вод, волновые явления на водоемах.

3. Гидрогеологические наблюдения: распространение, условия залегания и уровни подземных водоносных горизонтов, их типы, условия питания и разгрузки, запасы, минерализация и др.

4. Наблюдения за деформациями горных пород на склонах, в откосах, оползневых участках, котлованах и подземных выработках под фундаментами зданий и сооружений. При этом используются методы повторного картирования, поверхностные и глубинные реперы и марки, динамометры, темзометрические датчики, поропьезометры и другие приборы и приспособления.

5. Геотермические наблюдения: оценка динамики изменения температур горных пород на разной глубине (особенно это важно в зонах развития мерзлых и многолетнемерзлых грунтов).

6. Наблюдения за скоростью и особенностями развития экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений (выветривание, эрозия и др.).

6.9. Инженерно-геологическое опробование

Инженерно-геологическое опробование проводится на всех этапах и стадиях инженерно-геологических изысканий для определения состава, строения, состояния и свойств массивов горных пород и находящихся в них подземных вод и газов. При этом отбираются образцы: 1) монолиты – с ненарушенным строением и сохранением влажности; 2) «мешочные» – с нарушенным сложением. Для отбора проб из обнажений, горных выработок и скважин используются специальные устройства – пробоотборщики, колонковые трубы, вибронды, грунтоносы. Взятые пробы изучаются в лабораторных условиях.

Инженерно-геологическое опробование конкретных участков проводится с учетом сложности инженерно-геологических условий и целевого назначения инженерно-геологических изысканий. В зависимости от стадий инженерно-геологических изысканий с использованием инженерно-геологического опробования решаются следующие задачи (Бондарик, Ярг, 2008):

I. Инженерно-геологическая рекогносцировка. Решаемые задачи – оценка показателей состава горных пород и свойств грунтов, слагающих геологические тела.

II. Инженерно-геологическая съемка среднего масштаба. Решаемые задачи: 1. Получение характеристик изменчивости свойств грунтов и уточнение ориентировки главных направлений изменчивости этих свойств. 2. Корректировка положения границ структурно-генетических комплексов и МГТ-1 (монопородные геологические тела первого уровня расчленения по минеральному составу). 3. Характеристика состава и свойств горных пород МГТ-1 на ключевых участках. 4. Характеристика свойств грунтов на участках проявления экзогенных геологических процессов.

III. Инженерно-геологическая съемка крупного масштаба. Решаемые задачи: 1. Получение количественных параметров пространственной изменчивости и уточнение ориентировки главных направлений изменчивости свойств горных пород. 2. Корректировка положения границ МГТ-2 (монопородные геологические тела второго уровня расчленения по гранулометрическому составу). 3. Характеристика состава и свойств грунтов, выделенных МГТ-2.

IV. Предварительная инженерно-геологическая разведка. Решаемые задачи: 1. Уточнение правильности расчленения геологической среды на тела категории МГТ-2 в соответствии с данными о пространственной изменчивости классификационных показателей свойств грунтов. 2. Получение оценок средних значений классификационных показателей для

выделения геологических тел МГТ-2 с требуемой доверительной вероятностью. 3. Получение частных значений или оценок среднего значения показателей сжимаемости и прочности грунтов по малым выборкам.

V. Детальная инженерно-геологическая разведка. Решаемые задачи: 1. Разделение геологического разреза горных пород в расчетных сечениях сферы взаимодействия на геологические тела категории МГТ-3 (монопородные геологические тела третьего уровня расчленения, однородные по прочности и сжимаемости горных пород). 2. Получение статистического материала о показателях свойств грунтов, обеспечивающего возможность применения статистических критериев однородности для выделения инженерно-геологических элементов (это основная грунтовая единица при инженерно-геологической систематизации грунтовых объектов однородная по составу, свойствам и состоянию). 3. Характеристика показателей свойств инженерно-геологических элементов с требуемыми доверительной вероятностью и точностью.

VI. Оперативная инженерно-геологическая разведка. Решаемые задачи: 1. Характеристика показателей свойств грунтов, вскрытых в строительных выработках в пределах инженерно-геологических элементов, с требуемой точностью и доверительной вероятностью. 2. Оценка свойств искусственных грунтов в телах земляных сооружений для установления их соответствия техническим условиям.

Порядок инженерно-геологического опробования, который определяет требования к отбору, упаковке, транспортировке и хранению образцов грунтов, регламентируется ГОСТ 12071-2014 (дата последнего изменения 18.02.2016).

6.10. Инженерно-геологические карты

Инженерно-геологическое картографирование – это раздел инженерно-геологического картирования, разрабатывающий теорию и методику создания инженерно-геологических карт. Инженерно-геологическая карта – это обобщенное изображение на топографической основе определенного масштаба инженерно-геологических условий местности. На карте отражаются следующие наиболее важные параметры:

1. Геологическое строение территории. Характеристика слагающих ее горных пород – состав, условия залегания, состояние и свойства.

2. Рельеф – его морфологические и морфометрические особенности.

3. Геокриологические условия – распространение мерзлых, талых и немерзлых горных пород, их температура, мощность и криогенное строение мерзлых горных пород, деятельный слой и его характеристика.

4. Гидрогеологические особенности – типы водоносных горизонтов, закономерности их распространения, глубины залегания, режим, динамика, водообильность, состав вод, минерализация, агрессивность по отношению к строительным материалам и др.

5. Современные геологические процессы и явления.

Инженерно-геологическая информация отражается на карте в виде качественных и количественных показателей. Качественные – это объемные или площадные показатели, они фиксируются в геологическом пространстве в соответствии с масштабом и координатами географического распространения (например, геологические комплексы и др.). Количественные показатели изображаются в свободном пространстве вне масштаба (например, цифровая информация – температуры горных пород, их влажность и др.).

6.10.1. Классификация инженерно-геологических карт

В зависимости от масштаба инженерно-геологические карты делятся на: 1) обзорные карты – масштаб 1:1 500 000 и мельче; 2) мелкомасштабные карты – масштабы 1:1 000 000 – 1:500 000; 3) среднемасштабные карты – масштабы 1:200 000–1:100 000; 4) крупномасштабные карты – масштабы 1:50 000–1:25 000; 5) детальные карты – масштаб 1:10 000 и крупнее.

Обзорные и мелкомасштабные карты относятся к стратегическим. Они используются для общего перспективного планирования всех видов строительства и составления программ дальнейших инженерно-геологических исследований и изысканий. Карты масштабов 1:1 000 000, 1:500 000 и 1:200 000 являются государственными инженерно-геологическими. Они составляются одновременно с государственными геологическими и гидрогеологическими картами на всю территорию Российской Федерации. Среднемасштабные инженерно-геологические карты используются для начальных стадий проектирования сооружений и защитных инженерных мероприятий. Они составляются организациями Министерства природных ресурсов РФ.

Крупномасштабные карты относятся к специальным инженерно-геологическим картам. Они используются для планирования и разработки схем городов, населенных пунктов и промышленных узлов, для проектирования разных видов строительства – дорог, гидротехнических сооружений и др., для обоснования природоохранных мероприятий, проектов и программ работ детальными инженерно-геологическими изысканиями на завершающем этапе проектирования.

В зависимости от содержания инженерно-геологические карты делятся на 4 типа: 1) карты инженерно-геологических условий, их разновидности – синтетические и аналитические; 2) карты инженерно-геологического районирования, разновидности – общие и специальные; 3) прогнозные инженерно-геологические карты и 4) карты изменения инженерно-геологических условий (или геологической среды). По практическому назначению все инженерно-геологические карты подразделяются на общие и специальные.

1. *Карты инженерно-геологических условий* отражают комплекс параметров или отдельные характеристики, которые используются для выбора методов изысканий, проектирования, возведения и эксплуатации инженерных сооружений. Общие и синтетические карты этого типа близки по содержанию, отражают весь комплекс факторов, определяющих инженерно-геологические условия территорий и являются картами многоцелевого назначения.

Специальные, или специализированные, карты отражают группы факторов инженерно-геологических условий, которые необходимы для проектирования определенных видов строительства (дорожного, гидротехнического, подземного и т.д.).

Аналитические, или частные, карты отражают один или несколько показателей инженерно-геологических условий. Это, например: карты грунтовых вод, просадочности лессовых грунтов, трещиноватости грунтов, расчлененности рельефа, напряженного состояния массивов горных пород, современных геологических процессов и явлений и т.д.

2. *Карты инженерно-геологического районирования* характеризуют инженерно-геологические районы разного порядка. Общие карты являются многоцелевыми. Они отражают инженерно-геологические территории разных уровней и используются для планирования и проектирования массовых видов строительства. На специальных картах показаны инженерно-геологические районы с конкретными параметрами природных условий, благоприятными для определенных видов строительства.

Разработаны два метода инженерно-геологического районирования территорий – генетико-морфологический и оценочный. На основе первого метода составляются карты: а) *регионального генетико-морфологического районирования* – показывают территориальные таксоны разного порядка, выделенные на основе определенных классификационных признаков; б) *типологического генетико-морфологического районирования* – отражают типы территориальных таксонов разного порядка на основе общих и существенных признаков; в) *смешанного генетико-морфологического районирования* – сочетают региональное и типологическое

районирование, при этом крупные территориальные таксоны выделяются как региональные, а более мелкие – как типологические. С использованием второго метода составляются; г) *оценочные сравнительные карты инженерно-геологического районирования* – оценивают сложность инженерно-геологических условий территории на основе генетико-морфологического районирования; *синтетические* – оценивают степень пригодности территории для строительства; *аналитические* – отражают развитие негативных геологических процессов, требующих инженерной подготовки территории для хозяйственного освоения; д) *геолого-экономического оценочного районирования* – показывают сложность инженерно-геологических условий территорий и стоимость их освоения применительно к разным типам инженерных сооружений.

3. *Прогнозные карты* отражают изменения инженерно-геологических условий территорий в ходе их хозяйственного освоения и эксплуатации инженерных сооружений. Они могут составляться в двух вариантах: а) карты комплексного прогноза; б) карты частного прогноза.

4. *Карты изменения инженерно-геологических условий* характеризуют степень изменения природной геологической среды под влиянием антропогенеза. Составляются общие карты, отражающие изменения инженерно-геологических условий в результате комплексного воздействия инженерно-хозяйственной деятельности человека, и частные карты, показывающие изменения геологической среды в результате конкретных видов хозяйственной деятельности.

Выделяются *дежурные инженерно-геологические карты*. Они постоянно пополняются новыми данными о динамике изменения инженерно-геологических условий. Содержание их может быть различным. Эти карты эффективно используются для прогнозирования состояния инженерно-геологических условий, рационального использования территорий и планирования защитных мероприятий.

6.10.2. Эколого-геологические карты

Под эколого-геологическим картированием территорий понимается составление карт, отражающих загрязнение различными компонентами элементов геологической среды – горных пород, почв и подземных вод.

Эколого-геологические карты – это карты, дающие представление о природных свойствах и строении геологической среды, масштабах и характере техногенного воздействия, экологических результатах взаимодействия объектов техносферы с геологической средой и прогнозе динамики геологической среды под влиянием существующих и планируемых

видов воздействия (освоения). Эколого-геологическая карта характеризует картографическими средствами геологическую среду и происходящие в ней процессы, оказывающие влияние на экосистемы и среду обитания человека с интегральной оценкой этого влияния и его динамики. Эколого-геологические карты являются комплексными и составляются на основе ряда вспомогательных карт.

