

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**А. В. Коноплев, Т. Г. Ковалёва**

## **РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

*Допущено методическим советом  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета в качестве  
учебного пособия для студентов, обучающихся  
по направлению подготовки бакалавров  
«Геология»*



Пермь 2016

УДК 624.131(075.8)

ББК 26.329

К64

**Коноплев А. В.**

К64 Региональная инженерная геология: учеб. пособие / А. В. Коноплев, Т. Г. Ковалёва; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2016. – 192 с.

ISBN 978-5-7944-2833-9

В учебном пособии рассматриваются теоретические вопросы региональной инженерной геологии, содержится инженерно-геологическое описание регионов первого порядка территории Российской Федерации. Приводятся задания для практических работ по курсу «Региональная инженерная геология» и методика их выполнения.

Цель издания – оказание помощи студентам, изучающим курс «Региональная инженерная геология», в овладении его основами.

Предназначено для студентов-геологов, обучающихся по направлению «Геология» (профиль «Гидрогеология и инженерная геология»).

УДК624.131(075.8)

ББК29.329

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Пермского государственного национального исследовательского университета*

*Рецензенты:* кафедра «Геология нефти и газа» Перм. нац. исслед. политехн. ун-та (рецензент – д-р геол.-минерал. наук, проф. **А. В. Растегаев**); д-р геол.-минерал. наук, генеральный директор ООО НИПППД «Недра» **В. В. Середин**

© ПГНИУ, 2016

ISBN 978-5-7944-2833-9

© Коноплев А. В., Ковалёва Т. Г., 2016

## Содержание

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ .....	4
1.1. Предмет и объект региональной инженерной геологии. Структура дисциплины. Факторы, определяющие инженерно-геологические условия территории .....	4
1.2. Роль геотектоники в формировании инженерно-геологических условий .....	10
1.3. Учение о формациях и его значение в региональной инженерной геологии .....	12
1.4. Геоморфологические условия как фактор инженерно-геологических условий .....	19
1.5. Подземные воды и их роль в формировании инженерно-геологических условий .....	24
1.6. Геокриологическая (мерзлотная) обстановка как фактор формирования инженерно-геологических условий .....	30
1.7. Современные геологические процессы как фактор развития инженерно-геологических условий .....	34
1.8. Зональные факторы формирования и зональность инженерно-геологических условий .....	36
1.9. Теоретические вопросы инженерно-геологического районирования .....	38
1.10. Инженерно-геологическое картографирование .....	48
2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РЕГИОНОВ .....	58
2.1. Восточно-Европейская платформа .....	58
2.2. Сибирская платформа .....	73
2.3. Западно-Сибирская плита .....	92
2.4. Урало-Новоземельская горно-складчатая система .....	101
2.5. Алтае-Саянская горно-складчатая система .....	118
2.6. Забайкальская горно-складчатая система .....	136
2.7. Таймыро-Североземельская складчатая страна .....	148
2.8. Тихоокеанская геосинклинальная область .....	155
2.9. Горные сооружения Альпийской складчатой зоны (Кавказ) .....	175
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ .....	187
Список литературы .....	191

# **1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ**

## **1.1. Предмет и объект региональной инженерной геологии. Структура дисциплины. Факторы, определяющие инженерно-геологические условия территории**

Региональная инженерная геология (РИГ) относится к фундаментальным дисциплинам, определяющим содержание инженерной геологии. В эту группу входят также грунтоведение и инженерная геодинамика. РИГ является самым «молодым» направлением, ему немногим более полувека.

Родоначальником региональной инженерной геологии является И. В. Попов. РИГ начала оформляться в отдельное направление в 1947 г., когда Московскому геологоразведочному институту поручили выполнить инженерно-геологическое районирование территории Европейской части СССР и Кавказа для проектирования размещения гидроэлектростанций на средних реках. Выполнение этой работы позволило уточнить формы региональных и зональных связей между факторами, определяющими инженерно-геологические условия. В 1949 г. в статье И. И. Трофимова был поставлен вопрос о создании РИГ. Эта проблема освещалась и в иностранной литературе, например, в 1929 г. в работе К. Терцаги. Вопросам РИГ был посвящен ряд диссертационных работ: М. П. Семенова (1947), П. Н. Панюкова (1949).

С 1954 г. курс инженерной геологии СССР начал читаться в Московском государственном университете для студентов специальности «Инженерная геология и гидрогеология». Курс РИГ состоит из теоретической и практической частей. В теоретической части курса рассматриваются основные элементы региональных и зональных геологических условий с точки зрения инженерной геологии.

Первое определение региональной инженерной геологии было дано И.В. Поповым в 1961 г.: «Региональная инженерная геология является разделом инженерной геологии, который занимается изучением закономерностей инженерно-геологических условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений в земной коре и на ее поверхности. Она изучает: 1) закономерности проявления на земле факторов инженерно-геологических условий, обусловленных природной обстановкой, в первую очередь, геологическим строением и геологической жизнью местности; 2) комплексы факторов природных условий, определяющих геологические условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений на данной территории; 3) инженерно-геологические процессы и явления на основе опыта строительства на данной территории».

Среди других формулировок наиболее емким представляется определение РИГ, данное Г. К. Бондариком: «Региональная инженерная геология – это научное направление, которое занимается изучением структуры и свойств геологической среды и слагающих ее компонентов, закономерностями их формирования и пространственной изменчивостью в связи с планируемой и осуществляемой деятельностью человека». В этом определении появилось новое понятие – «геологическая среда». Под геологической средой, в соответствии с определением Е. М. Сергеева, данным в 1987 г., следует понимать верхнюю часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамическая система, находящаяся под воздействием инженерной деятельности человека, что приводит к изменению природных геологических процессов и возникновению новых антропогенных (инженерно-геологических) процессов, изменяющих инженерно-геологические условия территории. Верхней границей геологической среды является «дневная» поверхность литосферы, нижняя граница определяется глубиной, обусловленной воздействием деятельности человека.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что **региональная инженерная геология – это фундаментальный раздел инженерной геологии; она изучает структурно-пространственную организацию и эволюцию геологической среды, состав, состояние и свойства слагающих ее компонентов, их взаимодействие и изменчивость в связи с планируемой и осуществляемой деятельностью человека; другими словами, РИГ занимается изучением инженерно-геологических условий крупных регионов для решения теоретических и практических задач, связанных с освоением этих территорий.**

Таким образом, **объектом** изучения РИГ является «геологическая среда». Термин «геологическая среда», во-первых, предполагает возможность ее использования для различных форм деятельности человека (обитания, эксплуатации, строительства и др.). С другой стороны, геологическая среда – составная часть природной среды (наравне с водной, воздушной, космической и т. д.), поэтому ее необходимо исследовать во взаимодействии с другими средами и оболочками планеты. Геологическую среду, ее компоненты, пространственную изменчивость можно рассматривать в разных масштабах – глобальном, региональном, локальном; т. е. границы ее изучения могут расширяться или сужаться в зависимости от целей исследования. Кроме того, геологическую среду можно изучать в разном временном диапазоне, начиная от точечного среза, т. е. в квазистационарном состоянии объекта, до временной изменчивости, т. е. исследования объекта в динамическом режиме.

Можно выделить три состояния геологической среды: природное, природно-техногенное, техногенно-нарушенное. Оценка инженерно-

геологических условий природных (ненарушенных) территорий еще предстоит. Природно-техногенное состояние возникает, если на территории происходит инженерное строительство или осуществляется эксплуатация инженерных сооружений. Техногенное воздействие проявляется во времени и в пространстве. Техногенно-нарушенные природные системы образуются, когда процесс техногенного воздействия завершен (например, рекультивированные территории, шахтные поля, где добыча полезного ископаемого закончена, земляные отвалы и т. д.).

**Предметом РИГ являются знания об инженерно-геологических условиях крупных территорий, представляющих собой результат взаимодействия и взаимообусловленности компонентов геологической среды.** Наиболее важные из них образуют систему: порода – вода – газ – живые организмы – инженерные сооружения. Роль перечисленных компонентов в системе неодинакова и индивидуальна. Кроме того, взаимодействие указанных компонентов определяет изменение инженерно-геологической обстановки, их характер и последствия. В инженерно-геологической системе могут функционировать не все пять выделенных компонентов, а четыре, три и даже один (в тех случаях, когда действиями остальных компонентов можно пренебречь).

*Структура дисциплины.* В РИГ следует выделить четыре части, которые характеризуют теоретическую, описательную, методическую и прикладную области ее знания (рис. 1). Теоретическая часть может быть разбита на пять основных блоков, каждый из которых имеет четко выраженный смысл:

1. Понятийно-смысловой блок последовательно рассматривает основные понятия и термины; основные законы РИГ; инженерно-геологическую классификацию пород (геосистем); инженерно-геологические стратоны и таксоны; инженерно-геологические закономерности и зональности; инженерно-геологическое районирование и картографирование.

2. Блок формирования геосистем и их подразделений изучает пространственное положение геосистем, образующих инженерно-геологические структуры разного порядка, их эволюцию под влиянием природных и техногенных процессов, условия залегания пород, структурные особенности последних, состав, состояние и свойства горных пород в их естественном залегании и при их взаимодействии с инженерными сооружениями.

3. Геодинамический блок анализирует движение горных масс на склонах, берегах, в зонах тектонических нарушений, в сейсмически неустойчивых областях и других районах под действием разнообразных причин: тектонических, гравитационных, техногенных, гидрогеологических, криогенных, абразионных, эрозионных и т. п.

4. Геохимический блок изучает воздействие ландшафтно-климатических факторов на инженерно-геологические условия в верхних слоях литосферы, на процессы физико-химического выветривания горных пород в результате почвообразования, криогенеза, денудации, эрозии, карстования, переноса тепла, влаги и вещества.

5. Эколого-геологический блок связан с изучением эколого-геологической обстановки. Это исследование геопатогенных зон, возникающих под влиянием природных и техногенных процессов, и установление и прогнозирование защитной функции геологической среды, ее ресурсных возможностей в этих условиях для нормального жизнеобеспечения и оптимального природопользования.

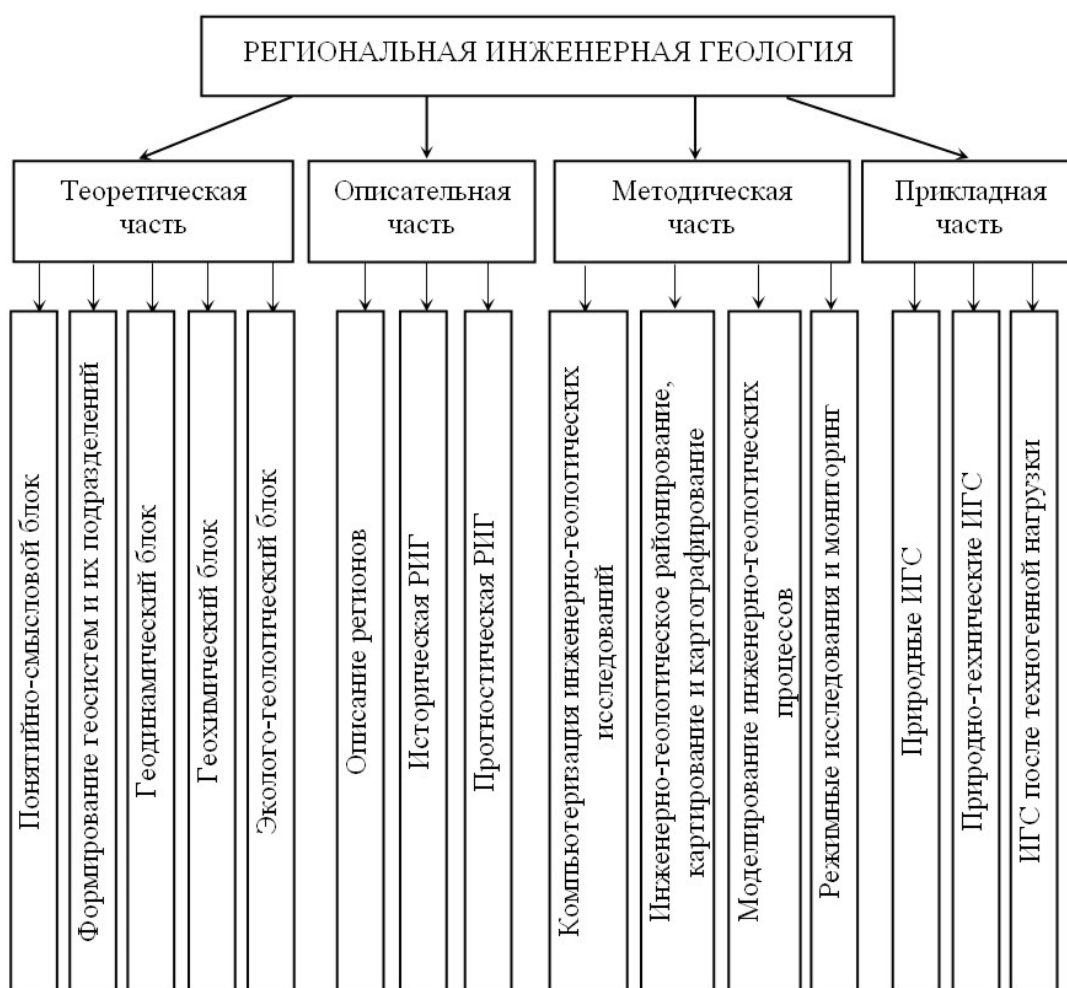


Рис. 1. Схема подразделений региональной инженерной геологии:  
ИГС – инженерно-геологические системы (Кирюхин, 2004)

Описательная часть РИГ находится в начале своего комплектования. Пока в ней можно выделить три основных блока: 1) описание регионов; 2) историческая РИГ; 3) прогностическая РИГ.