В комплект эколого-геологических карт входят аналитические, оценочные и синтетические карты, отражающие сведения о состоянии геологической среды и инженерно-геологических условиях рассматриваемых территорий. Аналитические и оценочные карты характеризуют отдельные параметры и процессы. Синтетические (покомпонентные) карты отражают комплексные характеристики компонентов геологической среды.

Основой эколого-геологического картографирования являются геологические, гидрогеологические, геоморфологические, инженерно-геологические, почвенные, ландшафтные карты и другие, которые можно объединить в 4 блока.

Первый блок объединяет карты типизации геологической среды. Сюда входят геологические, геоморфологические, инженерно-геологические и гидрогеологические карты, характеризующие природные свойства геологической среды на глубину проектируемого техногенного воздействия. На их основе составляется **общая карта типологического инженерно-геологического районирования**, которая является базовой для первого блока и отражает территории с разной реакцией геологической среды на потенциальное техногенное воздействие. Регионы разного порядка на карте выделяются по геоструктурному и морфоструктурному признакам; области – по особенностям геоморфологических структур; районы и подрайоны – по составу слагающих их горных пород и четвертичных отложений; участки – по совокупности и интенсивности проявления экзогенных геологических процессов или гидрогеологическим условиям. Для урбанизированных территорий важными элементами анализа являются морфометрия рельефа и способность геологической среды экранировать подземные воды от загрязнения на глубину техногенного воздействия.

Составляются также частные карты типологического инженерно-геологического районирования для характеристики отдельных компонентов геологической среды, ориентированных на определенные виды техногенного воздействия без анализа их конкретных источников. К частным картам можно отнести карты защищенности первого от поверхности грунтового водоносного горизонта, карты чувствительности геологической среды к техногенному загрязнению и др.

Второй блок – включает карты, характеризующие техносферу: 1) карты источников техногенной нагрузки от инженерно-хозяйственного освоения территории; 2) карты техногенного воздействия на геологическую среду; 3) карты функционального устройства территории. На основе их составляются сводные карты, на которых присутствует информация об административном положении территории, расположении сельскохозяйственных и лесных угодий, урбанизированных территориях, расположении промышленных и сельскохозяйственных объектов с классификацией их по типам хозяйственной деятельности, характеру и интенсивности воздействия на геологическую среду.

Основными объектами, подлежащими изучению и картографированию, являются: 1) горно-добывающие предприятия (рудники, шахты, карьеры, дражные полигоны и др.); 2) промышленные предприятия (комбинаты, заводы, фабрики, автопарки, техстанции и др.); 3) хранилища промотходов (хвостохранилища, пруды-накопители, пруды-отстойники, полигоны наземного и подземного захоронения отходов производства, золоотвалы, породные отвалы, терриконы, шламонакопители и др.); 4) тепловые и энергетические объекты (гидроэлектростанции, атомные станции, теплоэлектроцентрали и др.); 5) полигоны захоронения твердых бытовых отходов; 6) станции аэрации; 7) поля фильтрации; 8) бензо- и маслозаправочные станции и нефтебазы; 9) склады ядохимикатов; 10) сельскохозяйственные объекты (животноводческие фермы, птицефабрики, парниковые хозяйства и др.) и т.д.

Информация по хозяйственным источникам техногенного воздействия на геологическую и природную среду в целом содержится в экологических паспортах предприятий, технических проектах и органах СЭС и включает следующие сведения: 1) размеры (площади) техногенного воздействия; 2) режим эксплуатации; 3) технология производства; 4) элементы водного баланса, включая объемы утечек; 5) состав и объем жидких и твердых отходов промышленных отбросов, атмосферных выбросов; 6) количество вносимых на 1 га удобрений и ядохимикатов; 7) места сбросов промстоков в поверхностные водоемы и гидрографическую сеть; 8) характер землепользования с выделением площадей и видов мелиорации и т.д.

Третий блок представляют карты измененности геологической среды под влиянием техногенного воздействия, или карты современного состояния геологической среды. Карты измененности геологической среды составляются с использованием коэффициентов площадной и относительной пораженности территории или на основе суммарной оценки степени измененности геологической среды через ее компоненты и выбранные критерии оценки.

Четвертый блок составляют прогнозные карты геологической среды, карты рекомендательного характера или картографические модели рационального использования геологической среды, а также карты-схемы организации мониторинга геологической среды.

6.10.3. Прогнозные карты изменения инженерно-геологических условий

Прогнозное картографирование позволяет рассматривать одновременно большую группу взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов и явлений и обосновать системный подход к исследованию техногенных изменений геологической среды и инженерно-геологических условий в целом. Для прогнозного картографирования применяется метод сопряженного анализа карт геологической среды (и ее отдельных элементов) и техносферы (техногенной нагрузки), что позволяет оценить степень опасности техногенного влияния.

Прогнозные карты изменения геологической среды состояются в следующих случаях: 1) изменения геологической среды происходят только под влиянием действующих (существующих) источников техногенного воздействия; 2) изменения геологической среды происходят и будут происходить под влиянием действующих и проектируемых источников техногенного воздействия; 3) изменения геологической среды будут происходить под влиянием только проектируемых источников техногенного воздействия.

Сначала составляются поэлементные прогнозные карты развития конкретных процессов или вида воздействия. Количество и содержание таких карт определяются исходя из наличия и значения прогнозируемых процессов с экологических позиций, а также характера и интенсивности источника воздействия. Карты составляются на определенный (прогнозируемый) период времени в соответствии с техническим заданием по оценке воздействия на геологическую среду.

Прогнозируемые изменения геологической среды выражаются через коэффициенты площадной пораженности и степень измененности геологической среды или характеристиками степени измененности геологической среды на основе принятых критериев оценки в оценочном варианте.

Учет ожидаемых изменений геологической среды осуществляется на основе градационной шкалы степени измененности, которая должна быть единой для всех критериев оценки или видов техногенного воздействия. Разница в составлении поэлементных и интегральных карт прогноза состоит в том, что на первых отражаются изменения геологической среды

под влиянием какого-либо одного вида воздействия или процесса, а на вторых – их суммарное воздействие через соответствующие коэффициенты.

При составлении поэлементных прогнозных карт используются нормативные документы и методические разработки по прогнозированию разных видов воздействий или процессов, изложенные в действующих инструкциях по инженерно-геологическим и гидрогеологическим съемкам. При построении прогнозных карт существующие источники или виды воздействия переносятся с карты антропогенной нагрузки с дополнением проектируемых объектов. При сильной загруженности основной карты измененности геологической среды или прогнозной карты антропогенная нагрузка существующая или проектируемая может быть отражена в виде карт-накладок.

В целом рекомендуются два варианта составления прогнозных карт изменений геологической среды. **Первый вариант** предусматривает сложение измененности геологической среды, отраженной в двух картах: измененности геологической среды и прогнозных изменений геологической среды в результате влияния существующих источников воздействия или существующих и прогнозируемых. В итоге составляется одна карта, характеризующая степень измененности геологической среды на конец прогнозируемого периода. **Второй вариант** предполагает раздельное использование карты измененности геологической среды и карты прогноза изменений геологической среды, играющей роль карты-накладки (или рубашки), что позволяет оценивать динамику и величину изменений геологической среды за проектируемый период. При необходимости оба варианта могут быть реализованы в едином документе.

6.11. Инженерные изыскания для строительства

Современные стандарты инженерных изысканий для строительства предполагают комплексное изучение природных и технических условий конкретных территорий (СП 47.13330.2012, введен в действие с 01.07.2013). Специально производятся *инженерно-геотехнические изыскания* на отдельных площадках объектов капитального строительства с изученными инженерно-геологическими условиями с целью построения расчетной геомеханической модели взаимодействия проектируемых зданий или сооружений с основанием. В комплекс работ входят: 1) инженерно-геодезические изыскания с выполнением топографических съемок масштабов 1:5 000–1:200; 2) инженерно-геологические изыскания, содержание и детальность которых зависят от стадии проектирования и возведения сооружений; выделяются стадии: а) подготовка документов

территориального планирования; б) подготовка проектной документации; в) проектирование линейных объектов; г) инженерно-геотехнические изыскания для подготовки проектной документации. Дополнительно организуются инженерно-геологические изыскания и геотехнические исследования: 1) при строительстве, эксплуатации и сносе (демонтаж) объектов капитального строительства; 2) в период строительства; 3) в период эксплуатации зданий и сооружений должны проводиться инженерно-геологические изыскания: а) для подготовки проектной документации сноса (демонтажа) объектов; б) в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений и распространения специфических грунтов.

Программа инженерно-геологических изысканий составляется на основе технического задания с учетом стадии проектирования, сложности инженерно-геологических условий и категории возводимых объектов. Содержание программы: 1) сбор, обработка, изучение и анализ материалов изысканий прошлых лет; 2) дешифрирование аэрокосмоснимков; 3) рекогносцировочное обследование, маршрутные и аэровизуальные наблюдения; 4) инженерно-геологическая съемка; 5) проходка горных выработок; 6) инженерно-геофизические исследования; 7) инженерно-геокриологические исследования; 8) сейсмологические и сейсмотектонические исследования территории; 9) сейсмическое микрорайонирование; 10) полевые исследования грунтов; 11) гидрогеологические исследования; 12) лабораторные исследования грунтов и подземных вод; 13) локальный мониторинг компонентов геологической среды и стационарные наблюдения; 14) камеральная обработка материалов и составление технического отчета.

Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий на стадии подготовки проектной документации состоит из следующих разделов:

Введение. Основание для производства изысканий и их задачи, местоположение района, данные о проектируемых объектах, виды и объемы выполненных работ, сроки их проведения, методы производства отдельных видов работ, состав исполнителей, отступления от программы (если они имели место) и их обоснование и др.

Раздел 1. Изученность инженерно-геологических условий. В хронологической последовательности рассматриваются проведенные ранее инженерные изыскания и исследования с указанием границ, масштабов и степени детальности, времени производства, наименование организаций-исполнителей, основные результаты и возможность их использования для составления характеристики инженерно-геологических условий.

Раздел 2. Физико-географические и технические условия, необходимые для оценочного инженерно-геологического районирования и принятия решений относительно условий строительства: рельеф, геоморфология, климат, гидрография, техногенные нагрузки и др.

Раздел 3. Геологическое строение и свойства грунтов. Более подробно характеризуется верхняя часть разреза отложений, сложенных конкретными стратиграфо-генетическими комплексами, условия залегания грунтов, литологическая и петрографическая характеристики выделенных слоев грунтов по генетическим типам. Рассматриваются тектоническое строение и неотектоника, дана характеристика состава, состояния, физических, физико-механических и химических свойств основных типов грунтов и их пространственной изменчивости.

Раздел 4. Гидрогеологические условия. Дана характеристика основных водоносных горизонтов, влияющих на условия строительства и (или) эксплуатацию зданий и сооружений: положение уровня подземных вод, распространение, условия залегания, минерализацию, источники питания.

Раздел 5. Специфические группы. Дается характеристика результатов изучения по специальным программам, встречаемых в районе: а) многолетнемерзлых грунтов; б) просадочных грунтов; в) набухающих грунтов; г) органоминеральных и органических грунтов; д) засоленных грунтов; е) элювиальных грунтов; ж) техногенных грунтов; з) морских водонасыщенных грунтов шельфовой зоны.

Раздел 6. Геологические и инженерно-геологические процессы. Приведена характеристика встречаемых и развитых в районе: а) карстовых и суффозионных процессов; б) склоновых процессов; в) развития селей; г) процессов переработки берегов рек, озер, морей и водохранилищ; д) подтапливаемых территорий; е) сейсмоопасных участков и источников динамических воздействий; ж) участков распространения морских водонасыщенных грунтов шельфовой зоны. Оцениваются состояние и эффективность существующих сооружений инженерной защиты и дается прогноз развития перечисленных процессов во времени и пространстве, в том числе в зоне взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой.

Раздел 7. Инженерно-геологическое районирование. Излагаются обоснование и характеристики выделенных таксонов на карте инженерно-геологического районирования.

Заключение. Сделаны выводы по результатам проведенных инженерно-геологических изысканий и даны рекомендации для принятия проектных решений.

Список используемых источников – приводится перечень фондовых и опубликованных материалов, использованных при составлении технического отчета.

Графические приложения к техническому отчету включают: 1) карту фактического материала; 2) карту инженерно-геологических условий с таблицей характеристик выделенных таксонов; 3) карту инженерно-геологического районирования; 4) геологические и инженерно-геологические разрезы (в том числе по материалам предыдущих изысканий и другим источникам); 5) колонки или описания горных выработок (в том числе по материалам изысканий прошлых лет и другим источникам); 6) инженерно-геологические разрезы, в том числе по участкам проектируемых зданий и сооружений с указанием на них их контуров и подземной части; 7) графики зондирования, материалы обработки результатов полевых исследований грунтов, опытно-фильтрационных работ, геофизические разрезы и графики, графики стационарных наблюдений и другие графические материалы выполненных работ; 8) специальные карты (при необходимости) использования территории, техногенной нагрузки и др.; 9) по трассам линейных объектов продольные профили с нанесенными на них инженерно-геологическими данными. На участки индивидуального проектирования составляются паспорта сооружений.

Текстовые приложения к техническому отчету: 1) техническое задание; 2) программа работ; 3) сертификаты, свидетельства и допуски; 4) таблицы и графики лабораторных определений показателей свойств грунтов и химического состава подземных вод с результатами их статистической обработки (по материалам изысканий прошлых лет и другим источникам); 5) таблицы результатов геофизических и полевых исследований грунтов, стационарных наблюдений и других выполненных работ (по материалам предыдущих изысканий и другим источникам); 6) описание точек наблюдений (или их результаты в иной форме); 7) каталоги координат и отметок выработок, точек зондирования, геофизических исследований и при необходимости другие материалы (по материалам изысканий прошлых лет и другим источникам).

6.12. Инженерно-экологические изыскания для строительства

Цели и задачи инженерно-экологических изысканий (СП 47.13330.2012, введен в действие с 01.07.2013 г.): 1) оценка современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей среды под влиянием техногенной нагрузки и размещения новых производств; 2) экологическое обоснование строительства и иной хозяйственной деятельности; 3) обес-

печение благоприятных условий жизни населения; 4) обеспечение экологической безопасности территорий, зданий и сооружений; 5) предотвращение, снижение или ликвидация неблагоприятных воздействий на окружающую среду; 6) экологическое обеспечение организации производительных сил, схем расселения, отраслевых схем и программ развития с учетом рационального природопользования; 7) выделение зон с особыми условиями использования территорий и территорий, подверженных риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; 8) охрана природной среды; 9) сохранение уникальности природных экосистем региона и его демографических особенностей; 10) сохранение историко-культурного наследия; 11) оценка экологических рисков при реализации намечаемой деятельности; 12) определение санитарно-гигиенических ограничений – зон санитарной охраны, санитарно-защитных зон и *санитарных разрывов* (это минимальные расстояния до источников вредного воздействия); 13) разработка предложений и рекомендации по организации природных мероприятий и экологического мониторинга.

Цели и задачи инженерно-экологических изысканий дополнительно уточняются в зависимости от стадии проектирования видов документации: 1) подготовка документов территориального планирования; 2) подготовка документации по планировке территории и подготовке проектной документации по выбору площадки нового строительства или выбора варианта трассы; 3) подготовка проектной документации: 3а) проектная документация нового строительства; 3б) проектная документация реконструкции или сноса (демонтажа) объектов.

Программа инженерно-экологических изысканий составляется на основе технического задания с учетом стадии проектных работ, вида строительства, категорий проектируемых зданий и сооружений, особенностей природно-технической обстановки и степени экологической изученности территории. Содержание программы: 1) сбор, обработка и анализ опубликованных и фондовых материалов, данных о состоянии природной среды и предварительная оценка экологического состояния территории; 2) экологическое дешифрирование аэрокосмоснимков; 3) маршрутные наблюдения; 4) проходка горных выработок для получения экологической информации; 5) эколого-гидрогеологические исследования; 6) эколого-гидрологические исследования; 7) эколого-геоэкологические исследования; 8) почвенные исследования; 9) геоэкологическое опробование и оценка загрязненности атмосферного воздуха, почв, грунтов, поверхностных и подземных вод; 10) лабораторные химико-аналитические исследования; 11) исследование и оценка радиационной обстановки;

12) газохимические исследования; 13) исследование и оценка физических воздействий; 14) биологические (флористические, геоботанические, фаунистические) исследования; 15) социально-экономические исследования; 16) санитарно-эпидемиологические и медико-биологические исследования; 17) археологические исследования; 18) камеральная обработка материалов и составление отчета.

Инженерно-экологические изыскания проводятся в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный. Масштабы инженерно-экологических изысканий: 1) генеральные планы поселений и городских округов: 1:10 000, 1:5 000, 1:2 000; 2) проекты планировки: 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000; 3) проектная документация площадных объектов: 1:10 000–1:5 000, 1:2 000, 1:1 000; 4) проектная документация линейных объектов: 1:50 000, 1:25 000; 5) на шельфе: 1:10 000–1:25 000, при необходимости – 1:1 000–1:5 000; 6) для линейных объектов допускаются масштабы 1:100 000–1:1 000 000. Экологические или ландшафтно-экологические карты на изученную территорию, прилагаемые к техническим отчетам, для проектной документации составляются в масштабах: 1) для территорий жилой застройки – 1:5 000–1:500; 2) незастроенных районов – 1:5 000; 3) морские участки – 1:1 500 000–1:1 000.

Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для обоснования документов территориального планирования состоит из следующих разделов:

Введение Назначение и уровень разрабатываемых документов, основные задачи. Краткие данные о территории планирования, сроки проведения работ и методы исследований, состав исполнителей, обоснование выполненных работ и др.

Раздел 1. Изученность экологических условий. Представлены материалы специально уполномоченных государственных органов в области охраны окружающей среды и организаций, проводящих экологические исследования и мониторинг окружающей природной среды, а также материалов инженерно-экологических изысканий прошлых лет; данные по объектам-аналогам, функционирующим в сходных ландшафтно-климатических и геолого-структурных условиях, аналитическое обобщение перечисленных материалов с учетом срока давности и достоверности проведенных в них материалов.

Раздел 2. Краткая характеристика природных и техногенных условий. Рассмотрены климатические и ландшафтные условия, региональные особенности местности (урочища, фации, их распространение), освоенность (нарушенность) местности, заболачивание, опустынивание, эрозия, особо охраняемые территории (статус, ценность, назначение, расположение),

условия инженерно-геологические, геоморфологические, гидрогеологические и гидрологические.

Раздел 3. Почвенно-растительные условия. 3.1. Почвенный покров. Дана характеристика типов и подтипов почв, их площадное распределение, агрохимические свойства, пригодность для целей рекультивации. 3.2. Растительность. Описаны преобладающих типов зональной растительности и основных растительных сообществ, установленный статус и режим охраны, агроценозы (искусственные биоэкосистемы), донная растительность (макрофитобентос), фитопланктон (в водных объектах), перечень, состояние и характеристика местообитаний редких, уязвимых и охраняемых видов растений. 3.3. Животный мир. Приведены основные данные о видовом составе, обилии видов, распределении по местообитаниям, пути миграции, тенденции изменения численности, особо охраняемых, особо ценных и особо уязвимых видах и системе их охраны.

Раздел 4. Хозяйственное использование территорий. Показаны структура земельного фонда, традиционное природопользование, инфраструктура, виды мелиораций, данные о производственной и непроизводственной сферах, основные источники загрязнения.

Раздел 5. Социально-экономические условия. Показаны численность, занятость и уровень жизни населения, демографическая ситуация, медико-биологические условия и заболеваемость.

Раздел 6. Объекты культурного наследия. Указано наличие в пределах района размещения объектов капитального строительства и в зоне их влияния объектов, поставленных на охрану, выявленных объектов культурного наследия, в том числе объектов, обладающих признаками объектов культурного наследия, их охранных зон и сведений об установленных ограничениях на ведение хозяйственной деятельности.

Раздел 7. Современное экологическое состояние района изысканий. Приведены комплексная (ландшафтная) характеристика, оценка состояния компонентов природной среды, наземных и водных экосистем и их устойчивости к техногенным воздействиям и возможности восстановления; данные по радиационному, химическому и другим видам загрязнений атмосферного воздуха, почв, донных отложений, поверхностных и подземных вод; данные о санитарно-эпидемиологическом состоянии компонентов природной среды; сведения об источниках водоснабжения и защищенности подземных вод, наличии зон санитарной охраны источников водопользования и санитарно-защитных зон (разрывов), особо охраняемых природных территорий, месторождениях полезных ископаемых, скотомогильниках и биотермических ямах, свалках и полигонах твердых бытовых отходов (ТБО).

Раздел 8. Предварительный прогноз возможных неблагоприятных изменений природной и техногенной среды. Даны оценка возможного влияния проектируемых объектов на комплексное развитие территории, описание зон с особыми условиями использования территорий, перечень и характеристика основных факторов риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Раздел 9. Рекомендации и предложения по предотвращению и снижению неблагоприятных техногенных последствий, восстановлению и оздоровлению природной среды.

Графические приложения к техническому отчету: 1) карта-схема территориального планирования с выделением: а) особо охраняемых природных территорий (с учетом функционального зонирования); б) участков размещения объектов культурного наследия и их охранных зон; в) водоохранных зон; г) категорий защитности лесов; д) особо ценных земель; е) участков скопления видов птиц; ж) ценных промысловых и охотничьих видов с указанием путей и периода миграции млекопитающих; з) участков и периодов нереста ценных промысловых видов рыб; и) зон санитарной охраны; к) источников водоснабжения; 2) карты-схемы экологических опасностей с выделением: а) существующих и захороненных свалок; б) скотомогильников; в) выявленных загрязнений почв; г) донных грунтов; д) поверхностных и подземных вод; е) санитарно-защитных зон и разрывов; ж) действующих объектов и предприятий; з) территорий, подверженных риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В технический отчет по инженерно-экологическим изысканиям для подготовки документации по планировке территории и подготовке проектной документации по выбору площадки нового строительства или выбора варианта трассы дополнительно включаются: 1) анализ возможных непрогнозируемых последствий строительства и эксплуатации объектов – возможные залповые и аварийные выбросы и сбросы загрязняющих веществ и др.; 2) предложения к программе экологического мониторинга; 3) в заключении излагаются основные выводы по результатам выполненных инженерно-экологических изысканий, даются рекомендации для принятия проектных решений и решений по охране окружающей среды, оценивается воздействие проектируемых объектов на окружающую среду, обосновывается необходимость выполнения дальнейших изысканий. В список графических приложений включаются: 1) карта фактического материала; 2) карта (схема) современного экологического состояния; 3) карта прогнозируемого экологического состояния; 4) карта экологического районирования; 5) геоэкологические карты и схемы зон

воздействия объектов и прилегающих территорий с учетом возможных путей миграции, аккумуляции и выноса загрязняющих веществ; б) другие графические материалы в соответствии с техническим заданием и программой работ (ландшафтные, почвенные, геоботанические, зоологические, лесо- и землеустроительные карты и др.).

В технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для проектной документации нового строительства дополнительно включаются следующие разделы и сведения:

Раздел. Современное экологическое состояние территории. Приведены уточненные характеристики химического, физического, биологического и других видов загрязнения природной среды; сведения о реализованных мероприятиях по инженерной защите и их эффективности.

Раздел. Особо охраняемые природные территории и другие экологические ограничения природопользования – сведения о существующих, проектируемых и перспективных особо охраняемых природных территориях (категория, значение, цель создания, основные объекты охраны, оценка своевременного состояния природных комплексов, местоположение), их охранных (буферных) зонах, местах массового обитания редких и охраняемых таксонов растений и животных, включая водно-болотные угодья и ключевые орнитологические территории, объектах всемирного культурного и природного наследия, особо ценных землях, защитных лесах и особо защитных участках лесов, запретных для добычи (вылова) водных биоресурсов в районах промысла, водоохраных зонах и прибрежных защитных полосах, зонах санитарной охраны, санитарно-защитных зонах и др.

Раздел. Прогноз возможных неблагоприятных последствий. Уточняются, при необходимости, на основании прогнозных расчетов и моделирования характеристики ожидаемого загрязнения окружающей природной среды (по компонентам), границы, размеры и конфигурация зоны влияния, а также районов возможного распространения последствий намечаемой деятельности, включая последствия возможных аварий.

В технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для проектной документации реконструкции или сноса (демонтажа) объектов дополнительно включаются сведения: 1) изменения природной и техногенной среды за период эксплуатации объектов; 2) показатели загрязнённости утилизируемых или перемещаемых грунтов в процессе реконструкции или сноса (демонтажа) объектов; 3) рекомендации по реконструкции объектов или их сносе (демонтаже), корректирующие мероприятия по охране окружающей среды.

7. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОМ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИЙ

7.1. Взаимодействие объектов техносферы с геологической средой

В результате взаимодействия объектов техносферы с геологической средой формируется комплекс особых эколого-инженерно-геологических условий, характер которых обусловлен в каждом конкретном случае взаимосвязями и взаимовлиянием трех основных составляющих: геологической среды, техногенных воздействий на геологическую среду и человека. Между этими составляющими элементами существуют прямые и обратные связи: 1) прямая связь, отражающая функции управления человека над объектами техносферы; 2) обратная связь, отражающая прямое влияние объектов техносферы на человека, которое имеет определенный экологический аспект; 3) прямая связь, отражающая техногенное воздействие человека через объекты техносферы на геологическую среду с образованием зоны влияния, которая является предметом изучения инженерной геоэкологии и объектом мониторинга геологической среды; 4) обратная связь, отражающая реакцию зоны влияния геологической среды на техногенные воздействия, которая также является предметом исследования инженерной геоэкологии; 5) прямая связь, отражающая управляющее воздействие человека на зону влияния, которое выражается в ее оценке, экранировании, стабилизации и т.д.; 6) обратная связь, отражающая реакцию зоны влияния по отношению к человеку (связи 5 и 6 несут экологическое содержание); 7) прямая связь – отражает возможное непосредственное влияние человека на геологическую среду вне сферы техногенного воздействия (является незначительным); 8) обратная связь в виде реакции геологической среды, не затронутой техносферой, на человека (катастрофические и другие геологические процессы и явления).

Таким образом, формирование зоны влияния объектов техносферы на геологическую среду зависит от взаимосвязей 3–6 (перечисленных выше), исследование которых представляет наибольший теоретический и практический интерес для инженерной геоэкологии. При этом данную зону влияния следует рассматривать как зону эколого-геологического влияния, так как экологический аспект является главнейшим фактором оценки техногенного воздействия объектов техносферы на геологиче-

скую среду. Границей этой зоны являются пределы, за которыми изменения геологической среды отсутствуют или являются несущественными с экологической точки зрения. Поэтому важной задачей является разработка эколого-геологических критериев выделения зон влияния техносферы на геологическую среду. Размеры зон влияния будут зависеть от жесткости экологических требований, заложенных в критериях их выделения. Данные о границах и форме зоны влияния имеют значение для решения ряда практических задач:

- 1) уточнения общих закономерностей, характера и масштабов изменений геологической среды под воздействием объектов техносферы (инженерные сооружения, линейные трассы, выемки, карьеры и т.д.);
- 2) выбора методики и определения минимально необходимого объема инженерно-геоэкологических исследований на конкретных объектах;
- 3) прогнозирования природных и антропогенных геологических процессов и явлений на период строительства и во время эксплуатации сооружений;
- 4) составления инженерно-геоэкологических моделей массивов горных пород и др.

Эколого-инженерно-геологические условия формирования техносферы зависят от *качества территории* (новый термин). Качество территории (как освоенной, так и предназначенной к освоению) является характеристикой геологической среды и функционирующих природно-технических геосистем, отражающей степень ее полезности и экологической безопасности для человека.

Понятие «качество территории» связано с понятием «риск», которое используется в практике решения вопросов инженерной защиты территорий. Фактор риска – это воздействие, приводящее к экстремальной ситуации, обусловленное неблагоприятными антропогенными процессами и явлениями. На каждой конкретной территории необходимо выделять различные факторы риска, которые могут быть внутренними и внешними, существующими и потенциальными, зональными, региональными, локальными, детальными и точечными, постоянными и временными, естественными и искусственными, закономерными и случайными и др.

7.2. Добыча полезных ископаемых

Под влиянием добычи полезных ископаемых в геологической среде происходят следующие техногенные изменения:

1. Меняется ландшафт местности, исключаются из землепользования и застройки крупные территории, снижается комфортность среды обитания, возникают отвалы, терриконы и хвостохранилища.

2. Изменяются геологическое строение горно-рудных районов, геодинамическое и напряженное состояние массивов горных пород, геохимия ландшафтов и верхней части литосферы в зоне влияния эксплуатации месторождений.

3. Нарушаются гидрогеологические условия и гидродинамический режим в целом. Изменяются режим и состав подземных вод и поверхностных водотоков. Водоемы загрязняются рудничными водами. Нарушается водоснабжение промышленных районов.

4. Изменяются геотермическое поле и естественные геофизические поля.

5. Меняется интенсивность и направленность природных геологических процессов и явлений.

6. Развиваются новые инженерно-геологические процессы и явления – оседания и провалы дневной поверхности над выработанным пространством и извлеченными полезными ископаемыми (включая водные ресурсы), оползневые деформации на склонах, деформации в бортах карьеров и горных выработках, деформации откосов отвалов, терриконов и подстилающих их материнских массивов горных пород, прорывы пльвунов, активизируются карстово-суффозионные, мерзлотные и физико-химические процессы (окисление, выщелачивание, выветривание) и др.

Основные рекомендации по рациональному использованию недр и охране геологической среды при добыче полезных ископаемых

1. Открытие новых месторождений с благоприятными инженерно-геологическими условиями их эксплуатации.

2. Снижение кондиционных требований к содержанию полезных ископаемых в рудах.

3. Повышение технической оснащенности и применение эффективных технологий эксплуатации глубоко залегающих месторождений со сложными инженерно-геологическими условиями.

4. Полное извлечение руд из разрабатываемых месторождений и максимальное извлечение и комплексное использование всех полезных компонентов в рудах.

5. Закладка выработанного подземного пространства вмещающими, так называемыми пустыми, горными породами.

6. Рекультивация земель и возвращение их в среду обитания.

7. Организация на месторождениях эффективной постояннодействующих инженерно-геологической и гидрогеологической служб.

8. Совершенствование прогноза возможных инженерно-геологических процессов и учет их при проектировании и эксплуатации горных предприятий.

9. Разработка и реализация программ: а) эффективного использования откачиваемых подземных вод в ходе осушения месторождений; б) обезвреживания опасных отходов при обогащении и переработке полезных ископаемых; в) очистки рудничных вод и других.

10. Участие государства в международных программах по мониторингу геологической среды.

7.3. Городское и промышленное строительство

Интенсивность воздействия города на геологическую среду зависит от его размеров, возраста, структуры специализации и функциональности. В структуру современных городов входят следующие зоны:

1. Жилая – селитебная – жилые микрорайоны, общественные здания и сооружения, улицы, площади, скверы и бульвары общественного пользования.

2. Промышленная – промышленные предприятия и связанные с ними транспортные сооружения, склады и дороги.

3. Коммунально-складская – коммунальные предприятия, склады и гаражи.

4. Внешнего транспорта – железнодорожные станции, аэропорты, речные пристани, морские порты.

5. Прочие земли в городской черте с размещением санитарно-защитных зон и санитарно-технических сооружений, подсобных хозяйств, питомников, кладбищ и др.

6. Пригородная зона, включающая лесопарки, места отдыха и резервные земельные угодья.

В зависимости от специализации выделяются города: административные, промышленные, горнодобывающие, гидроэнергетические, транспортные, торговые, военные, курортные, учебные, научные, музейные и др.

В настоящее время преобладают города многофункциональные, сочетающие следующие функции: административные, производственные, транспортные, торговые, научные, культурные и др. Основным градообразующим фактором является развитие промышленности.

Антропогенное воздействие города на геологическую среду исключительно многообразно. Главными факторами здесь являются:

1. Изменение рельефа для градостроительных целей.

2. Изменение естественного ландшафта под влиянием: а) вырубки лесов и уничтожения других видов растительности; б) промышленных, строительных, хозяйственных и бытовых твердых, жидких и газообразных отходов с образованием отвалов, свалок и хвостохранилищ; в) сброса технических и сточных вод.

3. Изменение геологического строения территорий в результате горизонтальной и вертикальной планировки физической поверхности, терраирования склонов, устройства дорожных выемок, насыпей, кюветов, валов, рвов, котлованов, траншей, намывных строительных площадок, возведения подземных сооружений и коммуникаций и т.д.

4. Нарушение напряженного состояния массивов горных пород в связи с изменением геологического строения и под влиянием статических и динамических нагрузок от веса инженерных сооружений, вибрации, вызванной работой транспорта, технологических процессов и т.д.

5. Изменение геотермического поля и естественных геофизических полей под влиянием физического воздействия или «загрязнения»: а) в результате теплового или температурного воздействия возникают техногенные геотермические аномалии с повышением фоновых температур на 2–6, 10°C и более; б) накапливаются блуждающие токи в связи с утечками электрического тока от энергоустановок, силовых подстанций, электрифицированного транспорта и т.д. Они формируют искусственные электрические поля, превышающие по напряженности фоновое на три порядка и более; в) в условиях больших городов возникают антропогенные физические поля – гравитационные, магнитные, сейсмические, радиоактивные.

6. Нарушение гидрологических и гидрогеологических условий нахождения поверхностных и подземных вод под влиянием длительных откачек, гидротехнических сооружений, дренажных систем и водосточной сети, устройства водохранилищ, прудов, каналов, искусственного полива, реконструкции рек и регуляции их стока, утечек воды из водонесущих коммуникаций (водопроводы, теплосети, канализация), снегоуборки, изменения инфильтрации грунтов в ходе застройки и применения водонепроницаемых покрытий и т.д.