Методическая часть РИГ делится на четыре основных блока: 1) компьютеризация инженерно-геологических исследований; 2) инженерно-геологическое районирование, картирование и картографирование; 3) моделирование инженерно-геологических процессов; 4) режимные наблюдения и мониторинг.

Прикладная часть РИГ имеет несколько размытые контуры. Это связано с тем, что региональные исследования проводятся на первом этапе инженерных изысканий. С другой стороны, эти исследования не имеют четко выраженных специализированных назначений, а окончательные инженерные решения по строительству и эксплуатации сооружений принимаются на основании результатов детальных изысканий. Однако знание региональных инженерно-геологических закономерностей имеет решающее значение для выбора содержания и направленности любых инженерных изысканий последующих этапов. Региональные инженерно-геологические исследования должны учитывать требования нормативных документов.

**Взаимодействие РИГ с другими дисциплинами.** Как указывалось, РИГ наряду с грунтоведением и инженерной геодинамикой относится к фундаментальным инженерно-геологическим дисциплинам (рис. 2). Вместе с тем она находится в тесной связи со многими другими науками (например, специальная инженерная геология, инженерная геология месторождений полезных ископаемых, инженерные сооружения, механика горных пород, инженерная мелиорация пород, инженерное мерзлотоведение, инженерная гидрогеология и др.).



Рис. 2. Связь региональной инженерной геологии с другими дисциплинами (Кирюхин, 2004)



Региональная инженерная геология взаимодействует с четырьмя группами дисциплин: фундаментальными, социально-экономическими, сопровождающими (второго плана) и родственными (первого плана).

Среди фундаментальных дисциплин главными, конечно, являются математика, физика и химия, роль и значение которых трудно переоценить. В группе социально-экономических дисциплин наиболее важны философия, социология и экономика. Философия как наука о всеобщих законах развития природы, общества и мышления занимает ключевую позицию в системе региональных дисциплин. Поскольку РИГ – мировоззренческая дисциплина, философские проблемы во многих случаях являются для нее основополагающими. Социология определяет взаимоотношение общества с природой, поскольку человечество пользуется ее благами. С другой стороны, природа постоянно напоминает обществу о том, что ее возможности не беспредельны. Эволюция развития общества определялась тем, как оно строило свои взаимоотношения с природой. Экономические науки (конкретно экономика, рыночные отношения) все больше и больше контролируют условия проведения инженерно-геологических работ, их финансовую обеспеченность. Особое место в системе отношений «заказчик – исполнитель» приобретает юриспруденция, которая обеспечивает законные права как тех, кто ведет инженерно-геологические исследования, так и тех, кто этими материалами пользуется.

Сопровождающие науки в значительной мере определяют уровень и степень познания изучаемого предмета. РИГ, с одной стороны, использует современные информационные технологии, с другой – комплексирует с другими естественными науками (экологией, медициной, биологией и др.). Вполне очевидно, что роль такого сопровождения является весьма важной, а в ряде случаев и решающей.

К родственным дисциплинам могут быть отнесены геологические, горные и географические. Их перечень весьма широк. Назовем, например, основные геологические дисциплины: структурная геология, литология, тектоника, геоморфология, гидрогеология, геокриология, историческая геология, геология месторождений полезных ископаемых, геодинамика, геохимия и др. Среди горных дисциплин, определяющих понимание горно-геологической обстановки, выделяются горная механика, строительство и эксплуатация горных выработок, рекультивация нарушенных территорий. Важная роль географических дисциплин также вполне очевидна. К этим дисциплинам относятся почвоведение, ландшафтоведение, климатология, гидрология, геоэкология, геоботаника, океанология.

Таким образом, круг дисциплин, которые питают информацией РИГ, весьма велик. Следовательно, специалист, решающий вопросы региональной инженерной геологии, должен обладать широким кругозором, использовать знания не только по своей дисциплине, но и по многим другим смежным и не всегда смежным наукам.

## **1.2. Роль геотектоники в формировании инженерно-геологических условий**

Геотектонические процессы, их характер, длительность, направленность определяют характер распространения горных пород, условия их залегания, мощность, структуры и текстуры пород, а также геолого-структурный план территории, влияют на формирование рельефа, формирование и строение гидрогеологических структур, характер и интенсивность экзогенных геологических процессов. Другими словами, геотектоника формирует геологическую среду, она предопределяет инженерно-геологические условия, играет главную роль в их формировании и их пространственном распределении.

Значение геотектоники в формировании инженерно-геологических условий проявляется при сравнении различных элементов земной коры: платформ, щитов, краевых прогибов, геосинклинальных областей.

Щиты – самые древние сооружения, это крупные антеклизы, в пределах которых в настоящее время выходят на поверхность древние (допалеозойские) метаморфические и магматические породы. Все породы здесь очень прочные, уменьшение несущих свойств пород связано с процессами выветривания в самой верхней части и по разломам. В разломных частях породы промерзают меньше, чем в сохранных блоках. Экзогенные процессы наиболее интенсивно протекают в пределах разломных зон. Благоприятно строительство в сохранных блоках. Кора выветривания являются характерными для щитов, но, например, на Балтийском щите ее нет (ее уничтожил ледник), а на Украинском щите кора выветривания играет важную роль.

Плита – та часть платформы, где кристаллический фундамент покрыт мощной толщей осадочных пород, залегающих горизонтально или образующих пологие складчатые структуры.

Платформа – основная тектоническая единица земной коры двухъярусного строения, в пределах которой проявляются преимущественно колебательные и разрывные тектонические движения. Нижний ярус платформ сложен допалеозойскими кристаллическими породами, верхний – осадочными и вулканогенными породами, начиная с палеозоя до четвертичных включительно, прорезанных интрузиями платформенного

типа. Для платформ характерно субгоризонтальное залегание пород, мощность пластов сотни метров, при этом состав отложений может меняться по простиранию. Наиболее характерными являются известняки, песчаники, алевролиты (осадочные комплексы пород). Из гидрогеологических особенностей можно отметить следующие: развиты грунтовые и пластовые воды, для которых характерна этажность. Экзогенные процессы очень разнообразны, рельеф равнинный, возвышенный, характерна широтная зональность климата, экзогенных процессов и промерзания пород.

Геосинклинальная область – один из главных тектонических элементов земной коры, противопоставляемый платформе. Она представляет собой подвижную зону, основными чертами которой являются: линейность в распределении фаций осадков, интенсивные процессы складкообразования, мощная эффузивная и интрузивная деятельность. Характерно смятие в различные складки; мощность пород до 1000 м. Сильная трещиноватость способствует протеканию экзогенных процессов. Гидрогеологические особенности: распространены жильные, трещинно-жильные воды, артезианские бассейны редки, типична высотная поясность. Важно учитывать возраст складчатости.

Краевой прогиб – это основная тектоническая структура платформы, прилегающая к складчатой системе. Имеет асимметричное синклинальное строение. Инженерно-геологические условия краевых прогибов зависят от интенсивности и времени проявления геотектонических процессов.

1-й этап: медленное прогибание, снос пород, происходит сортировка материалов сноса, среди мелкозернистых песков преобладают кварцевые, так как они являются наиболее устойчивыми, характерны песчано-гравийные отложения, переходящие в конгломераты.

2-й этап: более интенсивное прогибание, характерна невыдержанность пород по мощности, простиранию и составу, общая мощность отложений может достигать тысячи метров.

3-й этап: наблюдается затухание процессов, начинают образовываться континентальные отложения; несущие свойства этих отложений переменчивы и невыдержанны. Набор слагающих пород зависит от истории прогиба. Гидрогеологические условия также изменчивы, преобладают грунтовые воды, различные по составу и минерализации.

Интенсивность и направленность тектонических процессов определяют рельеф местности, поэтому для щитов и платформ характерны равнины, эрозионные плато, возвышенности, что обусловлено слабыми вертикальными движениями земной коры. Для геосинклинальных областей типичным является горный рельеф, который обусловлен интенсивными тектоническими движениями, как вертикальными, так и горизонтальными.

Мощность пород также зависит от геотектонических процессов: длительный, интенсивный прогиб способствует накоплению отложений большой мощности и наоборот. Когда породы уходят на глубину, начинается процесс их преобразования, метаморфизации. Таким образом, геотектонические процессы влияют на состав, мощность и физико-механические свойства пород.

Кроме того, геотектонические процессы влияют на интенсивность экзогенных процессов, например, при поднятии происходят рост трещиноватости и проникновение экзогенных процессов в глубь массива. Некоторые другие процессы и явления вызываются геотектоническими процессами, такими как землетрясения, цунами, вулканическая деятельность.

### **1.3. Учение о формациях и его значение в региональной инженерной геологии**

Одной из наиболее важных проблем РИГ является выделение и исследование связи между составом, состоянием и свойствами горных пород и их распространением в земной коре. Наиболее точно этот вопрос решается в учении о формациях, где рассматривается связь осадконакопления с геотектоническими процессами земной коры.

Формационный анализ позволяет:

- установить закономерности образования геологических тел, обладающих определенной инженерно-геологической структурой и свойствами;
- выявить закономерности распределения таких геологических тел в земной коре;
- установить зависимость между формированием инженерно-геологических свойств горных пород и геологической историей того или иного региона.

Термин «формация» в его современном понимании был введен Н. С. Шатским. Формация (formatio – образование) – это естественный комплекс парагенетически связанных друг с другом горных пород, которые характеризуются единством условий образования, пространственного распространения, возраста и формированием в определенную тектоническую эпоху. Существует очень много признаков, по которым могут быть выделены геологические формации: генезис, вещественный состав, географическая обстановка, степень метаморфизма, условия образования и т. д. По названию формаций можно судить об особенностях и условиях их образования, например: флиш, молласы, эвапориты, угленосные и ледниковые формации. Наиболее значительный вклад в развитие этого учения внесли Н. С. Шатский, Н. М. Страхов, В. В. Белоусов, Л. В. Рухин, А. А. Яншин,

Г. Ф. Крашенинников, Ю. А. Косыгин, В. Е. Хаин, Н. В. Воссоевич и другие российские ученые.

Особенно важными представляются работы Н. С. Шатского, который дал определение формации, оценил главные факторы формирования ее свойств (тектонический режим, климат, возраст и время образования горных пород), обосновал типизацию формаций и ввел понятие «парагенерация». Н. М. Страхов большое внимание уделял осадочным формациям, используя при этом палеогеографический анализ и оценив роль тектонического режима и ландшафтно-климатических условий в процессах осадконакопления.

Формация, как естественное историческое геологическое тело, обладает следующими признаками:

- состоит из определенного набора горных пород;
- имеет определенную, присущую только ей внутреннюю структуру, т. е. характеризуется определенным сочетанием слагающих ее пород;
- занимает совершенно определенное место в современной структуре земной коры.

В инженерной геологии используется следующая классификация формаций (табл. 1). Дадим краткую характеристику осадочных, вулканических, интрузивных и метаморфических формаций. Осадочные формации, как видно из табл. 2, расположены как в платформенных, так и в геосинклинальных или орогенных областях. Для их инженерно-геологической оценки наиболее важными показателями являются степень литификации пород, плотность, прочность, деформируемость, состав, состояние и другие физико-механические свойства. Поэтому в пределах одного региона один и тот же литологический класс формаций может содержать породы, различающиеся в инженерно-геологическом отношении. Это наглядно видно при сравнении глины юры, перми, нижнего кембрия, венда на Русской плите, различающихся степенью литификации и другими свойствами.

То же самое можно сказать о песках юры, девона, кембро-ордовика или известняках карбона и ордовика. Многочисленные примеры можно привести также по Восточно-Сибирской платформе, Западно-Сибирской, Туранской и Скифской плитам. Сказанное означает, что формации одного и того же литологического класса должны быть разделены на субформации с учетом инженерно-геологических характеристик.

Различия тектонических режимов платформы и геосинклиналей и создающихся на них форм рельефа, а также разный характер влияния климатической зональности сказываются на образующихся формациях, создавая характерные их особенности (табл. 3).

Отметим, что долгое время РИГ не уделяла должного внимания классификации формаций дна Мирового океана. За исключением работ Я. В. Неизвестнова, М. С. Захарова и некоторых других систематизация и оценка материала в этом отношении только начинается.