7. Химическое загрязнение как результат изменения геохимии геологической среды под влиянием выбросов токсических, канцерогенных, радиоактивных и других вредных соединений, таких как нитраты, пестициды, фенолы, нефтепродукты, цианиды, мышьяк, ртуть, селен и др.

8. Бактериологическое загрязнение, вызванное изменением состава атмосферы (содержание кислорода, углекислоты и других компонентов), поверхностных и подземных вод под влиянием химического загрязнения, деятельности агропромышленных комплексов и большого скопления населения.

9. Изменение микроклимата.

10. Изменение природных геологических процессов и явлений.

11. Развитие антропогенных геологических процессов и явлений – оползней, обвалов, карста, эрозии (например, оврагообразование), де-

формаций грунтов, выветривания, заболачивания и подтопления территорий, суффозий и т.д. Воздействия на геологическую среду в зависимости от типа и характера делятся на: 1) целенаправленные и стихийные; 2) прямые и косвенные (влияние на микроклимат, изменение инфильтрации грунтов асфальтовыми покрытиями, снегоуборки и др.); 3) обратимые и необратимые; 4) скрытые и проявленные (подземный карст, динамика подземных вод и др.); 5) по длительности – вековые (сотни лет), длительные (десятки лет), кратковременные (измеряются годами); 6) по масштабам проявления – глобальные, региональные, крупноплощадные, мелкоплощадные (или местные), линейные и точечные; 7) по глубине влияния – наземные (имеют повсеместное распространение), неглубокие (глубина до 10–20 м, распространены часто); глубинные (глубина до 100–300 м, распространены редко); сверхглубинные (глубина от 300 м до 10 км, распространены весьма редко).

Основные рекомендации по рациональному использованию и охране геологической среды при городском и промышленном строительстве

1. Сохранение эстетики и красоты природных ландшафтов – памятников природы, будущих зон отдыха, заповедников, исторических мест, туристических маршрутов, мелкой гидрографической сети и т.п.

2. Ограничение влияния вредных факторов воздействия на геологическую среду.

3. Сохранение динамического равновесия среды обитания и тех элементов геологической среды, которые участвуют в процессе ее экологического восстановления и нейтрализации вредного воздействия.

4. Раздельное размещение жилых массивов и промышленных объектов при наличии транспортных возможностей.

5. Улучшение природной среды городов с применением озеленения, эффективного изменения гидрографической сети и водного режима – осушения или орошения земель, рекультивации, технической мелиорации грунтов и т.д.

6. Прогнозирование и предупреждение развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов, явлений и изменения микроклимата.

7. Создание новой геологической среды.

8. Составление карт-схем: а) очагов загрязнения геологической среды; б) реконструкции природного ландшафта; в) антропогенных геологических процессов и явлений; г) территорий, не подлежащих застройке и др. Разработка и реализация на основе имеющихся карт-схем программ соответствующих мероприятий.

Кроме того, в зависимости от особенностей инженерно-геологических условий территорий, характера геологических процессов и структур городской застройки выделяются *геолого-градостроительные комплексы*. Для каждого типа комплексов разработаны классификации нормативных защитных мероприятий от воздействия инженерных сооружений на геологическую среду, которые подлежат обязательному выполнению.

7.4. Гидротехническое строительство

Гидротехнические сооружения – плотины гидроэлектростанций, водохранилища, каналы, искусственные водоемы и другие оказывают существенное влияние на геологическую среду:

1. Меняется ландшафт территорий. Из землепользования изымаются значительные площади.

2. Нарушается естественное напряженное состояние массивов горных пород. Возникают новые аномальные гравитационные поля.

3. Резко изменяются гидрология и гидрогеология территорий. Поднимаются уровни водоносных горизонтов.

4. Изменяются фильтрационные свойства горных пород.

5. Меняется микроклимат.

6. Нарушается естественное геотермическое поле в зоне влияния водохранилищ.

7. Изменяются геохимия ландшафта и химический состав вод. Формируются антропогенные гидрогеохимические аномалии.

8. Активизируются новые геологические процессы и явления – заболачивание и подтопление территорий, деформации массивов горных пород, микроземлетрясения, разрушение и оползание береговой зоны искусственных водоемов и т.д.

Основные рекомендации по рациональному использованию и охране геологической среды при гидротехническом строительстве

1. Составление кондиционных технико-экономических обоснований на возведение гидротехнических сооружений определенного типа.

2. Разработка моделей гидротехнических сооружений с учетом максимального количества параметров и оценки последствий их влияния на геологическую среду.

3. Выбор оптимальных проектов сооружений с наименьшим вредным воздействием на геологическую среду при сохранении показателей их эффективной эксплуатации.

4. Применение новых технических решений при возведении гидротехнических сооружений.

5. Прогноз развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений.

6. Оперативное применение эффективных мероприятий по предупреждению негативных инженерно-геологических процессов и явлений.

7.5. Мелиоративное строительство

Выделяются два типа гидромелиоративных систем: 1) оросительные – возводятся в аридной зоне недостаточного увлажнения и 2) осушительные – в гумидных зонах избыточного увлажнения. Мелиоративные системы в земледелии и связанные с ними гидротехнические сооружения для регулирования и перераспределения стока поверхностных водотоков и водоемов оказывают на геологическую среду существенное влияние:

1. Изменяется природный ландшафт и микроклимат.

2. Нарушается сложившийся водный баланс поверхностной и подземной гидросферы (уровни подземных водоносных горизонтов; возникают наводнения и т.д.).

3. Меняется состав растительности и почвенного покрова.

4. Изменяются физико-механические и фильтрационные свойства горных пород.

5. Происходит обмеление речной сети.

6. Меняется химический и минеральный состав грунтов, возможно их интенсивное засоление.

7. Загрязняются поверхностные и подземные воды удобрениями и ядохимикатами.

8. Загнивают водоемы и гибнут их обитатели (в частности рыбы).

9. Заболачиваются земли на значительных площадях и происходит их затопление.

10. Развиваются негативные инженерно-геологические процессы и деформации грунтов вдоль каналов и выемок.

Основные рекомендации по рациональному использованию и охране геологической среды при мелиоративном строительстве

1. Проведение специальных инженерно-геологических и гидрогеологических съемок с прогнозной оценкой изменения геологической среды в ходе мелиоративного строительства.

2. Предотвращение загрязнения поверхностных и подземных вод ядохимикатами и удобрениями.

3. Создание новых управляемых агроэкологических систем с направленным положительным воздействием на природные ландшафты.
4. Предупреждение засоления орошаемых земель за счет утилизации, захоронения или опреснения высокоминерализованных дренажных вод.
5. Строительство осушительных систем польдерного типа (с машинным водоподъемом) с сохранением конфигурации русел рек.
6. Нежелательно осушение верховых болот и водоемов, питающих истоки речных систем.
7. Максимальное сокращение добычи торфа на верховых болотах.
8. Выдерживание оптимального соотношения осушенных и переувлажненных земель, обеспечивающего минимальное вредное воздействие на природную среду.
9. Использование моделей при проектировании мелиоративных систем.
10. Моделирование инженерно-геологических процессов, возникающих под влиянием мелиорации.
11. Разработка системы регулирования водного баланса территорий для создания оптимального водного, теплового и питательного режимов для почв.
12. Изучение процессов эволюции ландшафта под влиянием природных и мелиоративных факторов.
13. Оценка водной и ветровой эрозии почв и грунтов, а также других процессов и явлений и разработка эффективных мероприятий для повышения устойчивости горных пород против деформаций, размыва и выдувания.
14. Использование новейших методов изучения геологической среды для обоснования мелиоративного и водохозяйственного строительства (дистанционные, аэрокосмические методы – телевизионная, инфракрасная, микроволновая, многоспектральная радиолокационная и лазерная съемки; геофизические методы – электроразведочные и сейсмические; методы статического и динамического зондирования для определения физико-механических свойств горных пород, прессиометрический метод оценки деформационных грунтов).

7.6. Транспортное строительство

К транспортным сооружениям относятся аэропорты, автомобильные и железные дороги и сопровождающие их насыпи, выемки, мосты, тоннели и др. Ширина полосы отвода земель под транспортное строительство составляет от 20 до 100 м. Главная особенность транспортных сооружений

– соблюдение необходимых продольных уклонов в зависимости от типа, категории дорог и условий местности.

Влияние транспортных сооружений на геологическую среду определяется следующими факторами:

1. Изменение природного ландшафта и появление новых геоморфологических элементов.

2. Изменение геологического строения участков на трассах и напряженного состояния массивов горных пород. Интенсивное воздействие на горные породы динамических нагрузок при эксплуатации транспортных сооружений.

3. Нарушение поверхностного стока, условий снегоотложения и фильтрационных свойств горных пород.

4. Изменение режима грунтовых вод.

5. Нарушение естественных условий тепло- и массообмена грунтов.

6. Изменение мощности деятельного слоя в зонах развития многолетнемерзлых горных пород.

7. Развитие инженерно-геологических процессов и явлений – склоновой эрозии, выветривания, деформаций горных пород и др.

Основные рекомендации по рациональному использованию и охране геологической среды при транспортном строительстве

1. Разработка основ дорожно-климатического районирования территорий в зависимости от климата, геоморфологии, характера увлажнения грунтов, их температурного режима и гидрогеологических условий.

2. Максимальное сохранение естественного рельефа и растительности.

3. Обеспечение минимального воздействия природных факторов на элементы дорожных конструкций.

4. Проведение специальных инженерно-геологических изысканий с оценкой гидрогеологических условий и устойчивости элементов рельефа на линии будущих коммуникаций.

5. Соблюдение нормативных требований устойчивости земляного полотна и использование местных грунтов при его возведении.

6. Обеспечение устойчивости откосов выемок и насыпей.

7. Прокладка трасс с использованием водоразделов с минимальным количеством и наименьшей глубиной выемок

8. Устройство эффективных дренажных систем для сохранения транспортных сооружений от разрушения.

9. Сохранение природной границы зон многолетней мерзлоты.

10. Предупреждение развития инженерно-геологических процессов и явлений – оползней, осыпей, склоновой эрозии, деформаций, размыва грунтов и т.д.

7.7. Эксплуатация подземных вод

Подземные воды в значительных количествах используются для хозяйственно-питьевых нужд, промышленного производства и других целей. Интенсивные откачки подземных вод вызывают глубокие изменения не только подземной гидросферы, но и геологической среды в целом:

1. Нарушается взаимосвязь поверхностных и подземных вод.
2. Нарушается водный баланс речного стока – изменяется русловой режим, заиливаются русла водотоков, исчезают малые реки.
3. Осушаются болота и озера, исчезают родники.
4. Изменяется влажность почв, растёт мощность зоны аэрации, осушаются водонасыщенные комплексы горных пород.
5. Ухудшается комфортность существования растительных сообществ и изменяется характер растительности.
6. Изменяются условия питания и разгрузки подземных вод.
7. Снижаются уровни грунтовых вод и других подземных водоносных горизонтов.
8. Нарушаются температурный режим и химический состав подземных вод.
9. Ухудшается качество подземных вод – изменяется их минерализация с последующим загрязнением.
10. Формируются техногенные гидрогеохимические аномалии.
11. Развиваются депрессионные воронки, вызывающие осадки значительных по площади участков дневной поверхности, деформации зданий и сооружений и т.п.
12. Изменяются водно-физические свойства горных пород.
13. Развиваются суффозионно-карстовые и другие антропогенные геологические процессы и явления.
14. В массивах горных пород нарушается естественное геостатическое поле.
15. Нарушается температурный режим мерзлых горных пород с развитием зон сквозных таликов.

Основные рекомендации по рациональному использованию и охране геологической среды при эксплуатации подземных вод

1. Искусственное пополнение запасов подземных вод переводом поверхностного стока в подземный.
2. Заложение водозаборов выше по потоку подземных вод относительно возможных участков загрязнения.
3. Устройство вокруг водозаборов зон санитарной охраны.
4. Изоляция источников загрязнения от участков питания подземных вод.
5. Разработка критериев рационального отбора подземных вод с учетом природоохранных требований.
6. Организация сети специальных стационаров по наблюдению естественного и нарушенного состояния геологической среды и подземной гидросферы для разработки природоохранных критериев.
7. Моделирование состояния геологической среды с прогнозом развития возможных негативных антропогенных геологических процессов и явлений.
8. Составление комплексных региональных схем прогнозного антропогенного воздействия на окружающую природную среду хозяйственной деятельности человека для разработки принципов рационального использования геологической среды и водных ресурсов.

8. МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Мониторинг геологической среды – это система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления геологической средой или ее частью, проводимых по заранее намеченной программе в целях обеспечения оптимальных экологических условий для человека в пределах рассматриваемой природно-технической геосистемы.

Выделяются виды мониторинга геологической среды: 1) комплексный мониторинг геологической среды – наблюдения ведутся за всеми элементами геологической среды); 2) частный мониторинг геологической среды: а) гидрогеологический (его объекты – подземные водные ресурсы); б) геоморфологический (ландшафтный) мониторинг; в) геодинамический (мониторинг антропогенных процессов); г) геокриологический мониторинг (мониторинг криолитозоны); д) почвенный. В зависимости от типа инженерно-хозяйственного освоения территорий выделяются: мониторинг городских территорий, промышленных районов, районов горнодобывающих предприятий, гидротехнических сооружений, районов сель-

скохозяйственного и гидромелиоративного освоения, районов АЭС, транспортных линейных сооружений и других.

Разработаны системы и организационные службы мониторинга геологической среды и других компонентов окружающей природной среды. Главная цель мониторинга геологической среды – установление закономерностей развития геологической среды и ее частей в природно-технических геосистемах, разработка прогнозов этого развития и выработка на их основе рекомендаций и управляющих решений по оптимизации функционирования природно-технических геосистем.

Общая структура мониторинга геологической среды состоит из следующих систем:

I. Иерархическая система. Выделяются уровни мониторинга: 1) детальный – предприятий, месторождений, хозяйственных комплексов и т.п.; 2) локальный – городов и районов; 3) региональный – краев и областей; 4) национальный – включает территорию государства (осуществляет мониторинг окружающей среды); 5) глобальный – межгосударственная система мониторинга окружающей среды.

II. Функциональная система. Ее элементы – сбор информации, оценка информации, прогнозирование, рекомендации по управлению. Основой функциональной системы является автоматизированная информационная система (АИС). Она состоит из 4 основных взаимосвязанных блоков. *Первый блок.* Автоматизированная информационно-поисковая система (АИПС) – это база данных из наблюдательной сети о состоянии геологической среды территории. Здесь они накапливаются в банке данных, предварительно обрабатываются и сортируются. *Второй блок.* Автоматизированная система обработки данных (АСОД) по количественной и качественной обработке всей информации (с помощью ЭВМ). *Третий блок.* Автоматизированная прогнозно-диагностическая система (АПДС) с составлением прогнозов о состоянии геологической среды. *Четвертый блок.* Автоматизированная система управления (АСУ) с разработкой рекомендаций и решений по управлению природно-технических геосистем.

Основу технического обеспечения АИС составляют различные компьютеры. Основой математического обеспечения АИС являются как минимум 4 блока программ, которые сопровождаются своими управляющими программами. *Первый блок.* Поисковые программы (база данных, каталоги, редакторы текстов, программы – автоматизированного проектирования и картографирования, редактирования изображений и т.д.). *Второй блок.* Стандартные программы статистической обработки данных. *Третий блок.* Прогнозно-диагностические программы и программ-

ные средства, включая различные модели. *Четвертый блок.* Оптимизационные программы (разработка управляющих решений).

III. Система объектов мониторинга геологической среды.

1. Почвы, горные породы, искусственные грунты. 2. Подземные воды. 3. Рельеф. 4. Природные и антропогенные геологические процессы. 5. Система инженерной защиты.

Могут выделяться подсистемы мониторинга какого-либо конкретного элемента геологической среды (например, мониторинг гидрогеологический, геоморфологический, почвенный, экзогенных геологических процессов и др.). Внутри подсистем могут выделяться более узкие подсистемы (три уровня) мониторинга, например: в подсистеме гидрогеологического мониторинга – мониторинг загрязнения подземных вод, истощения или пополнения запасов подземных вод, подтопления или осушения территорий, фонового режима подземных вод и т.д.; в подсистеме мониторинга экзогенных геологических процессов – мониторинг конкретных процессов (оползнеобразования, формирования селей, абразии, ветровой эрозии, заболачивания и др.).

IV. Система производственных работ (производственная база мониторинга). В нее входят все виды работ по получению информации о геологической среде: геолого-геофизические, инженерно-геологические, инженерно-геоэкологические, гидрогеологические, геоморфологические (рекогносцировочные, режимные, оценочные, тематические и др.), все виды съемочных работ и изысканий, работы по организации систем инженерной защиты и др.

V. Система научно-методических разработок. Назначение системы – разработка методов планирования, организации и функционирования мониторинга, проведения производственных работ, анализа и оценки результатов наблюдений, прогнозирования и выдачи управляющих решений.

VI. Система технического обеспечения (техническая база мониторинга). Сюда входят: аппаратура для наблюдений и сбора первичной информации о состоянии геологической среды (датчики, индикаторы, приборы для наблюдений), технические средства для проведения полевых съемочных геолого-геофизических, инженерно-геологических, инженерно-геоэкологических, гидрогеологических и геокриологических работ (буровые установки, передвижные инженерно-геологические и гидрогеологические лаборатории, геофизические станции, приборы для полевых испытаний и т.д.), автотранспорт, лабораторное оборудование для проведения лабораторных инженерно-геологических, гидрогеологических и других исследований, вычислительные средства (ЭВМ и компьютеры), средства связи и коммуникаций, оргтехника.

Приложение 1

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГРУНТОВ

При проектировании и возведении различных сооружений, часто возникает необходимость искусственного улучшения природных свойств грунтов, получившего название «техническая мелиорация». Разработаны многочисленные методы улучшения свойств грунтов, выбор которых зависит от следующих факторов: 1) положения грунтов в классификациях, их состава и физического состояния; 2) достижения конкретных строительных задач: а) закрепления грунтов на месте их естественного залегания путем обезвоживания, уплотнения и упрочнения, б) создания грунтовых материалов; 3) гидрогеологических условий; 4) технических возможностей намечаемых методов и их экономической целесообразности. Работы ведутся по специальным проектам, которые составляются на основе детальных инженерно-геологических исследований.

Методы, применяемые в технической мелиорации

1. Цементация. Метод применяется широко и является экономичным. Главная цель использования метода – повышение прочности и снижение водопроницаемости грунтов. Цементацией решаются следующие задачи: 1) укрепление оснований зданий и сооружений; 2) повышение устойчивости и гидроизоляции горных пород в подземных горных выработках; 3) обработка оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов; 4) устройство противофильтрационных завес от затопления объектов подземными водами.

Для цементации трещин и пустот в твердых грунтах и укрепления песчано-гравелистых массивов применяются цементные и глинисто-цементные растворы с различными добавками. Они закачиваются в массивы грунтов через серии пробуренных скважин насосами с давлением до 70 атм.

Для цементации рыхлых грунтов используется жидкое стекло. Это химический метод, получивший название *силикатизация*. Растворы вводятся в грунт с помощью специальных инъекторов. Сначала закачивается силикат натрия, затем – хлористый кальций. Реакция между ними дает постепенно твердеющий гидрогель кремнекислоты, который цементирует рыхлый грунт. Наиболее часто метод используется для укрепления песков (например, при строительстве метрополитенов). Цементация (с активными добавками) применяется для создания из дисперсных грунтов искусственных грунтов с заданными свойствами.

В качестве новых реагентов для закрепления рыхлых грунтов в последнее время используются природные и синтетические смолы, битумно-глинистые, силикато-глинистые и полимер-глинистые смеси, а также известь.

2. Глинизация (кольматация) применяется для уменьшения водопроницаемости твердых сильно трещиноватых и рыхлых грунтов. Для закачивания в горные породы используются глинистые растворы с различными добавками. Метод, по возможности, заменяет цементацию, так как является более дешевым.

3. Горячая битумизация также применяется для уменьшения водопроницаемости и гидроизоляции трещиноватых твердых грунтов. Для этого в горные породы через скважины нагнетается горячий битум, разогретый до температур 150–220°. Для закрепления и гидроизоляции рыхлых частично твердых грунтов используются *холодные битумные эмульсии*. Горячая битумизация широко применяется в гидротехническом строительстве.

4. Искусственное замораживание используется для создания временных водонепроницаемых контуров в скальных и рыхлых грунтах на период строительных работ. Для замораживания грунтов применяются охлажденные минеральные рассолы (соединения хлористых металлов) с температурой до –20°С, которые закачиваются в скважины.

5. Осушение используется для осушения массивов скальных и чаще рыхлых грунтов с целью защиты от затопления подземными водами сооружений, котлованов, шахт, карьеров, разрабатываемых месторождений полезных ископаемых и т.д., а также для предотвращения отрицательных деформаций и явлений в горных породах (суффозия, разрушение откосов и т.д.). Осушение достигается сооружением дренажных устройств различного типа (сети канав, скважин и др.). Для обезвоживания глинистых грунтов применяется электроосмотическое осушение или электродренаж. Оно основано на движении воды под влиянием электрического тока в сторону катода, так как молекулы воды имеют положительный заряд.

6. Механическое уплотнение – широко применяемый метод улучшения свойств рыхлых грунтов действием статических и динамических нагрузок (трамбовка, укатка, вибрация, использование энергии взрыва). При этом достигается более плотное размещение частиц в объеме горной породы, уменьшается пористость. Используется при подготовке оснований сооружений, дорожных и аэродромных покрытий, строительстве насыпей, дамб, плотин. Укрепление массивов рыхлых грунтов достигается также набивными и грунтовыми сваями – бетонными, железобетонными, песчаными, цементно-песчаными.

7. Искусственные гранулометрические смеси широко используются при строительстве земляных сооружений, дорожных покрытий и представляют собой искусственные песчано-глинистые грунты оптимального гранулометрического состава, обладающие заданными инженерно-геологическими свойствами. Разработаны рецепты смесей в зависимости от климата, влажности и других факторов, изложенные в специальной литературе. В качестве добавок используются: гранулометрические (щебень, гравий, дресва и др.), минеральные (цементы, известь), химические (CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl), органические (битум, мазут, деготь) и комплексные.

8. Термическая обработка применяется для улучшения инженерно-геологических свойств глинистых и лессовых грунтов. Выделяются три степени термической обработки.

I Степень. Прогрев, или термическая дегидратация (температуры 300–500°C, максимальная – 600°C). При этом происходит обезвоживание глинистого грунта, он становится водостойким, более плотным, резко снижаются его пластичность и липкость.