Таблица 1

*Классификация формаций в инженерно-геологических целях*

Иерархический уровень	Признак классификации	Инженерно-геологические характеристики	Примеры наименований
Классы	Тектонические условия времени образования	Мощность и структура формаций; общие закономерности изменчивости строения и состава	Платформенные, геосинклинальные, переходные (орогенные)
Подклассы	Физико-географические условия среды	Минералогические особенности образующих формации пород, важные для и/г оценки	Аридные, гумидные
Тип	Литологический состав пород	Литологическая (петрографическая) характеристика пород, слагающих формации	Песчано-глинистые, карбонатные, флишевые, гранито-гнейсовые
Подтип	Возраст отложений	Длительность и характер постгенетических преобразований	Нижнекембрийские, мезозойские
Вид	Степень пространственно-генетических изменений	Современные инженерно-генетические формации	Уплотненные, слабосцементированные, среднеметаморфизованные

*Классификация литологических типов осадочных формаций  
в платформенных, геосинклинальных и орогенных областях (Кирюхин, 2004)*

Платформенные	Геосинклинальные	Орогенные	
		гумидные	аридные
Терригенная формация с субформациями: кварцевых песков и каолиновых глин; полимиктовых песков и глин; кварцево-глауконитовых песков, кремнистых глин и опок	Терригенная формация с субформациями: граувакковых и аркозовых песчаников; глинисто-сланцевой	Молассовая формация; покровно-ледниковая формация	Молассовая формация; лессовая формация
Карбонатная формация с субформациями: известняковой; известняково-доломитовой; мела и мергелей	Карбонатная формация с субформациями: рифовых известняков; битуминозных известняков; массивных известняков; слоистых известняков	—	Сульфатно-доломитовая формация; Соленосная формация
Карбонатно-терригенная формация с субформациями: карбонатно-сероцветной; карбонатно-красноцветной; горючих сланцев; битуминозных мергелей и глин	Карбонатно-терригенная формация; флишевая формация с субформациями: карбонатного флиша; терригенного флиша; туфогенного флиша	Сероцветная угленосная формация	Красноцветная обломочная формация

*Сравнительная характеристика осадочных формаций платформ и геосинклинальных областей*

Сравниваемые характерные черты	Платформа	Геосинклинальная область
Мощность	Незначительная (10 м)	Большая (100 и 1000 м)
Постоянная мощность	Значительно выдержанная	Весьма изменчивая
Очертания в плане	Изометрические (округлые)	Широкие полосы
Скорости отложений	Малые	Большие
Присутствие вулканогенных пород	Как правило, отсутствуют (редко покровы базальта)	Почти всегда присутствуют
Характерные породы формаций	Песчаные, глинистые, карбонатные, каоустобиолитовые	Глинистые, карбонатные, кремнистые, флишевые, молассовые
Характер песка	Кварцевые, часто глауконитовые	Полимиктовые (аркозы, граувакки)
Характер глинистых отложений	Часто каолинитовые и алевролиты	Мощные глинистые толщи, алевролиты
Характер карбонатных отложений	Светлые известняки с донной фауной. Часто белый мел	Разнообразные известняки часто рифовые, кремнистые, с редкими остатками донной фауны
Кора выветривания	Часто присутствует	Обычно снесение

Вулканические формации характеризуются в основном геотектонической обстановкой их образования, вещественным составом и возрастом. По содержанию кремнезема эффузивные породы делятся на ультраосновные (40–45 %), основные (45–53 %), средние (53–64 %) и кислые (64–80 %). По соотношению гидроксидов кальция, калия и натрия к гидроксидам алюминия выделяются известково-щелочные, нормальные глиноземистые (толеитовые) и щелочные серии пород.

Степень кислотности лав в значительной мере определяет их свойства. Базальтовая лава образуется при очень высокой температуре – 1200–1300°C, характеризуется низкой вязкостью и быстро отдает газ и воду. Образование андезитовых, дацитовых лав происходит при более низких температурах – 800–1000°C. Они обладают высокой вязкостью и с трудом отдают флюиды, поэтому среди них часто наблюдаются высокопористые пемзовые шлаковые разности. Извержение вулканов сопровождается об-



разованием пирокластов, объем которых в 6 раз превышает объем лав. Во время перерывов между извержениями в понижениях рельефа накапливаются осадочные породы разного генезиса. Их состав отличается большим разнообразием. Это песчано-глинистые, карбонатные, соленосные и другие отложения. В вулканических постройках, таким образом, наблюдается хаотичное переслаивание лав, пирокластов и осадочных пород. Отсюда понятно, почему оценка инженерно-геологических характеристик вулканогенных толщ представляет собой весьма сложную задачу. Для разреза вулканогенов характерна невыдержанность и пестрая изменчивость свойств и состава пород. Кроме того, со старением вулканических пород происходят их литификация и изменение основных инженерно-геологических характеристик.

Интрузивные формации так же, как и предыдущие, характеризуются в основном вещественным составом, условиями образования, а также временем проявления главной складчатости. Различия в инженерно-геологических свойствах формаций интрузивных пород в их первичном состоянии невелики. Это плотные, прочные, недеформируемые, слабопроницаемые, трещиноватые породы, которые не вызывают особых беспокойств в инженерно-строительном отношении. Ухудшение инженерно-геологических свойств интрузивных пород происходит в результате воздействия некоторых эндогенных и экзогенных процессов: выветривания, денудации, тектонических, геотермальных и др. В связи с этим представляется важным оценка таких факторов, как глубина и условия залегания, время проявления основной складчатости и размеры интрузивных тел. Изучению интрузивных формаций наибольшее внимание уделяется в районах орогенных областей, где они выходят на поверхность или залегают неглубоко. В осадочных бассейнах – молодых и древних плитах, межгорных впадинах – интрузивные породы скрыты под мощным осадочным чехлом. Поскольку образование интрузивных тел происходит не одновременно, а в несколько этапов и сопровождается формированием интрузивных фаций разного состава, геотермальной деятельностью, рудо- и пегматитообразованием и тектоническими процессами, их формационный анализ представляет собой сложную задачу. Особый интерес в связи с этим представляет изучение крупных интрузивных массивов площадью сотни и тысячи квадратных километров. Такие массивы образуют батолиты в древних щитах.

Метаморфическая формация – неустоявшееся понятие, поскольку в геологической природе существует только два пути получения вещества – седиментационный и магматогенный. При метаморфизации происходит преобразование исходного первичного материала, образованного ранее при седиментационных и магматических процессах. С учетом сказанного

под метаморфической формацией следует понимать ассоциацию горных пород, образующихся на определенных стадиях развития геологических структур и регионального метаморфизма осадочных и магматических пород. Различаются метаморфические породы, сложенные монофациальными образованиями, формирующимися в постоянных термодинамических условиях при проявлении складчатости и динамометаморфизма, и полифациальными типами, возникающими при изменяющихся термодинамических условиях в результате прогрессивного регионального метаморфизма, связанного с процессами глубинного магнообразования.

Учение о геологических формациях в 1960–1980-х гг. XX столетия широко использовалось в региональной инженерной геологии. Формационный анализ был положен в основу обзорных, мелко- и среднемасштабных инженерно-геологических карт, а также был применен при составлении восьмитомной монографии «Инженерная геология СССР». И. В. Попов определил понятие «формация» как базовое: на его основе производится классификация геологических тел и дается их инженерно-геологическая характеристика. Он указывал, что геологическая формация – это обособленное в земной коре естественно-историческое сообщество генетически связанных сопряженных горных пород, жидкостей и газов, т. е. при выделении формации учитывал ее трехфазное состояние. Но следует иметь в виду, что понятия «геологическая (литологическая) формация» и «инженерно-геологическая формация» существенно различны.

По Г. К. Бондарьку, формация – это полипородное геологическое тело, обладающее тремя основными особенностями: во-первых, единством формирования этого тела; во-вторых, определенной изменчивостью в его пределах; в-третьих, сохранением определенных свойств в объеме тела как по мощности, так и по площади его распространения.

Классификация инженерно-геологических формаций предложена В. Т. Трофимовым. Она может быть выполнена в виде двухкоординатной таблицы-матрицы, по вертикальной оси которой расположены классические геологические формации, выделяемые по геолого-структурным и литолого-петрографическим признакам, а по горизонтальной – признаки, описывающие особенности современного физического состояния пород, слагающих геологические формации.

Следует отметить, что хотя учение о формациях имеет базовое значение для РИГ, с помощью инженерно-геологических формаций нельзя решить все задачи по составлению иерархического распределения геологических тел разного масштаба, объема и содержания. Как правильно подчеркнул Г. К. Бондарик, инженерно-геологические формации имеют ограниченные возможности. Только структурный ярус сохраняет целостность геосистем и отвечает определенному парагенезису заключенных в них

компонентов. Эта иерархическая единица характеризует одну формацию или несколько в горизонтальном ряду, которые расположены между геолого-структурным этажом и стратиграфо-генетическим комплексом.

#### **1.4. Геоморфологические условия как фактор инженерно-геологических условий**

Неотектоника, геоморфология и современные геологические процессы являются взаимосвязанными региональными факторами современных инженерно-геологических условий. На характер проявления современных геологических процессов, микро- и мезорельеф сильное воздействие оказывают климатические условия. Современные геологические условия и рельеф – зональный фактор инженерно-геологических условий.

Геоморфологические условия при инженерно-геологической оценке позволяют познать рельеф как топологию местности, определить ведущий признак для понимания распределения поверхностных отложений на местности, выделить места и формы проявления современных геологических процессов. Сами по себе геоморфологические условия зависят от тектонических процессов, их интенсивности и размаха, от комплекса слагающих территорию пород, их состава, прочности и условий залегания, от климатических условий, а также интенсивности и характера экзогенных геологических процессов.

На территории Российской Федерации выделяются 11 геоморфологических провинций, различающихся строением рельефа.

1. Балтийский кристаллический щит. Основными рельефообразующими факторами являются:

- глыбовые тектонические движения дочетвертичного и четвертичного времени;
- выпахающая деятельность ледников;
- петрографический состав;
- тектоническое строение.

Влияние этих факторов комплексное. Здесь четко обособляются Хибинские горы, сложенные дислоцированными высокопрочными породами с отметками до 2000 м; Кольский полуостров, где четко выражено крупноступенчатое плато, созданное в результате глыбовых движений, спускающееся в сторону океана уступами; здесь проявилась деятельность ледника – она сгладила рельеф, не изменив его сути. На территории Карелии породы залегают в форме складок с различной прочностью; деятельность ледника привела к формированию сельгового рельефа (параллельно расположенные гряды).

2. Равнины европейской части, расположенные в пределах Русской плиты. Современный рельеф в крупном плане повторяет основные структурные элементы. Строение осадочного чехла плиты из пород разной крепости и слабая их дислоцированность создали предпосылки для формирования ступенчатых плато. Важным рельефообразующим фактором является ледниковая деятельность: аккумулятивная в средней полосе и выпахаивающая на северо-западе. Новейшие тектонические движения управляют эрозионными процессами, в результате положительных неотектонических движений сформировалась Приволжская возвышенность, а в результате отрицательных – аккумулятивные Приморские равнины и низменности Финского залива, Ладожского озера, Прионежская и Печорская низменности, а также Приволжская низменность и аккумулятивные низменности по р. Дон и Днепр.

3. Горы Кавказа – типичные горно-складчатые сооружения, принадлежащие к альпийской складчатости, которые состоят из кулисообразных горных цепей с различными высотными отметками.

4. Урал – горная провинция, протягивающаяся с севера на юг на 2000 км, наивысшая отметка на севере – 1 895 м. Средняя часть – всхолмленная равнина, на юге – низкие горы. Формирование Урала обусловлено тектоническими процессами, проистекавшими с Байкальского этапа, неотектоническими движениями, характером залегания пород и экзогенными процессами. Существенную роль в формировании Урала сыграла эрозионная деятельность рек, ледника в северной части. Выделяют три области: 1) область западных предгорий; 2) центральная горно-складчатая область; 3) область восточных предгорий.

5. Западно-Сибирская низменность. Современный рельеф формировался с неогена, с этого времени происходило медленное погружение северной части территории при неизменном положении южной части. Поэтому в южной части – денудационные процессы, а в северной – аккумулятивные. Большая часть провинции – результат деятельности р. Оби и Иртыша, в северной части активным фактором рельефообразования явился ледник. Характерно развитие эрозионных и аккумулятивных равнин, низменностей. Речная сеть врезана слабо, новейшие колебания и эрозия создали сеть крупных, но невысоких речных эрозионных террас.

6. Горы Южной Сибири. Охватывают горные хребты и нагорья Алтая, Кузнецкого-Алатау, Саян, межгорную котловину Верхнего Енисея, Становой хребет, Патомо-Мамское и Витимо-Олекминское нагорья, горы южного Забайкалья и Верхнего Приамурья. Характерной особенностью является наличие разновозрастных горных хребтов с отметками до 4 520 м на западе и до 3 490 на востоке и тектонических котловин, оформленных сбросами. Формирование провинции происходило под воздействием тек-

тоники, также в формировании горного рельефа участие принимала ледниковая деятельность. Из экзогенных процессов на рельеф огромное влияние оказали морозное выветривание и склоновые процессы. Особый характер в данной провинции имеет рельеф Приобской подгорной аккумулятивной равнины, смыкающейся с южной окраиной Западно-Сибирской низменности и имеющей волнистый характер рельефа.

7. Среднесибирская плоская возвышенность располагается на значительной части Сибирской платформы. Рельеф однообразный, в центре – столовые горы, сложенные траппами. Высота в среднем 500–550 м, с глубиной вреза рек 150–300 м. С юго-запада на восток отметки увеличиваются до 1 100 м. Особо следует отметить плоскогорье Бырранга, которое крутым уступом возвышается над Среднесибирской плоской возвышенностью, происхождение его тектоническое. На севере провинции расположена Северо-сибирская низменность, на западе провинцию окаймляет Енисейский среднегорный кряж, на северо-востоке – Центральная Якутская низменность. Кроме тектонических процессов на формирование рельефа оказала влияние ледниковая деятельность.