II Степень. Обжиг (температура обработки 600–800°C, максимальная – до 1000° С). При этом грунт спекается в монолитную массу, обладающую значительной механической прочностью (временное сопротивление сжатию достигает 100 кг/см² и более).

Прогрев и обжиг осуществляются сжиганием топлива в скважинах с нагнетанием в них воздуха (для поддержания горения и увеличения длины пламени).

III Степень. Клинкерный обжиг (температура 1 100°C и выше) осуществляется на специальных клинкерных заводах для получения стройматериалов – клинкерного камня, который используется как высокопрочное дорожное покрытие.

9. Метод замачивания используется для механического уплотнения лессовых высокопросадочных грунтов.

10. Использование армогрунтов – это армированные грунты, повышенная прочность которых достигнута с использованием: а) свайных и траншейных стен как несущих и удерживающих конструкций; б) грунтовых геокомпозиатов с армирующими элементами в виде лент и других из геотекстиля (пленка, сетки, ткани и т.п.); в) металлических полос, стержней, стальных сеток и т.п.

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Общие положения

В ходе разведки и передачи месторождений полезных ископаемых в эксплуатацию изучаются инженерно-геологические и гидрогеологические условия деятельности будущих горнодобывающих предприятий. В зависимости от сложности инженерно-геологических условий отработки месторождений полезных ископаемых разработана классификация их типов. В ней учитываются ожидаемые геологические и инженерно-геологические процессы и явления и необходимость проведения защитных мероприятий. Содержание классификации:

Первый тип. Месторождения с простыми инженерно-геологическими условиями. Их разработка открытым или подземным способами не вызывает особых осложнений. Защитные мероприятия не требуются.

Второй тип. Месторождения с инженерно-геологическими условиями средней сложности. При их разработке могут возникать инженерно-геологические явления, требующие защитных мероприятий (например, предварительное осушение горных пород, более усиленное крепление стенок выработок и др.).

Третий тип. Месторождения со сложными инженерно-геологическими условиями. Их разработка требует проведения специальных предварительных и дорогостоящих защитных мероприятий (например: сложная система осушения рудного поля, специальные методы проходки выработок и т.д.).

Разработан ряд дополнительных классификаций. Так, месторождения полезных ископаемых, разрабатываемые открытым способом, по инженерно-геологическим условиям делятся на 4 группы:

1. Простые месторождения. Инженерно-геологические условия выемки полезного ископаемого являются благоприятными. Необходима только организация поверхностного стока.

2. Сложные месторождения. Нужны защитные меры от обводнения карьеров и обеспечению устойчивости бортов карьеров.

3. Весьма сложные месторождения. Инженерно-геологические условия месторождений относительно простые, гидрогеологические условия – весьма сложные. Необходимо предварительное осушение карьерного поля и постоянные работы по водоосушению в ходе эксплуатации.

4 группа. Особо сложные месторождения. Месторождения характеризуются особо сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями.

Имеется классификация инженерно-геологических комплексов по условиям устойчивости бортов карьеров. В ней учитываются физико-механические свойства и вещественно-структурные особенности горных пород геологических комплексов.

В классификации Г.Л. Фисенко выделяется 3 группы инженерно-геологических комплексов по степени прочности горных пород: I) комплексы крепких скальных горных пород; II) комплексы менее крепких измененных скальных и полускальных горных пород; III) – комплексы слабых горных пород с пониженной прочностью. По условиям залегания каждая группа комплексов в классификации делится на 3 подгруппы: 1) простые условия залегания горных пород; 2) условия залегания горных пород средней сложности; 3) сложные условия залегания горных пород. На основе классификации Г.Л. Фисенко разрабатываются рекомендации по программе и объему инженерно-геологических изысканий и защитных мероприятий.

Месторождения полезных ископаемых, разрабатываемые подземным способом, по сложности инженерно-геологических условий делятся на 3 группы:

1. Простые месторождения. Инженерно-геологические условия благоприятны для проведения горных работ, предварительные защитные мероприятия не требуются.

2. Месторождения средней сложности. При проведении горных работ необходимы защитные мероприятия для повышения устойчивости горных пород (осушение, усиленное крепление выработок и др.).

3. Сложные месторождения. При ведении горных работ требуется проведение крупных защитных мероприятий (предварительное осушение, отвод поверхностных вод, специальное крепление выработок и др.).

Гидрогеологические условия месторождений полезных ископаемых

Подземные воды отрицательно влияют на условия разработки месторождений полезных ископаемых: 1) ухудшается устойчивость горных выработок; 2) снижается производительность горно-транспортного оборудования; 3) увеличиваются потери и растет степень разубоживания добываемых полезных ископаемых; 4) снижается безопасность проводимых горных работ.

Гидрогеологические условия разных типов угольных и рудных месторождений существенно различны и имеют определенные специфические особенности (табл. 1 и 2; Иванов, 2007).

Т а б л и ц а 1

Гидрогеологические условия угольных месторождений

Тип	Вмещающие геологические комплексы	Основной водонасыщенный горизонт	Водопритоки, м ³ /ч	Защитные меры
I	Скальный дислоцированный	Трещиноватые известняки и песчаники	От 20–30 до 50–60	Тампонаж при проходке шахтных стволов, опережающие и водоспускные скважины
II	Песчано-глинистый	Пески	От 5–15 до 25	Предварительное осушение
III	Песчано-глинистый	Подугольные напорные воды	От 20–50 до 120	Поверхностное и подземное осушение, специальные способы проходки
IV	Карбонатный закарстованный	Известняки (закарстованные)	От 20–100 до 170–250	Тампонаж, опережающие и водоспускные скважины
V	Трещиноватый, аллювиальные пески	Аллювиальные пески, трещиноватые горные породы	От 100–150 до 200–2800	Водопонижающие скважины, отвод рек, обвалование территорий
VI	Песчаный (кровля)	Напорные воды в песках	10–40	Поверхностное и подземное осушение; замораживание
VII	Многолетне-мерзлый	Подмерзлотные воды		Не требуется до нижней границы мерзлоты

Т а б л и ц а 2

Гидрогеологические условия рудных месторождений

Тип	Источники обводнения	Прогнозные водопритоки, м ³ /ч	Защитные меры
I	Трещинно-грунтовые и трещинно-жильные воды, реже поверхностные воды	От 50–100 до 300	Осушение водоотливом, отвод речных вод
II	Грунтовые, трещинно-грунтовые и трещинно-жильные воды, поверхностные воды	От 200–300 до 800–12 000	Опережающее осушение, отвод поверхностных вод
III	Трещинно-карстовые воды, поверхностные воды	От 8 000–12 000 до 25 000–32 000	Сложные системы осушения, специальные способы проходки выработок, отвод речных вод
IV	Подземные воды сложного водоносного комплекса	2 000–5 000	Сложные системы предварительного, опережающего, эксплуатационного осушения, специальные способы проходки и поддержания выработок

Прогнозирование инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых

Существует два вида прогнозов инженерно-геологических условий будущей разработки месторождений полезных ископаемых: 1) региональный 2) локальный.

Региональное прогнозирование охватывает группу месторождений и выявляет общие особенности проявления инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Выясняются районы с благоприятными и неблагоприятными сочетаниями инженерно-геологических факторов. Основанием для такого анализа являются комплекты инженерно-геологических и гидрогеологических карт и разрезов в масштабах 1 : 500 000 до 1 : 25 000.

Локальное прогнозирование проводится для отдельных месторождений и их частей. При этом выясняются закономерности проявления инженерно-геологических и гидрогеологических факторов. На месторождениях определяются участки и условия их вскрытия и эксплуатации, характер будущих деформаций, необходимость дополнительных инженерно-геологических исследований. Материалами для локального прогнозирования являются данные регионального прогноза, инженерно-геологические и гидрогеологические карты, планы и разрезы в масштабах 1:100 000–1:1 000.

В ходе прогнозирования решаются следующие задачи: 1) оценка природных условий строительства и деятельности горного предприятия; 2) изменение природных условий в ходе освоения месторождения; 3) проведение защитных мероприятий. При решении перечисленных задач используются следующие методы: 1) метод аналогий; 2) метод оценки действующих факторов (когда выбираются и оцениваются наиболее существенные факторы, влияющие на инженерно-геологические условия и развитие негативных инженерно-геологических процессов); 3) аналитический метод (с использованием математического аппарата для получения расчетных параметров); 4) метод моделирования (когда создаются физические и математические модели, отражающие инженерно-геологические явления).

Прогнозирование инженерно-геологических условий при открытой разработке месторождений полезных ископаемых

На открытую разработку месторождений полезных ископаемых карьерным способом влияют следующие группы факторов:

I. Геологические факторы.

1. Наличие глинистых грунтов во вскрышной части разреза карьера ведет к деформации откосов. При этом ограничивается выбор методов систем разработки, затрудняется проходимость горнотранспортного оборудования. Возникает необходимость уменьшения углов откоса карьера.

2. Неблагоприятные структурные особенности и условия залегания массивов горных пород вызывают опасность деформации откосов, осложняют строительство и эксплуатацию карьера. Необходимо прогнозировать участки возникающих деформаций и своевременно изменять направление фронта горных работ.

3. Низкая водопроницаемость горных пород приводит к деформации откосов, удорожанию строительства и эксплуатации карьера, усложняет осушение карьерного поля. Меры обеспечения: использование специальных методов осушения горных пород, устройство прибортовых песчано-гравийных пригрузок для поддержания дренажа и устойчивости откосов.

4. Наличие в разрезе горных пород, склонных к набуханию, ведет к деформации откосов, осложняет строительство и эксплуатацию карьеров. В этом случае необходимо применять специальные средства дренажа.

5. Наличие в разрезе горных пород с низкой несущей способностью является причиной просадки уступов карьеров и отвалов, ограничивает применение тяжелого горнотранспортного оборудования. Меры обеспечения работ – искусственное укрепление прочности горных пород (железобетонные плиты, песчано-гравийные подушки и т.д.), а также применение горнотранспортного оборудования с низким удельным давлением.

6. Наличие горных пород с низким сопротивлением сдвигу.

7. Тиксотропность, которая ведет к разжижению грунтов.

II. Гидрогеологические факторы.

1) Наличие водоносных горизонтов; 2) обводненность вдоль тектонических зон и различных структурных элементов; 3) развитие карста. Перечисленные гидрогеологические факторы вызывают деформацию откосов карьеров и их обводнение. Во всех случаях проявления этих факторов прогнозируется осушение карьерного поля.

III. Климатические факторы.

1) Большое количество атмосферных осадков; 2) наличие многолетней мерзлоты; 3) значительные колебания температуры воздуха (ускоряющие процессы выветривания); 4) близость поверхностных водотоков и водоемов (гидрологический фактор). Все они влияют на устойчивость откосов, производительность горно-транспортного оборудования и требуют соответствующих защитных мероприятий.

Материалы прогнозных оценок инженерно-геологических условий должны решать главные задачи, от которых зависит эксплуатация карьера на весь срок его службы: 1) обеспечение устойчивости бортов карьера и 2) защита карьерного поля от воздействия поверхностных и подземных вод. Для повышения устойчивости бортов карьеров применяются следующие способы: 1) механическое укрепление с использованием железобетонных свай и шпонов, штанг и гибких тросовых тяжей, защитных стенок, железобетонных подпорных стен и контрфорсов (специальных отсыпок); 2) техническая мелиорация горных пород, слагающих борта карьера – цементация, нагнетание укрепляющих растворов, силикатизация, электроосмос и электрическая обработка (водонасыщенных глинистых горных пород), термическая обработка (лессов, суглинков, глин), уплотнение горных пород энергией взрыва; 3) возведение изолирующих и защитных покрытий (бетонирование с металлической сеткой и др.); 4) комбинированные – сочетание способов механического укрепления, технической мелиорации и изоляции горных пород.

Содержание водозащитных мероприятий: 1) перехват, экранирование и отвод поверхностных вод из водотоков и водоемов; 2) устройство дренажных систем поверхностных (скважины, траншеи), подземных (штреки, колодцы, скважины и др.) и комбинированных; 3) возведение противифльтрационных завес; организация карьерного водоотлива.

Прогнозирование инженерно-геологических условий при подземной разработке месторождений полезных ископаемых

В ходе прогнозирования инженерно-геологических условий ведения подземных горных работ для отработки месторождений решаются следующие задачи: 1) оценка устойчивости горных пород в стенках горных выработок; 2) определение горного давления на выработки с применением различных расчетных методов; 3) прогноз и оценка сдвижения горных пород в зонах кровли и ниже уровня выработанного пространства; 4) предупреждение вязкопластичных деформаций в стенках горных выработок (пример: вскрытые глинистые грунты могут затапливать выработки); 5) оценка и прогноз деформаций массивов горных пород, связанных с нарушением их напряженного состояния при глубоком водопонижении или по другим причинам.

Материалы прогнозной оценки инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых используются для разработки программы мероприятий по обеспечению устойчивости горных пород вокруг подземных выработок и защиты их от подземных вод. Для решения пер-

вой задачи применяются методы механического укрепления горных пород, технической мелиорации и другие, а водозащитные меры предусматривают организацию откачек воды из подземных выработок, оборудование серий водопонижающих скважин, систем подземного дренажа, устройство водонепроницаемых тампонажных завес и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

- Бондарик Г.К., Пендин Л.А. Инженерная геодинамика: учеб. для вузов. М.: КДУ, 2007. 439 с.
- Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания: учеб. М.: КДУ, 2008. 418 с.
- Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские методологические основы геологии: учеб. пособие. М.: КДУ, 2015. 295 с.
- Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований: учеб. для вузов. М.: Изд-во МГУ, 1990. 383 с.
- Инженерная геология России: в 3 т. / В.Т. Трофимов и др.; под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: КДУ, 2011. Т. 1: Грунты России. 672 с.
- Инженерная геология России: в 3 т. / под ред. В.Т. Трофимова и Э.В. Калинина. М.: КДУ, 2013. Т. 2: Инженерная геодинамика территории России. 816 с.
- Инженерная геология России: в 3 т. / под общ. ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2015. Т. 3: Инженерно-геологические структуры России. – 710 с.
- Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и экологических систем: учеб пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2007. 415 с.
- Королев В.А., Трофимов В.Т. Инженерная геология: история, методология и номологические основы. М.: КДУ, 2016. 292 с.
- Королев В.А. Мониторинг геологической среды: учеб. / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2016. 270 с.
- Огородникова Е.Н. и др. Практикум по грунтоведению: учеб. пособие / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: КДУ, 2016. 389 с.
- Сергеев Е.М. Инженерная геология. М.: ИД Альянс, 2011. 248 с.
- Трофимов В.Т., Аверкина Т.И., Спиридонов Д.А. Инженерно-геологические структуры Земли. М.: Изд-во МГУ, 2001. 176 с.
- Трофимов В.Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
- Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др. Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1023 с.
- Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 2007. 463 с.

- Трофимов В.Т. Инженерно-геологические карты: учеб. пособие. М.: КДУ, 2008. 383 с.
- Трофимов В.Т. и др. Лабораторные работы по грунтоведению: учеб. пособие / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: ВШ, 2008. 519 с.

Дополнительная

- Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология: учеб. для вузов по направлению «Строительство». М.: ВШ, 2006. 574 с.
- Ананьев В.П., Потапов А.Д., Филькин Н.А. Специальная инженерная геология: учеб. для вузов по направлению «Строительство». М.: ИНФРА-М, 2016. 263 с.
- Богословский В.А. и др. Экологическая геофизика: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2000. 253 с.
- Бондарик Г.К. Экологическая проблема и природно-технические системы. М.: Икар, 2004. 152 с.
- Ветошкин А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды: учеб. пособие. М.: ВШ, 2008. 396 с.
- Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы): учеб. пособие / под ред. А.Г. Ветошкина. М.: ИНФРА-М, 2015. 360 с.
- Воронкевич С.Д. Основы технической мелиорации грунтов: учеб. М.: Научный мир, 2005. 504 с.
- Габдуллин Р.Р., Иванов А.В. Прикладная стратиграфия в инженерной и экологической геологии: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2013. 276 с.
- Иванов И.П. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. М.: КДУ, 2007. 440 с.
- Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. (Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003) СП 116. 13330.2012 (Введено 01.01.2013 г.)
- Королев В.А. Инженерная защита территорий и сооружений: учеб. пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2013. 470 с.
- Кофф Г.Л. и др. Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов / отв. ред. Г.Л. Котлов, В.И. Осипов. М.: Наука, 1990. 196 с.
- Ломтадзе В.Д. Словарь по инженерной геологии. СПб.: Санкт-Петерб. горн. институт, 1999. 360 с.
- Мирзаев Г.Г. и др. Экология горного производства: учеб. М.: Недра, 1991. 319 с.
- Огородникова Е.Н., Николаева С.К. Техногенные грунты: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 250 с.
- Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии: учеб. для вузов. М.: ВШ, 2001. 510 с.
- Пашкин Е.М., Когон А.А., Кривоногова Н.Ф. Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии / под ред. Е.М. Пашкина. М.: КДУ, 2011. 949 с.

- Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии: учеб. пособие. М.: КДУ, 2009. 350 с.
- Рациональное природопользование в горной промышленности / под ред. В.А. Харченко. М.: Изд-во МГУ, 2000. 444 с.
- Ревзон А.Л. Картографирование состояний геотехнических систем. М.: Недра, 1992. 223 с.
- Сластунов С.В. и др. Горное дело и окружающая среда: учеб. М.: Логос, 2001. 272 с.
- Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Инженерная геология и экологическая геология: Теоретико-методологические основы и взаимоотношения. М.: Изд-во МГУ, 1999. 120 с.
- Трофимов В.Т. и др. Экологические функции литосферы / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000. 432 с.
- Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология: учеб. М.: Геоинформмарк, 2002. 415 с.
- Трофимов В.Т. и др. Эколого-геологические карты: Теоретические основы и методика составления / под ред. В.Т. Трофимова. М.: ВШ, 2007. 407 с.
- Чернышев С.Н., Чумаченко А.Н., Ревелис И.Л. Задачи и упражнения по инженерной геологии: учеб. пособие. М.: ВШ, 2001. 254 с.
- Экогеология России. Т. 1: Европейская часть / гл. ред. Г.С. Варганиян. М.: Геоинформмарк, 2000. 300 с.

Электронные ресурсы

- Инженерно-геологические изыскания. Геобурсервис. URL: <http://www.gbse-gvise.ru/> (дата обращения: 06.03.2017).
- Инженерно-геологические изыскания. Инженерно-геологическая съемка. Петробурсервис. URL: <http://www.petroburservis.ru/> (дата обращения: 06.03.2017).
- Территориальный центр Томскгеомониторинг. URL: <http://www.tgm.ru> (дата обращения: 06.03.2017).
- Охрана геологической среды. URL: <http://ecos.org.ua/> (дата обращения: 06.03.2017).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ	5
2. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ	6
3. ОСНОВЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ	7
3.1. Общие положения	7
3.2. Химические свойства грунтов	8
3.3. Физико-химические свойства грунтов	9
3.4. Физические свойства грунтов	14
3.5. Биотические свойства грунтов	21
3.6. Физико-механические свойства грунтов	22
3.7. Классификации грунтов	27
3.8. Характеристика грунтов разных генетических типов и классов	31
3.8.1. Магматические горные породы	31
3.8.2. Метаморфические горные породы	32
3.8.3. Осадочные сцементированные горные породы	33
3.8.4. Химические и биохимические (органогенные) горные породы ...	33
3.8.5. Осадочные несцементированные горные породы	34
3.8.6. Мерзлые грунты	36
3.8.7. Техногенные грунты	39
3.9. Инженерная геология массивов горных пород	43
4. ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДИНАМИКИ	47
4.1. Общие положения	47
4.2. Эндогенные процессы	48
4.3. Экзогенные процессы	49
4.3.1. Выветривание	49
4.3.2. Гравитационные склоновые процессы	52
4.3.3. Экзогенные процессы, связанные с деятельностью поверхностных вод	52
4.3.4. Экзогенные процессы, связанные с деятельностью подземных вод	54
4.3.5. Экзогенные процессы, вызванные деятельностью атмосферы (эоловые процессы)	56
4.3.6. Мерзлотно-динамические процессы	57
4.3.7. Экзогенные инженерно-геологические (антропогенные) процессы	58
5. ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ	58

5.1. Общие положения	58
5.2. Инженерно-геологические структуры	63
5.3. Природно-технические и литотехнические системы	65
5.4. Инженерно-геологическое районирование территорий	65
5.5. Региональное инженерно-геологическое прогнозирование	67
5.6. Региональный инженерно-геологический мониторинг и геоинформационные системы	69
5.7. Инженерно-геологические особенности территории Российской Федерации и сопредельных регионов	69
5.7.1. Щиты древних платформ	70
5.7.2. Щиты молодых платформ	70
5.7.3. Плиты древних платформ	71
5.7.4. Плиты молодых платформ	71
5.7.5. Горно-складчатые области	72
6. ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ	73
6.1. Общие положения	73
6.2. Этапы и стадии инженерно-геологических изысканий	74
6.3. Геофизические методы при инженерно-геологических исследованиях	80
6.4. Инженерно-геологическая рекогносцировка	81
6.5. Инженерно-геологическая съемка	82
6.6. Инженерно-геологическая разведка	84
6.7. Полевые опытные работы	86
6.8. Режимные стационарные инженерно-геологические наблюдения	88
6.9. Инженерно-геологическое опробование	89
6.10. Инженерно-геологические карты	90
6.10.1. Классификация инженерно-геологических карт	91
6.10.2. Эколого-геологические карты	93
6.10.3. Прогнозные карты изменения инженерно-геологических условий	96
6.11. Инженерные изыскания для строительства	97
6.12. Инженерно-экологические изыскания для строительства	100
7. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОМ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИЙ	106
7.1. Взаимодействие объектов техносферы с геологической средой	106
7.2. Добыча полезных ископаемых	107
7.3. Городское и промышленное строительство	109
7.4. Гидротехническое строительство	112
7.5. Мелиоративное строительство	113
7.6. Транспортное строительство	114

7.7. Эксплуатация подземных вод	116
8. МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ	117
<i>Приложение 1. Техническая мелиорации грунтов</i>	<i>120</i>
<i>Приложение 2. Основы инженерной геологии месторождений полезных ископаемых</i>	<i>123</i>
ЛИТЕРАТУРА	129

Учебное издание

ЧУВАКИН Владимир Семенович

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Учебное пособие

3-е издание, переработанное

Редактор Н.А. Афанасьева
Компьютерная верстка А.И. Лелою
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

Подписано к печати 8.09.2017 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 7,9.

Тираж 50 экз. Заказ № 2574.

Отпечатано на оборудовании
Издательского Дома
Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Тел. 8+(382-2)–53-15-28
Сайт: <http://publish.tsu.ru>
E-mail: rio.tsu@mail.ru