8. Горы Монголо-Манжурского типа. Расположены в южном Забайкалье. Рельеф – низкие горы и котловины. Существенной частью провинции является область горных степей южного Забайкалья с высотами 500–700 м и отдельными горами до 1 100 м. Межгорные впадины сформировались в озерных условиях, хотя первопричиной явились тектонические процессы.

9. Горы и низменности Дальневосточного юга охватывают Приамурье, Уссурийский край, Сахалин. Рельеф состоит из тектонических хребтов и впадин. Благодаря длительному периоду денудации с мелового периода рельеф приобрел плосковершинный характер. Активные горообразовательные процессы протекали в третичный и четвертичный периоды. В результате сформировался среднегорный рельеф с отметками 1000–1 500 м. В этот же период происходит излияние базальтов, которыми сформированы обширные покровы. Реки глубоко врезаны в рельеф, оледенение проявилось слабо, как рельефообразующий фактор оно проявилось в Буринском хребте и Ям-Алине. Существенными геоморфологическими элементами являются Зейско-Бурейское плато, Верхнее-Бурейская впадина, хребет Сихоте-Алинь, озерные впадины Приамурья и Сахалинские горы.

10. Горы и низменности Восточной Якутии и севера Дальнего Востока. Обширная провинция, представленная хребтами, межгорными впадинами, низменностями, формирование которых проходило в мезозое. Включает в себя жесткие допалеозойские и палеозойские массивы. Формирование рельефа шло в несколько этапов:

- глубокий эрозионный размыв в заключительную фазу мезозойского тектогенеза (поздняя юра – ранний мел);
- развитие процессов выветривания в условиях формирующейся Тихоокеанской геосинклинали;
- интенсивный тектогенез в окраинной геосинклинальной зоне;
- мощное древнечетвертичное оледенение, сменявшееся в своих фазах на покровное, прерывистое, горное;
- общее восходящее развитие страны с интенсивным развитием эрозионной деятельности, локализация оледенения на высоких уровнях, деградация ископаемых форм на севере с развитием термокарста. Из экзогенных процессов на рельеф повлияло физическое выветривание, мерзлотные, склоновые процессы.

11. Вулканические горы и межгорные впадины Дальнего Востока. Карякско-Камчатская провинция. Развитие рельефа протекало в условиях энергичных тектонических движений, сопровождавшихся развитием древнего и современного вулканизма и сейсмичностью. На севере потухшие вулканы с высотой менее 800 м, с обширными Приморскими низменностями, центральная и южная часть – высокогорный рельеф, зона развития современного вулканизма, высоты более 4000 м, горы вулканического типа, межгорные впадины, прибрежно-морские равнины. Рельеф Курильских островов аналогичен. Кроме вулканизма и тектонических процессов в формировании рельефа участвуют ледниковые и экзогенные процессы.

Геоморфологические особенности любой территории являются инженерно-геологическими условиями строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Рельеф всегда учитывается при возведении любого инженерного сооружения. Он оказывает влияние на характер и местоположение современных отложений, их генезис, гидрогеологические условия (особенно на глубину залегания грунтовых вод), на современные геологические процессы, их характер и интенсивность.

Новейшие отложения, сформировавшиеся в непродолжительный этап геологической истории Земли и не подвергшиеся существенным постгенетическим изменениям, сохранили наиболее четкую связь с обстановками осадконакопления, современными или древними элементами рельефа земной поверхности и особенностями новейших тектонических движений, климатом и главное – динамикой процесса аккумуляции. Поэтому для осадочных четвертичных отложений наиболее отчетливо прослеживается зависимость инженерно-геологических свойств пород от их генезиса и фациальных условий образования.

Зависимость инженерно-геологических свойств пород от их генезиса наиболее полно выражена в «Учении о генетических типах отложений». Генетический тип отложений – сложное, закономерное сочетание осадков,

на образование которых влияют особенности динамики среды осадконакопления, обусловленные их приуроченностью к различным формам рельефа или стадиям его развития. Генетический тип отложений обуславливает инженерно-геологические особенности толщ пород: ее строение, состав, условия и формы залегания, соотношение с отложениями других генетических типов, сочетание пород определенного фациального и гранулометрического состава в разрезе и в плане, преобладание определенных литологических типов пород, характер слоистости, особенности текстуры, изменчивость мощностей. В свою очередь, все это влияет на физико-механические свойства пород и закономерности изменчивости их в массиве. Элювиальные отложения характерны для любых форм рельефа, но сохраняются только на ровных поверхностях (плато, равнины, низменности, поверхности выравнивания горных стран). Делювиальные и коллювиальные отложения залегают на склонах и у подножья холмов, на склонах речных долин и гор. Для отрицательных форм рельефа наиболее характерными являются пролювиальные, аллювиальные отложения.

Аллювий – наиболее распространенный генетический тип, обусловлен русловыми потоками, приурочен к речным долинам. В разрезе аллювия по инженерно-геологическим особенностям обособляются толщи руслового и пойменного аллювия. Отложения руслового аллювия резко различны в горно-складчатых и равнинных областях. В горно-складчатых областях русловой аллювий представлен в основном крупно- и среднеобломочным материалом и в меньшей степени песками и другим мелкодисперсным материалом. На равнинах отложения руслового аллювия наиболее дисперсные, преобладают кварцевые пески. В целом, для руслового аллювия характерно увеличение дисперсности материала снизу вверх по разрезу и одновременно уменьшение физико-механических свойств в этом же направлении, связанное с уменьшением плотности сложения пород (рис. 3). Русловой аллювий обладает значительным коэффициентом фильтрации подземных вод. При этом водопроницаемость значительно больше по слоям, чем по разрезу.

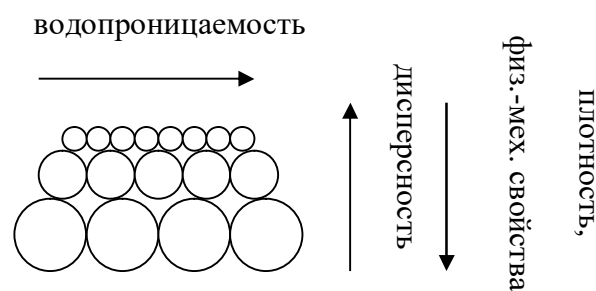


Рис. 3. Изменение дисперсности и физико-механических свойств руслового аллювия по разрезу

Пойменный аллювий также разнообразен по фациальному составу, строению, инженерно-геологическим особенностям. Наблюдается увеличение дисперсности пород от русла к прибрежной зоне. В соответствии с этим в пойменном аллювии наблюдается уменьшение плотности пород от русла в сторону берега, уменьшение физико-механических свойств в этом же направлении (рис. 4). Ухудшение физико-механических свойств связано с повышением пористости, сжимаемостью, относительной просадочностью пород. Старичный аллювий характеризуется высоким содержанием органических остатков, содержит закисные формы железа; для него характерна низкая плотность сложения, средняя и повышенная сцепляемость, малая водопроницаемость.

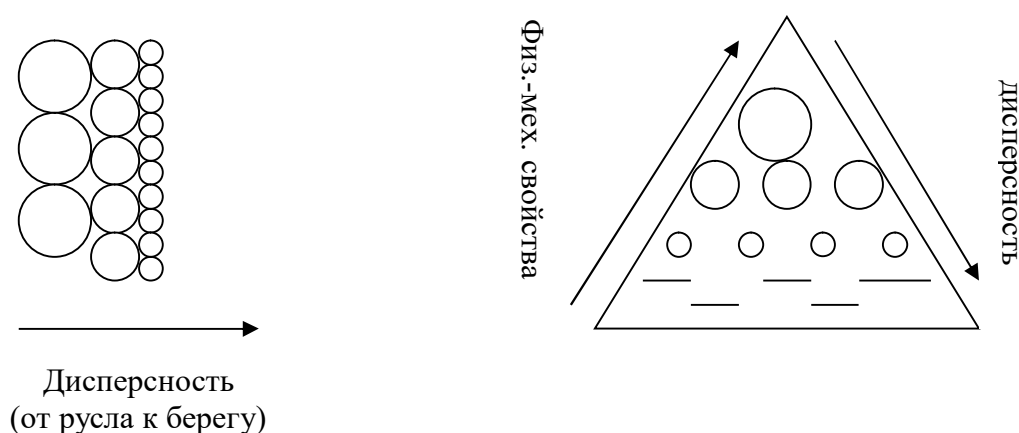


Рис. 4. Изменение дисперсности и физико-механических свойств пойменного аллювия

### 1.5. Подземные воды и их роль в формировании инженерно-геологических условий

В грунтах содержатся разные виды воды: в виде пара, льда, физически связанной (гигроскопической, пленочной, осмотической); свободной (капиллярной, гравитационной); химически связанной воды. В инженерно-геологическом плане важную роль играют как грунтовые, так и пластовые воды. Грунтовые воды распространены повсеместно. В зависимости от того, в каких породах они развиты, делятся на порово-грунтовые, трещинно-грунтовые, трещинные воды.

Трещинные (трещинно-жильные) воды характерны для разломов земной коры, развиты в горно-складчатых областях, геосинклинальных зонах. Грунтовые воды циркулируют от высоких точек к низким отметкам. Разломные зоны могут быть очень водообильными. По этим же зонам возможен подток вод из нижележащих горизонтов. Трещинные воды распространены в магматических, метаморфических породах, в их верхней зоне,



для них характерна циркуляция, тесная связь с рельефом, от которого зависит глубина залегания вод, направление их движения.

Трещинно-поровые грунтовые воды развиты наиболее широко в плотных сцементированных отложениях, в их верхней, наиболее трещиноватой и разуплотненной части. Глубина залегания, направление движения также зависят от рельефа.

Поровые воды развиты в рыхлых отложениях разного генезиса. Их глубина залегания и направление движения зависят от слагающих пород и форм рельефа.

Грунтовые воды тесно связаны с атмосферными осадками. На глубину залегания грунтовых вод и их химический состав оказывает влияние состояние пород, в которых они циркулируют.

В отличие от грунтовых вод пластовые образуют бассейны. Они характерны для платформ, межгорных и предгорных впадин. Артезианские бассейны представляют собой сложную систему пластовых вод, разделенную непроницаемыми и слабопроницаемыми барьерами. Общая особенность артезианских бассейнов – питание их в периферийных частях, переток через полупроницаемые барьеры, увеличение солености вод с глубиной. В отличие от них гидрогеологические массивы, развитые в геосинклинальных областях, не образуют пластовых, четко дифференцированных по пластам вод, представляют собой совокупность различных по составу вод, циркулирующих по трещинам и разломам. Они не имеют гидрохимической зональности, часто слабоминерализованные.

Грунтовые и пластовые воды являются важным фактором инженерно-геологических условий. Учитывая, что воды прямо или косвенно воздействуют на породы, влияют на их физико-механические свойства, устойчивость, воздействуют на сами инженерные сооружения, главным образом, на фундаменты, они могут выступать мощным фактором, определяющим устойчивость инженерного сооружения в целом.

***Воздействие подземных вод на горные породы с различными структурными связями.*** Различные грунты по-разному реагируют на подземные воды. Так, скальные грунты, обладающие ковалентными связями, при водонасыщении практически не меняют своих прочностных характеристик и не растворяются. В осадочных сцементированных породах водопрочность определяется составом и свойствами цемента. Осадочные химические и биохимические породы с ионными структурными связями обладают значительной растворимостью и резко теряют прочностные свойства. Дисперсные органохимические осадочные слабосцементированные грунты с ионно-электростатическими связями при увлажнении сильно теряют прочностные свойства (набухание). Водопроницаемость перечисленных грунтов зависит от их трещиноватости. В осадочных глини-

стых, лессовых и других связанных грунтах с различными связями несущие свойства зависят от их влажности. Эти породы обладают незначительной водопроницаемостью. Осадочные обломочные грунты под воздействием воды меняют не только свои свойства, но и структурные связи с молекулярно-электростатических на капиллярные. Породы обладают значительной водопроницаемостью. Содержание в связанных грунтах определенного количества осмотической воды, позволяющей частицам передвигаться друг относительно друга без разрыва сплошности, определяет их пластичность. Наличие в грунте рыхлосвязанной воды и глинистых минералов, обладающих гидрофильными свойствами, приводит к набуханию пород, увеличению их объема. При набухании объем грунта увеличивается от 1 до 45 %, а в антропогенных грунтах – в 2–3 раза. Для глин противоположным набуханию процессом является усадка, которая происходит при высушивании глинистого материала в условиях сильного испарения или при извлечении воды из него. Усадки могут быть до 10 %, что влияет на устойчивость инженерных сооружений. В отличие от глин в лессовых грунтах просадки происходят при увеличении влажности, это связано с растворением карбонатного материала в лессах. Так как лессовые породы распространены широко в южной и центральной частях Западной Сибири, на Восточно-Европейской, Сибирской платформах, строительство на этих грунтах требует особой внимательности. При ослаблении или растворении структурных связей между частицами грунта под воздействием воды теряется их связность, грунт превращается в рыхлую массу с частичной или полной потерей несущей способности (характерно для дисперсных грунтов и практически отсутствует в породах с кристаллизационно-ковалентными связями).

Движущийся поток подземных вод нередко приводит к размыванию грунта, при этом грунт отдает частицы, ионы воде. Размыванию подвержены породы с кристаллизационными, ионными и ковалентными связями. Чаще всего в прочных породах размывание связано с процессом выветривания: чем он интенсивнее, тем больше размыв. Плотные глины и суглинки, не размокающие в воде, размываются под длительным воздействием текучей воды.

Растворение грунтов обусловлено взаимодействием молекул воды, обладающих тепловым движением и электрическими полями, с кристаллической решеткой минералов. В результате растворения и последующего выноса водой вещества грунта происходит образование пустот и нарушение несущих свойств грунта. Все типы грунтов в той или иной степени растворимы.

Замерзание воды в грунте ведет к росту напряжений, вызывает нарушение сплошности пород.

Таким образом, грунт, исследуемый для целей строительства, должен быть изучен не только в естественном состоянии, но и при различной влажности, чтобы иметь полную картину изменения свойств от гидрогеологической обстановки в ходе эксплуатации сооружений.

**Подземные воды и экзогенные геологические процессы.** Подземные воды во многих экзогенных процессах выступают как обязательный фактор. Основным геологическим процессом, связанным с растворением пород и нарушением несущей способности, является карст.

Карст – процесс химического и отчасти механического воздействия вод на растворимые проницаемые горные породы, при этом происходит изменение структуры и состояния, разрушение и вынос минеральных частиц с образованием пустот в массиве пород, создается особый характер циркуляции и режима подземных вод, своеобразный рельеф, усложняются условия строительства инженерных сооружений. В целом растворяющая способность вод повышается с ростом температуры и уменьшением ее минерализации. В Российской Федерации 60 % территории, на которой производится строительство, занято карстующимися породами.

Суффозия – процесс, связанный с выносом мелких частиц из пород текучими подземными водами. Этот процесс характерен как для прочносвязанных цементированных грунтов, так и для рыхлых, где он протекает наиболее интенсивно. В результате выноса частиц образуются полости, ухудшающие несущие свойства, приводящие к провалам, разрушению инженерных сооружений. Основными действующими силами при суффозии являются большие скорости фильтрации или высокое гидродинамическое давление потока. В рыхлых несвязанных грунтах с большим количеством мелкой фракции и пылеватых частиц гидродинамические напоры приводят грунт в пльвунное состояние. Пльвуны неустойчивы, поэтому строительство на них требует сложных инженерных решений. Суффозия развивается преимущественно в породах, у которых коэффициент неоднородности состава – более 20 %, а гидравлический градиент – более 5 %.

Активное участие подземные воды принимают в выветривании пород, так как они несут с собой большие количества  $O_2$ ,  $CO_2$ , которые при взаимодействии с породами выступают как активные агенты их разрушения; в результате активных реакций происходит растворение пород, нарушение структурных связей, изменение состояния водовмещающей породы. Чем больше воды в состоянии пропустить порода, тем будет интенсивнее процесс выветривания.

В процессе оползнеобразования и берегоразрушения подземные воды выступают мощными факторами. Выделяют три группы процессов, обуславливающих причины оползней:

- 1) процессы, разрушающие подошву склона;
- 2) процессы, ухудшающие прочностные свойства пород;
- 3) процессы, увеличивающие давление на породу.

Первая группа обусловлена поверхностными водами, остальные – подземными. В областях избыточного увлажнения и слабого стока при соответствующих морфологических и почвенных условиях образуются заболоченные территории, превращающиеся в болота. Одним из условий образования болот является близкое залегание подземных вод (менее 0,5 м) или выклинивание подземных вод на склонах при незначительном испарении.

***Воздействие подземных вод на условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений.*** Этот процесс делится на две группы: непосредственное воздействие подземных вод на инженерные сооружения; опосредованное воздействие подземных вод.

Непосредственное воздействие подземных вод на инженерные сооружения происходит, когда последние взаимодействуют с подземными водами и сила этого взаимодействия зависит от глубины залегания подземных вод, водообильности пород, агрессивности подземных вод. Наиболее часто с подземными водами непосредственно сталкиваются при строительстве различных горных выработок и закладке фундаментов. При горных выработках возникают большие водопритоки. При больших водопритоках, осложняющих строительство и эксплуатацию инженерных сооружений, требуется интенсивный водосброс или замораживание, или опережение накопления воды.

При интенсивных откачках в горных породах могут происходить вторичная консолидация осушенных горных пород, депрессионное уплотнение песчано-глинистых пород, формирование агрессивных вод, усиление суффозионно-карстовых процессов при осушении карбонатных пород. Все это может приводить к деформациям поверхности, нарушению горных выработок, коммуникаций, сооружений.

Подземные воды являются чувствительными индикаторами на антропогенное воздействие, особенно в городах, где нарушаются режим подземных вод, условия их питания и разгрузки, стока, меняются химический состав, температура. В результате этих процессов довольно часто наблюдаются затопление подвалов и разрушение фундаментов.

При больших водозаборах, как из грунтовых, так и артезианских бассейнов, происходят осушение пород, их консолидация и проседание, образуются мульды проседания, достигающие нескольких метров. Площади этих мульд могут быть огромными, например, диаметр мульды под Лондоном – до 180 км, Токио – 300 км. Отбор воды для водоснабжения Венеции вызывает постепенное оседание пород и затопление города морем.

Повышение уровня подземных вод, связанное с утечкой из коммуникаций, нарушением естественного режима, ведет к уменьшению механической прочности пород (сопротивления сжатию и сдвигу). Происходит подтопление территории вследствие строительства дамб, создания искусственных водохранилищ. В результате подземные воды появляются там, где их раньше не было, и в таком количестве, которое не наблюдалось прежде. В волжских водохранилищах подпор подземных вод сказывается в 20 км от береговой линии.

На территории России подтапливается примерно 900 городов, площадь подтапливаемой территории – более 8000 км<sup>2</sup>. В результате слабых мелиоративных мероприятий за последние 10–15 лет площадь подтапливаемой территории удвоилась.

На строительство и эксплуатацию инженерных сооружений большое влияние оказывает химический состав подземных вод. Подземные воды способны разрушать инженерные сооружения вследствие их агрессивности. Виды агрессивности подземных вод: углекислотная; выщелачивающая; общекислотная; сульфатная; магнизиальная; кислородная.

Углекислотный вид агрессивности проявляется в разрушении бетона в результате растворения карбоната кальция под действием угольной кислоты, чему способствуют слабая минерализация вод, высокое содержание углекислого газа. Максимальное содержание углекислого газа при опасных условиях строительства не должно превышать 3 мг/дм<sup>3</sup>, а при менее опасных – 8,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Выщелачивающая агрессивность происходит за счет растворения карбоната кальция и вымывания из бетона гидрата окиси кальция. В зависимости от состава цемента, условий, в которых находится сооружение, вода, согласно нормам, обладает выщелачивающей агрессивностью при минимальном содержании гидрокарбонат-иона 0,4–1,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Общекислотная агрессивность связана с содержанием свободных водородных ионов, вода обладает данным видом агрессивности при рН = 5–6,8.

Сульфатная агрессивность связана с повышенным содержанием в воде сульфат-ионов. При проникновении такой воды в бетон происходит кристаллизация, образуются сульфат-содержащие соли, вызывая вспучивание и разрушение бетона. При применении сульфатостойких цементов агрессия воды имеет место при содержании в ней сульфат-иона 4000 мг/дм<sup>3</sup> и более, а при обычных цементах – от 250 мг/дм<sup>3</sup>.

Магнизиальная агрессивность возникает при высоком содержании иона магния и зависит также от содержания сульфат-иона. В зависимости от сортов цемента, условий конструкции, содержания сульфат-иона, маг-

незначительная агрессивность проявляется при содержании магния от 750 мг/дм<sup>3</sup> и более.

Кислородная агрессивность обусловлена повышенным содержанием в воде кислорода и проявляется по отношению к металлическим конструкциям; при совместном присутствии кислорода и углекислоты агрессивное действие кислорода повышается.

### **1.6. Геокриологическая (мерзлотная) обстановка как фактор формирования инженерно-геологических условий**

Мерзлотная обстановка на территории Российской Федерации относится к числу важнейших факторов инженерно-геологических условий. Это связано:

- с широким распространением многолетнемерзлых пород (более 50 % территории России);
- многолетнемерзлые породы – специфический тип грунтов, свойства которых зависят от количества льда, температуры пород и с резким изменением несущих свойств при температурах, близких к 0°C;
- с развитием на территории распространения многолетнемерзлых пород специфических мерзлотных процессов, формирующих своеобразный рельеф;
- с формированием на территории развития многолетнемерзлых пород своеобразных гидрогеологических условий;
- с высокой чувствительностью многолетнемерзлых пород к антропогенному воздействию.

Все это требует специфических методов исследования, оценки и прогнозирования ожидаемых изменений в инженерно-геологических условиях в сравнении с территориями, где многолетнемерзлые породы отсутствуют.

Многолетнемерзлые породы и сезонно-мерзлые грунты принципиально отличаются от талых грунтов тем, что в них имеется твердая составляющая, представленная льдом, который образуется при отрицательной температуре и выполняет роль цемента. Мерзлые грунты обладают только им присущими криогенными структурными связями, поэтому состав, строение и свойства мерзлых грунтов определяются: составом, строением, свойствами твердой минеральной составляющей пород, а также органо-минеральной и органической компонентами; количеством льда, его температурой и его распределением в породе, что оказывает наибольшее влияние на инженерно-геологические условия. Лед резко меняет свои прочностные свойства при повышении температуры. При температурах, близких к 0°C или несколько превышающих это значение, происходит от-

таивание грунтов, приводящее к изменению его состояния и свойств, в первую очередь – к изменению прочностных и деформационных характеристик. Это создает динамичную инженерно-геологическую среду, при этом изменения во времени происходят очень быстро.

Лед в мерзлых грунтах может встречаться в виде очень мелких кристаллов, кристаллов разной величины, шлиров различной ориентировки, жил, линз и мономинеральных тел, нередко, очень больших размеров. В песчаных, грубообломочных породах текстурообразующий лед обычно представлен льдом-цементом или шлировым. В тонкодисперсных породах лед встречается в виде массивов с равными этим дисперсным породам мощностями. В дисперсных породах широко развиты повторногляциальные и инъекционные льды, пластовые льды разного генезиса. В трещиноватых массивах лед встречается в форме жил (заполняет трещины), в карстовых массивах лед заполняет карстовые пустоты.

В процессе промерзания грунтов меняются не только их строение, но и показатели состава и свойств. Так, суммарная влажность мерзлых грунтов очень высокая, особенно большую влажность приобретают мерзлые глинистые породы при условии подтока влаги из нижележащих горизонтов и промерзания. Высокая влажность мерзлых грунтов способствует тому, что плотность скелета мерзлых грунтов (особенно связных) значительно ниже, чем у талых. Если в мерзлые породы поступает влага, то межчастичная пористость еще больше возрастает и постепенно заполняется льдом. В отличие от талых пород, грубообломочные, песчаные мерзлые породы являются водоупорами, а мерзлые глинистые породы не являются полными водоупорами, что связано с наличием в них незамерзающей воды.

Низкотемпературные породы обладают очень слабой сжимаемостью, поэтому их можно рассматривать как скальные грунты, поскольку с увеличением температуры их свойства, как и скальных грунтов, резко меняются. В целом для всех мерзлых грунтов характерно: их прочностные характеристики значительно выше, чем у аналогичных, но талых пород; чем ниже температура пород, тем выше их прочностные характеристики; увеличение льдистости и влажности при небольших значениях приводит также к увеличению прочности грунта; при температурах, близких к 0°C или положительных, многолетнемерзлые грунты, включая их мерзлые трещиноватые разности, могут давать значительные тепловые осадки, величина которых может достигать десятки процентов от мощности оттаявшей толщи. Такие осадки неизбежно приводят к деформациям, разрушениям инженерных сооружений.

Условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений на многолетнемерзлых породах классифицируются как очень сложные (особые условия), требующие специальных методов использования многолет-

немерзлых грунтов в качестве естественного основания, применения специальных инженерных мероприятий для устойчивости этих сооружений. При строительстве на многолетнемерзлых грунтах принципиально важным, с точки зрения устойчивости инженерных сооружений, является сохранение естественного состояния пород. Это касается сооружений не только на поверхности, но и в недрах земли, так как мощность многолетнемерзлых пород может достигать тысяч метров.

Образование многолетнемерзлых пород связано с развитием покровных льдов, горного оледенения, которые произошли в начале четвертичного периода, а также с сохранением низких среднегодовых температур на большой площади. Все это создало специфическую инженерно-геологическую обстановку в областях их распространения, определило свойства этих грунтов, влияет на их устойчивость и развитие экзогенных процессов (на выветривание многолетнемерзлых пород, на ход аккумуляции, на весь процесс литогенеза в целом). Комплекс криогенных и посткриогенных процессов приводит к формированию специфических геоморфологических условий при промерзании пород. При накоплении толщи льда происходит пучение грунтов, морозобойное растрескивание пород, термоэрозия, термоабразия, термокарст, солифлюкция. В ходе этих процессов возникают бугры и площади пучения, формируются гидролаколиты, солифлюкционные террасы, различные морфогенетические типы полигональных образований. При оттаивании пород территории, где льда больше, возвышаются над теми, где льда в породах меньше, т. е. тепловые осадки сначала происходят там, где льда меньше, затем наоборот. При тепловых осадках формируется останцовый рельеф, оттаивание мерзлых грунтов приводит к формированию обширных заболоченных территорий. Наличие многолетнемерзлых грунтов затрудняет связь поверхностных вод с подземными, препятствует инфильтрации осадков, способствует заболачиванию.

Воды в криолитозоне делятся на: надмерзлотные, расположенные в сезонноталом слое; межмерзлотные, которые могут находиться в глинистых грунтах; подмерзлотные воды, расположенные ниже многолетнемерзлых пород. Надмерзлотные воды близки к болотным, обогащены органическими соединениями, имеют низкую минерализацию, обладают высокой агрессивностью к бетону и металлическим конструкциям. Межмерзлотные воды разнообразны по составу, проявляют агрессивность к бетону, могут циркулировать в разломах, трещинах, являются высококоэффициентным носителем, препятствующим полному промерзанию пород. Подмерзлотные воды распространены на больших глубинах, являются низкотемпературными рассолами. В целом, подземные воды в много-



летнемерзлых породах осложняют условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

Мерзлотные условия развиваются как под влиянием геолого-тектонических факторов, так, и в особенности, климатических. Среди климатических наибольшее значение имеет теплообеспеченность территории и ее увлажненность. Большую роль в распространении многолетнемерзлых пород играет тепловой баланс Земли. Климатические условия являются главным необходимым условием образования, развития и сохранения многолетнемерзлых пород. Геолого-структурные условия влияют на особенности развития мерзлых толщ, на состав отложений, на строение массивов, наличие разрывной тектоники, особенности гидрогеологических структур, оказывают влияние на теплотокеты из недр Земли и криогенное строение, особенности многолетнемерзлых толщ в плане, разрезе и на их мощность. Для пространственного изменения, как отдельных параметров мерзлотной обстановки, так и для всей обстановки в целом, характерна подчиненность закону широтной зональности и высотной поясности. Эта их особенность отражается в мерзлотном районировании, где широтная зона или высотный пояс выступают как главные таксонометрические элементы иерархической системы. При мерзлотном районировании выделяют 3 зоны: северную, центральную, южную. Северная зона – зона практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород, где они занимают 95-100% площади. Эта зона характеризуется наличием низкотемпературных пород большой мощности. Центральная зона – зона совместного распространения многолетнемерзлых пород и сезонномерзлых пород, в которой выделяют 3 подзоны:

- 1) массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород, где многолетнемерзлые породы занимают 60–95 % площади;
- 2) островного распространения многолетнемерзлых пород, где они занимают 30–60 % площади;
- 3) редкоостровного распространения многолетнемерзлых пород – менее 30 %, как правило, 5–10 %.

Южная зона – зона развития сезонномерзлых грунтов, которая делится на 2 подзоны: северную и южную. В северной подзоне развиты породы сезонного промерзания, в южной – кратковременного или несистематического промерзания пород.

Для каждой зоны и подзоны характерен свой диапазон изменений среднегодовых температур и мощности многолетнемерзлых и сезонномерзлых толщ.

Мерзлые грунты, таким образом, выступают в двух ипостасях: являются и региональным, и зональным фактором, так как состояние, мощность, свойства, характер распространения многолетнемерзлых пород зависят от

широты местности (равнины) или высоты (горно-складчатые сооружения). Кроме того, они зависят от количества тепла, поступающего на территорию, и количества выпадающих осадков, особенно в зимний период.

### **1.7. Современные геологические процессы как фактор развития инженерно-геологических условий**

Детальное изучение геологических процессов, создаваемых ими явлений и прогноз во времени необходимы для инженерной защиты сооружений от негативных последствий, вызванных этими процессами и явлениями. Оценивая роль геологических процессов как факторов инженерно-геологических условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений, следует иметь в виду, что эти факторы являются наиболее молодыми и развивающимися; нередко геологически мгновенными, исторически кратковременными; наиболее активными, мощными на современном этапе; изменяющими инженерно-геологические условия как на больших площадях, так и на небольших участках.

Среди эндогенных процессов, в первую очередь, необходимо учитывать современные движения земной коры, как горизонтальные, так и вертикальные. С этими процессами связаны землетрясения. По сейсмическому районированию территория Российской Федерации относится к зонам землетрясений от 10 и более до 5 и менее баллов. При этом наиболее устойчивыми являются территории Русской плиты, Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы, за исключением ее восточных и южных территорий, особенно территорий, примыкающих к Байкальской рифтовой зоне; к сейсмически менее опасной территории относится часть севера Дальнего Востока. На указанных территориях сейсмическая активность – 5 и менее баллов. Сейсмичноопасные зоны Российской Федерации: Алтае-Саянская горно-складчатая область, Забайкальская горно-складчатая область, Чукотка, Кавказ, Карпаты, Кольский полуостров, а также прибрежные части Северных морей. Здесь сейсмическая активность может достигать 7–8 баллов. Особо опасными территориями являются Кавказ, Алтай, Байкальская рифтовая зона, Сахалин, Камчатка, Курилы, где сейсмическая активность достигает 10 баллов и более.

Цунами – проявляются в прибрежных, океанических территориях, связаны с землетрясениями и вулканизмом. Цунами – огромная волна, вызванная подводными землетрясениями или подводным вулканизмом. На берегу проявляется в отступании моря, а затем волной до 30 м высоты. Волны распространяются по устьям рек, приводят к большим разрушениям. Явление труднопрогнозируемое. Опасные территории Российской Федерации: Камчатка, Сахалин, юг Дальнего Востока, Курилы.

Извержения вулканов. Появляются методики, которые предсказывают, когда произойдет извержение. Для Российской Федерации характерны вулканы на Камчатке и Сахалине, также вулканы есть на Кавказе. Вулканизм опасен по нескольким причинам:

- вулканические процессы сопровождаются землетрясениями;
- при вулканических извержениях выбрасывается большое количество твердых веществ на огромную высоту и расстояния;
- образование и излияние лавы, в зависимости от состава, ее потоки могут распространяться на различные состояния;
- связанные с извержениями, потоками лав активизации склоновых процессов (сели, снежные лавины).

При необходимости строительства в этих районах мы должны опираться на прогноз возможности эндогенных процессов, их силу для учета при конструкции зданий. При этом необходимо иметь в виду, что если это явление не проявляется в настоящее время, это не значит, что оно не проявится никогда. Вулканизм и цунами характерны только для молодых горно-складчатых областей.

В отличие от эндогенных экзогенные процессы более разнообразны и протекают на всей территории Российской Федерации. Их можно подразделить на 3 группы.

- 1) связанные с деятельностью поверхностных вод;
- 2) связанные с деятельностью подземных вод;
- 3) склоновые гравитационные процессы.

### ***Первая группа***

Абразия – может носить речной и морской характер. Абразии подвергаются все берега морей; происходит при воздействии волн на береговые породы. Наиболее активно абразия морей проявляется на Дальнем Востоке, Камчатке, Сахалине, Курильских островах. Речная абразия связана с деятельностью рек: подмыв берегов, разрушение береговой линии, которые происходят под действием силы потока. Абразия – процесс интенсивный, но длительный.

Эрозия – проявляется в появлении канав, оврагов, связана с плоскостным смывом, стеканием воды вследствие таяния снега, дождей по поверхности в сторону дрен. Зависит от количества воды, ее скорости течения, толщины водяного слоя, устойчивости пород к размыву рельефа местности. Эти отрицательные формы рельефа могут занимать большие территории и иметь большие скорости развития.

Сели – характерны для горно-складчатых областей, для их образования необходимо: крутой склон, наличие на этом склоне разрушенного материала, большого количества воды. Сели по времени проявления кратко-

временные, представляют собой водно-грязе-каменную массу, движущуюся с огромной скоростью, энергия этого потока велика. Сели – достаточно распространенное явление, строительство в селеопасных районах противопоказано.

Оползни – характерны для горно-складчатых и равнинных территорий. В оползневом процессе участвуют как рыхлые отложения, так и прочносцементированные. Условия, в которых возникают оползни, различны, как и масштабы оползней, могут развиваться на десятки и сотни километров. Оползни невозможны без участия поверхностных и подземных вод, силы тяжести.

Процессы *второй группы* подробно рассмотрены в разд. 1.4.

### ***Третья группа***

Склоновые процессы проявляются повсеместно, но в зависимости от конкретных условий имеют различную интенсивность и характер. Так, обвалы и осыпи проявляются на крутых незалесенных, незадернованных склонах, характерны для горно-складчатых областей, для различного рода выемок (карьеры, котлованы, выемки на дороге).

Обвалы носят мгновенный характер, их последствия – разрушения инженерных сооружений.

Солифлюкция – разновидность оползня, но характерна для многолетнемерзлых пород, происходит на склонах малой крутизны; это перемещение грунта на склонах небольшой крутизны под действием гравитации, но необходима высокая водонасыщенность пород (происходит сплывание). При положительных температурах и таянии льда связи между частицами теряются, и масса приобретает возможность сплывать по склону. Последствия – смещение инженерных сооружений, их разрушение.

Снежные лавины – для них необходимо наличие большой массы снега, крутого склона, лишённого растительности. Характерны только для горно-складчатых областей, проявляются широко. «Минилавины» могут происходить на равнинах, связаны с глубокими оврагами, явление нечастое, не приносит большого вреда.

## **1.8. Зональные факторы формирования и зональность инженерно-геологических условий**

Существует зональность в распределении факторов инженерно-геологических условий, в их воздействии на условия строительства, например, зональность в распределении многолетнемерзлых пород. Эта зональность зависит от количества тепла, поступающего на единицу площади, т. е. управляется экзогенным фактором. Сложнее выглядит зональность грунтовых вод.

Наиболее ярко выражена ландшафтная зональность, которая также играет роль в формировании условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений. На территории Европейской части выделяются зоны тундры, степей, пустынь; подзоны лесотундры, лесостепей; полупустынь.

Зона тундры – относится к поясу избыточного увлажнения, для нее характерны сильные ветры, особенно зимой, следовательно, мощность снежного покрова неравномерная и меняется от 1 см до 1–1,5 м. Это приводит к неравномерному распределению глубин промерзания и оттаивания многолетнемерзлых пород и неравномерности температур горных пород.

Характерными чертами степной зоны являются ярко выраженная континентальность климата, жаркое лето, холодная зима. Сильные ветра, следовательно, неравномерный снежный покров, отдельные участки могут промерзнуть значительно глубоко. Важной особенностью различных типов отложений в этой зоне является их неполное водонасыщение. Для глин этой зоны характерны набухание при замачивании, просадки лессов.

Зона пустынь в европейской части занимает небольшую территорию Прикаспийской низменности. Климат резко континентальный, засушливый. В отличие от других зон широко развиты различные песчаные отложения и формируется своеобразный рельеф. Условия строительства с точки зрения устойчивости благоприятные. Отрицательный фактор – движения песков, которые могут приводить к засыпаниям сооружений. Важную роль играет перепад температур как суточных, так и среднегодовых. Температура летом до + 40°C, зимой до минус 30°C. Колебания температуры в течение дня могут достигать 15°C и более. В горных районах климат зоны зависит от высоты местности.

Экзогенные процессы не подчиняются широтной зональности, но в то же время она оказывает влияние на то, какие процессы протекают на данной территории и какова их интенсивность и разнообразие. Наиболее разнообразны экзогенные процессы, происходящие в тундровой зоне: термокарст, растрескивание пород, болотные процессы, физическое выветривание, склоновые процессы и т. д.

В степной зоне в силу открытости пространств широко развиты ветровые процессы, оврагообразование, засоление пород, связанное с дефицитом осадков.

Зоны тундры и степей характеризуются сложными условиями строительства и эксплуатации инженерных сооружений в силу большой интенсивности и разнообразия экзогенных геологических процессов.

С точки зрения подчиненности климата, инженерно-геологические условия зональны. Так как в каждой климатической зоне экзогенные геологические процессы воздействуют по-разному на условия строительства и эксплуатации сооружений, выпадает различное количество осадков,

воздействуют различные температуры, гидрогеологические условия (с точки зрения грунтовых вод); следовательно, также различны сами условия, которые зависят от совокупности факторов. Поэтому они также зональны.

### **1.9. Теоретические вопросы инженерно-геологического районирования**

Инженерно-геологическое районирование является специальным видом геологического районирования, служит для систематизации знаний об инженерно-геологических условиях территории, оценки их неоднородности и сложности. Особенно важна роль инженерно-геологического районирования при средне- и мелкомасштабной съемке. Инженерно-геологическое районирование рассматривается в качестве важнейшего метода региональных исследований, при этом разные исследователи вкладывают разные понятия в инженерно-геологическое районирование. И. В. Попов считал, что для того чтобы районирование было удобным для практического использования, территорию следует разделять на однородные по инженерно-геологическому характеру части и указывать их сходность, различие характерных геологических черт. Таким образом, под инженерно-геологическим районированием И. В. Поповым понимается разделение территории на однородные по инженерно-геологическому характеру части. Примерно той же точки зрения придерживается И. С. Комаров, который считает, что инженерно-геологическое районирование – это выделение отдельных территорий, однородных по своему характеру, при этом деление на части должно носить последовательный характер с тем, чтобы следующая часть, выделяемая из общего, носила более однородный характер.

По мнению В. Т. Трофимова, **инженерно-геологическое районирование – это выявление в сложной и многосторонней геологической среде на основе совокупности теоретических пониманий и методических приемов системы территориальных элементов, обладающих какими-либо общими инженерно-геологическими признаками, ограничение их от территорий, не имеющих этих признаков, систематика, картографирование, описание.**

В практике инженерно-геологических исследований применяются различные виды районирования, они классифицированы В. Т. Трофимовым, который выделил 2 типа, 5 видов и 10 разновидностей инженерно-геологического районирования.

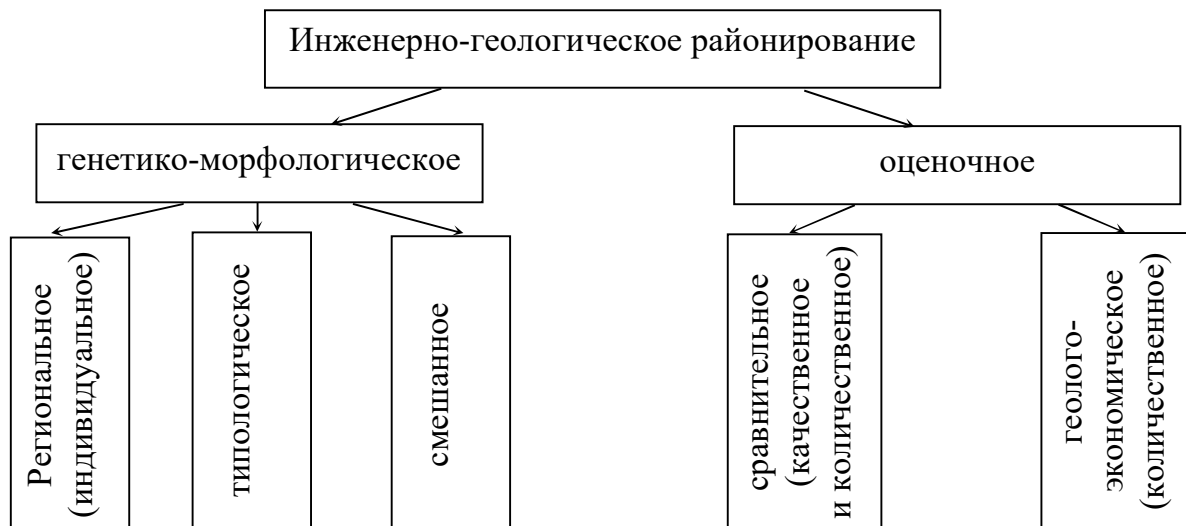


Рис. 5. Систематика инженерно-геологического районирования (по Трофимову)

Первый тип районирования – генетико-морфологическое, или естественно-историческое: на основе определенных принципов и классификационных признаков выявляют и обособляют территориальные единицы разного порядка.

Второй тип – оценочное районирование – предусматривает оценку сложности инженерно-геологических условий различных территориальных комплексов на основе различных качественных и количественных показателей, в том числе экономических.

В первом типе выделяют три вида районирования: региональное, типологическое, смешанное.

При региональном виде, разработанном Н. И. Николаевым и И. В. Поповым, изучаемая территория делится на территориальные единицы разного порядка или ранга, каждая последующая единица выделяется из предыдущей на основе выбранных классификационных признаков. При этом любая территориальная единица обособляется как целостный элемент, окруженный другими территориальными единицами того же порядка (рис. 6). Каждая такая единица характеризуется ясно выраженной индивидуальностью, получает свою характеристику и собственное название.

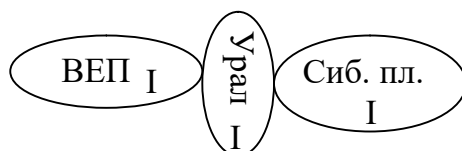


Рис. 6. Порядок территориальных единиц при региональном районировании

Типологическое районирование предусматривает выявление и выделение определенных типов территориальных единиц того или иного порядка на основе учета наиболее общих и существенных признаков или отказа от учета многих особенностей, свойственных им. При этом характеристика дается не каждому контуру, а группе контуров данного типа, обособленные типологические территориальные единицы могут существовать в виде разрозненных участков, расположенных в различных частях изучаемой территории на любом расстоянии друг от друга, они могут перемежаться с территориальными единицами других типов (рис. 7).

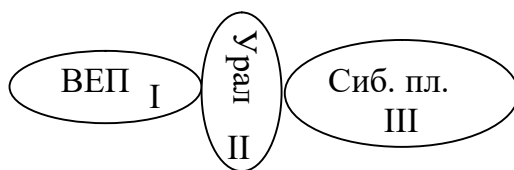


Рис.7. Порядок территориальных единиц при типологическом районировании

Смешение этих двух видов районирования недопустимо на одной и той же ступени или стадии районирования. Хотя в практике часто используют и тот и другой вид районирования, при этом сначала производят региональное районирование, а затем, в пределах выделенных территорий, – типологические.

Смешанный вид районирования предполагает обособление регионов на основе регионального районирования (крупных регионов), а более мелких – на основе типологического.

Второй тип подразделяется на два вида: сравнительное (качественное и количественное); геолого-экономическое (количественное).

Сравнительное районирование по своему содержанию может быть общим и специальным, широко применяется при всех видах инженерно-геологических исследований.

Инженерно-геологическое районирование выполняется по определенным принципам на основе выбранных классификационных признаков.

Принципы – это логические правила, важнейшие методологические положения, которые должны соблюдаться при проведении районирования любого типа, вида, разновидности.

Признаки – характерные черты, параметры, особенности объекта, обоснованные исследователем, на основе которых производится деление территории при региональном районировании или классификация, типизация территориальных единиц при типологическом районировании, а также оценка сложности инженерно-геологических условий.



В. Т. Трофимовым были выделены следующие принципы инженерно-геологического районирования:

1. Районирование должно проводиться по вещественно-морфологическим глубоко инженерно-геологическим признакам, отражающим важнейшие закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий, обусловленных воздействием региональных и зональных геологических факторов.

2. Сумма площадей (объемов), выделенных при районировании территориальных единиц, должна быть равной объему (площади) делимой территории при региональном виде районирования или объему классифицируемого при типологическом и оценочном районировании.

3. При районировании должны соблюдаться требования соразмерности.

4. Признаки, по которым производится деление территории или классификация территориальных единиц, должны выбираться с учетом того, чтобы каждая точка (территориальная единица) попадала только в одну из выделенных категорий.

5. В пределах одной таксонометрической единицы все границы единиц следующего ранга должны проводиться по признакам одного порядка, классификационный признак может изменяться от одной ступени районирования к другой.

6. Каждая граница между выделяемыми таксономическими единицами должна проводиться по вполне определенному классификационному признаку.

Классификационный признак определяет содержание и глубину инженерно-геологического районирования. Первым этапом любого районирования является классификация признаков, по которым будут выделяться территориальные единицы. Инженерно-геологические условия – очень сложная, многофакторная система, обладающая большим числом существенных и второстепенных признаков, поэтому при районировании необходимо выбрать те главные признаки, которые наиболее важны для инженерно-геологической оценки территории, к их числу относятся: параметры, характеризующие структурно-тектоническое строение, горные породы, рельеф, подземные воды, современные геологические процессы и явления. Главнейшими из них являются признаки, характеризующие распространение комплексов горных пород на территории. При многоступенчатом районировании используется метод перехода от большего к частичному, т. е. на первом этапе выбирается признак, характеризующий наиболее основные параметры территории и изменение которого ведет к изменению большинства параметров инженерно-геологических условий. В дальнейшем выбираются другие признаки, с помощью которых можно

охарактеризовать все более ограниченные участки. Поэтому важно на каждой стадии районирования выбирать один ведущий признак и по нему проводить границы между территориальными единицами.

Существует три логических варианта при районировании природных условий:

- с единственным классификационным признаком;
- с последовательно-вводимыми классификационными признаками;
- бифуркация (раздвоение) – с изначальным разделением признаков на данной территории (возможно, на хорошо изученной территории).

По решению совещания по инженерно-геологическому районированию и картографированию (М., 1962), по предложению И. В. Попова, чаще всего используются следующие классификационные признаки генетико-морфологического районирования. Для обособления территориально-таксонометрических единиц разного ранга употребляются:

- регионы, которые выделяются по структурно-тектоническому признаку;
- области – по геоморфологическому признаку;
- районы – по литолого-генетическому признаку;
- подрайоны – по гидрогеологическому признаку или по особенностям состава, состояния пород, процессов.

*Регионы* выделяются по структурно-тектоническим признакам, включают в себя структуры первого, второго и последующих порядков и их крупные части. *Области* фиксируются в пределах одного региона по геоморфологическим признакам. Они также могут делиться на области 1-го, 2-го и последующих порядков. Покровные отложения могут быть представлены комплексами разного генезиса. *Район* представляет собой часть области, имеющей единообразное строение и состоящей из определенного числа литологических и петрографических комплексов. Части районов, различающиеся по гидрогеологическим условиям и наличию древних и современных техногенных процессов, выделяются в *подрайоны* и *участки*.

Инженерно-геологические условия любого региона контролируются воздействием региональных и зональных факторов. Наиболее важное значение среди них имеет эволюционное развитие территории, от момента отложения осадков до гипергенных изменений в приповерхностной части разреза под действием географических факторов.

Базой для обоснования первого этапа районирования – выделения регионов – является структурно-тектоническое районирование. Главный показатель, характеризующий состояние и свойства выделенных структур, – возраст складчатости. Принципы, разработанные И. В. Поповым, были

использованы при инженерно-геологическом районировании территории СССР. Так, на Русской платформе выделяются 15 регионов первого порядка, на Сибирской – 23 региона первого порядка. Затем рассматривается пять горно-складчатых стран. Обратим внимание на то, что для Западно-Сибирской плиты районирование проводится не по структурам, образованным породами коренной основы, а по областям распространения преимущественно покровных отложений. В этом регионе различается пять областей, объединяющихся по возрасту и генезису покровных и других отложений, слагающих верхнюю часть геологического разреза.

Интересно, что территориально инженерно-геологические районы и области, выделяемые на схеме инженерно-геологического районирования СССР, совпадают с положением гидрогеологических районов первого порядка. Почти полностью такое совпадение отмечается на территории Русской, Скифской, Западно-Сибирской плит, но в то же время на Сибирской платформе выделяется гораздо больше инженерно-геологических регионов, чем гидрогеологических районов первого порядка. Это понятно, потому что исходной основой для создания как той, так и другой схемы служили работы в области структурной геологии. Вместе с тем вполне очевидны различия в этих схемах, поскольку объекты районирования в том и другом случае различны. Отметим, что степень детализации И. В. Попова во многих случаях выше, поэтому количество регионов первого порядка, которые он выделяет, больше, чем на схемах регионального гидрогеологического районирования.

Некоторые уточнения необходимо внести и в сами принципы, разработанные И. В. Поповым по инженерно-геологическому районированию. Речь идет, прежде всего, об изучении воздействия географических факторов на инженерно-геологическую обстановку – широтные зональности и высотные пояса. Требуют дальнейшего развития и другие вопросы инженерно-геологического районирования: использование формационного анализа, развитие систематики и таксономии инженерно-геологических единиц, разработка новых видов специального районирования, более широкое использование инженерно-геологических данных для регионального анализа территории.

Для выполнения оценочного геологического районирования в качестве классификационных признаков чаще всего используется степень пригодности, благоприятности, необходимости или характер инженерной подготовки территории. На основе степени пригодности выделяются участки, районы, подрайоны, пригодные, ограниченно-пригодные, не пригодные для того или иного строительства; На основе подготовки выделя-

ются: не требующие специальной инженерной подготовки, требующие специальной инженерной подготовки.

Проблемы инженерно-геологического районирования привлекали внимание многих инженеров-геологов: В. Т. Трофимова, Г. А. Голодковской, И. С. Комарова, Г. К. Бондарика, Л. Д. Белого, Г. Л. Коффа, Е. Н. Коломенского и др. Каждый автор вносил свой вклад в развитие идей И. В. Попова. При инженерно-геологических исследованиях обычно используются два подхода инженерно-геологического районирования территории: 1) система однорядного (последовательного) районирования; 2) двухрядная (перекрестная) система районирования.

Наиболее широко используется первая система. В ней, в соответствии с предложениями И. В. Попова, предусматривается обособление в таксономическом ряду четырех основных звеньев: регион – область – район – участок. Развивая эти предложения и учитывая важнейшие закономерности зонального изменения инженерно-геологических условий крупных геолого-структурных зон земной коры, В. Т. Трофимов ввел более широкую гамму таксономических единиц районирования:

*регион* – по структурно-тектоническому признаку;

*провинция* – на основе учета характера грунтов;

*зона* – по современному состоянию грунтов;

*подзона* – по современному состоянию грунтов в верхней части разреза;

*область* – по характеру рельефа, как выражению неотектоники;

*район* – по особенностям геологического строения в верхней части разреза, одной геологической формации;

*участок* – по особенностям протекающих инженерно-геологических процессов.

Степень дифференциации территории при районировании связана с характером ее изученности, сложностью инженерно-геологических условий и масштабом исследований. При мелко- и среднемасштабных исследованиях (1:100 000 и мельче) выделяют все таксономические единицы до инженерно-геологического района включительно; на схемах районирования масштаба 1:50 000 – 1:25 000 обычно удается обособить области, районы, подрайоны, а на крупномасштабных схемах (1:10 000 и крупнее) – районы, подрайоны, а главное – участки.

Первая, наиболее крупная территориальная единица – регион. В качестве классификационной единицы для выделения этой группы районирования Г. А. Голодковская предложила использовать возраст складчатости, и на основе его выделяет семь типов регионов: 1) древние платформы; 2) молодые платформы; 3) регионы байкальской складчатости; 4) регионы

каледонской складчатости; 5) регионы герцинской складчатости; 6) регионы мезозойской складчатости; 7) регионы альпийской складчатости.

Второе место в иерархии таксономических единиц, предложенных В. Т. Трофимовым, занимает инженерно-геологическая провинция – распространение пород с жесткими связями и без них в пределах континентальной (наземной) части региона и распространение пород и осадков без жестких связей в пределах морской (подводной) части региона.

Зона – крупная часть провинции, в пределах которой современное состояние пород в разрезе грунтовой толщи обусловлено, главным образом, особенностями фазового состояния воды в них, является достаточно однотипной с инженерно-геологических позиций и регионально выдержанной. По условиям распространения и режима многолетнемерзлых пород В. Т. Трофимов предложил выделять три типа зон: 1) практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород; 2) совместного распространения многолетнемерзлых и талых пород; 3) распространения талых и немерзлых пород. При выделении видов учитываются площадное распространение многолетней мерзлоты, степень влажности, засоленности грунтов, их консистенция и глубина залегания грунтовых вод.

Области выделяются по характеру рельефа и генетико-возрастным особенностям четвертичных отложений. Район рассматривается по формационным особенностям слагающих его пород.

Двухрядная система районирования стала использоваться в практической работе в последние десятилетия. Она предусматривает разделение территории и классификацию инженерно-геологических обстановок с помощью двухкоординатной сетки таблицы-решетки (матрицы). При ее применении важнейшие закономерности пространственного изменения инженерно-геологических условий учитываются на основе последовательного, но обязательно сопряженного на каждом (или определенном) этапе анализа изменчивости региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий. В указанной таблице производные единицы, являясь таксономическими единицами разного ранга (региональное или типологическое – в зависимости от характера классификационных признаков, рассматриваемых по осям таблицы-матрицы), представляют собой как бы клетки разного размера

На основе двухрядного подхода к районированию территории В. Т. Трофимов предлагает перейти к структурному инженерно-геологическому районированию. В качестве объекта инженерно-геологического районирования он рассматривает инженерно-геологические структуры – закономерно организованные объемы или части литосферы, сформированные под влиянием определенных региональных и зональных геологи-

ческих факторов и однородные по каким-либо, в принципе заранее определенным, инженерно-геологическим параметрам. Формирование инженерно-геологических структур определяется воздействием зональных и региональных факторов, а таксономический уровень и их иерархический порядок устанавливаются по характеру и степени взаимодействия этих факторов. Главными среди региональных факторов являются неотектонические процессы, а среди зональных – геологические климатогенные. Вслед за С. Б. Ершовой и Е. М. Сергеевым (1983) районирование начинается с глобального уровня, а затем опускается на региональный и последующий уровни, что фиксируется соответствующими структурами супер-, мега-, макро- и мезоструктур.

Анализ особенностей инженерно-геологических структур позволил выявить их парагенетические связи, что, в свою очередь, дало возможность расставить эти структуры в соответствующие ряды. Систематизация материалов показала, что на нашей планете теоретически может быть выделено шесть типов суперструктур, 48 типов мегаструктур, 121 тип макроструктур и 420 типов инженерно-геологических мезоструктур.

Следует отметить, что предложенная схема районирования базируется на фундаментальной основе типизации территории суши и дна океана по структурно-тектоническим и неотектоническим признакам, которые разработаны В. Е. Хаиным и Н. И. Николаевым. Реализация географической зональности и высотной поясности происходит с учетом их влияния на поведение и оценку состояния, свойств и состава горных пород, что усиливает инженерно-геологическое содержание предложенной классификации.

Рассматривая суть инженерно-геологического районирования, выделим несколько существенных недостатков ее реализации: 1) отсутствует логическая связь между инженерно-геологическими классификациями пород, стратификацией разреза и районированием; 2) нарушается принцип районирования, требующий сохранения одинакового уровня организации объекта независимо от стадии его расчленения или масштаба исследования; 3) инженерно-геологическая природа изучаемых объектов вырисовывается обычно на самых низких стадиях районирования.

Принимая логику размышления, принятую при рассмотрении инженерно-геологической классификации пород и стратификации разреза, предлагаем выделять четыре группы инженерно-геологических районов первого порядка: 1) сложенные осадочными породами (седиментогенные структуры); 2) сложенные метаморфическими породами (инженерно-геологические массивы, состоящие из метаморфических пород); 3) сложенные интрузивными породами (массивы, состоящие из интрузивных

пород); 4) вулканогенные структуры. Из этого следует, что к инженерно-геологическим районам первого порядка относятся структуры, сложенные осадочными, метаморфическими, интрузивными и вулканогенными породами. Можно пронумеровать инженерно-геологические районы первого порядка так: I тип – осадочные бассейны; II тип – метаморфические массивы; III тип – интрузивные массивы; IV тип – вулканогенные структуры. Каждый из названных типов инженерно-геологических районов характеризуется определенной организацией подземного пространства, поведением, состоянием, свойствами и составом пород, слагающих эти структуры.

В процессе геологической эволюции осадочные бассейны и вулканогенные структуры могут превращаться в переходные группы, соответствующие адмассивам, сложенным литифицированными и метаморфизованными породами осадочного и вулканогенного происхождения. Таким образом, к четырем основным типам инженерно-геологических районов первого порядка можно добавить еще два: V тип – структуры, сложенные сильнолитифицированными и метаморфизованными осадочными породами (осадочный адмассив); VI тип – сложенные метаморфизованными вулканогенными породами (вулканогенный адмассив). К шести названным типам следует добавить еще шесть: VII тип – рифтогенных структур; VIII тип – структур шельфа (переходных между сушей и океаном); IX тип – океанических склонов; X тип – океанических котловин; XI тип – океанических желобов и XII тип – срединных океанических хребтов.

Характеристика выделенных инженерно-геологических районов первого порядка может быть уточнена и продолжена, также будут совершенствоваться принципы инженерно-геологического районирования, но, главное, – на всех этапах регионального инженерно-геологического анализа в качестве базовых (первичных) должны быть использованы инженерно-геологические районы первого порядка. Все остальные параметры инженерно-геологического районирования являются вторичными или наложенными по отношению к базису. Инженерно-геологические районы первого порядка могут объединяться, соответственно образовывать надпорядковые структуры – области, пояса, системы поясов; они могут также делиться на структуры второго, третьего и более мелких порядков в зависимости от цели районирования.

Вместе с тем в области инженерно-геологического районирования остаются неразрешенными следующие задачи: 1) разработка принципов районирования инженерно-геологических условий природно-технических и измененных природных систем; 2) обеспечение логического перехода от обзорного мелкомасштабного районирования к среднemas-

штабному, затем крупномасштабному, обычно специальному, районированию; 3) разработка специализированных видов районирования – для разных видов строительства, для различных экономических оценок (стоимости изысканий, земель, эксплуатации и др.), по технологическим условиям освоения территории, по экологической обстановке и др.; 4) использование компьютерных технологий в практике инженерно-геологического районирования; создание на этой базе постоянно действующих моделей наиболее жизненно важных и проблемных территорий, например: районов стихийных бедствий и катастроф, мегаполисов, районов с резко изменяющимися инженерно-геологическими условиями в результате добычи полезных ископаемых, строительства и эксплуатации различных сооружений и др.

### **1.10. Инженерно-геологическое картографирование**

*История и состояние геологического картографирования.* В понятийно-смысловом блоке РИГ цепочку понятий завершает картографирование. Классики картографии (А. А. Тилло, Д. Н. Анучин, Н. Н. Барановский и др.) отмечали, что карты, которые представляют собой сгусток информации, отражают не только уровень развития науки, но и взгляды авторов. Кроме того, важно помнить, что карты – это не только средство, но и предмет изучения.

Карта как информационный документ, характеризующий пространственное положение изучаемого объекта, прошла сложный путь развития: проекция на плане или контуры распространения – многослойный показ объекта с использованием многочисленных и разнообразных графических знаков для изображения его составных частей – модель в целом на базе современных компьютерных технологий. В геологических науках работа с картами представляет весьма важный и ответственный вид творческой деятельности исследователя. Такая работа, с одной стороны, необходима для выявления разнообразных закономерностей и принятия компетентных решений, с другой, требует от исследователя внимательности, хорошей памяти и объемного воображения.

Картографирование геологических тел началось в XVII в. Например, первая карта, на которой условными знаками было показано распространение горных пород и минералов, составлена в 1644 г. французами, а в 1684 г. англичане предложили раскраску разновидностей пород. Одной из первых геологических карт в России является рукописная карта Восточного Забайкалья в масштабе 1:120 000, составленная в 1789–1794 гг. Дорофеем Лебедевым и Михаилом Ивановым.



В первой половине XIX в. в ведущих государствах Европы – Англии, России и Франции – проводилось региональное изучение геологического строения территорий, шла разработка стратиграфической шкалы и создавались первые обзорные карты. В Геологическом комитете, созданном в России в 1882 г., работали крупнейшие геологи: А. П. Павлов и С. Н. Никитин (центральная часть Европейской России), Ф. Н. Чернышев и Е. С. Федоров (Урал), И. В. Мушкетов, Г. Д. Романовский и В. Н. Вебер (Туркестан), В. А. Обручев (Сибирь). В 1892 г. под редакцией А. П. Карпинского была издана геологическая карта европейской части России в масштабе 1:2 520 000.

В 1920–1930-е гг. XX в. для создания минерально-сырьевой базы промышленной индустрии были охвачены геологическим картографированием многие другие регионы страны. Это позволило уже в 1937 г. на XVII сессии Международного геологического конгресса, проходившего в Москве, продемонстрировать Геологическую карту СССР в масштабе 1:5000000, составленную под редакцией Д.В. Наливкина. На этой карте некоторые области еще были отмечены белыми пятнами, как неизученные (северо-восток страны и некоторые полярные острова). Перед самой войной в 1941 г. под редакцией Н. Ф. Погребова была составлена первая Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:5 000 000. Систематизация геологического материала происходила и в других направлениях. Были созданы комплекты геологических карт (геологическая, геоморфологическая, тектоническая, четвертичных отложений, новейшей тектоники и др.).

Особенно активизировалась геологическая картография в послевоенные годы. За базовый был принят масштаб исследований 1:200 000, вместе с тем отдельные перспективные горно-рудные районы изучались в масштабе 1:50 000. В итоге к началу 1980-х гг. геологической съемкой масштаба 1:200 000 была покрыта почти вся территория СССР, а гидрогеологическим картированием того же масштаба – 70 % ее площади. Региональные геологические исследования охватывали не только нашу страну, но и все континенты мира, дно Мирового океана. Они дали представление о разных особенностях геологической среды, отдельных ее компонентах. По результатам региональных исследований были составлены многочисленные карты разного содержания: геолого-структурные, геохимические, геофизические, криологические, инженерно-геологические, экологические.

С периодичностью раз в 10 лет в нашей стране выходили атласы геологических карт, включающие 20–25, иногда больше специализированных карт разного содержания масштаба 1:7 500 000 – 1:10 000 000. В атласах были обобщены достижения геологической науки и картографии за пред-

шествующий период. Особенно удачным оказался «Геологический атлас России», изданный в 1996 г. и удостоенный Государственной премии России. Работа была выполнена в Санкт-Петербургском государственном горном институте (техническом университете), а три профессора института – А. А. Смыслов, В. С. Литвиненко и С. В. Сендек – стали лауреатами этой премии. Рассматриваемый атлас масштаба 1:10 000 000 включает 40 карт с объяснительными записками к ним. При разработке структуры атласа и принципов картографирования были использованы новейшие материалы по изученности страны, а также отечественные и зарубежные достижения в области наук о Земле.

В последние годы произошел резкий спад в региональной картографии, прекратилось финансирование съемок масштаба 1:200 000 – геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических и др. По-видимому, эта ситуация временная, поскольку основной фактический материал по изучению недр дают именно геологические и другие виды съемок. В настоящее время работы ограничиваются составлением геологических карт масштаба 1:1 000 000. Условное название этих работ – 1000/3. Это означает, что составляются геологические карты масштаба 1:1 000 000 третьего поколения. В качестве обязательных должны быть созданы следующие карты: геологическая, четвертичных отложений, полезных ископаемых, гидрогеологическая (подземных вод) и экологическая (эколого-геологическая). Все сказанное свидетельствует о том, что технология и техника составления региональных карт непрерывно совершенствуются, причем должна соблюдаться определенная гармония между содержанием этих карт и используемыми изобразительными средствами.

В зависимости от масштаба геологические карты подразделяются на обзорные и мелкомасштабные (1:500 000 и мельче); среднемасштабные (1:100 000 – 1:200 000); крупномасштабные (1:25 000 – 1:50 000); детальные (1:10 000 и крупнее).

Отражение с достаточной полнотой на одном листе обычной геологической карты возраста и литологического состава отложений, особенностей тектоники, геоморфологии, гидрогеологических и инженерно-геологических условий, состава и мощности четвертичных отложений, распространения полезных ископаемых и других особенностей делает карту трудно читаемой вследствие перегруженности различными условными обозначениями. В связи с этим на практике кроме обычной геологической карты составляют дополнительные карты специального назначения.

Таким образом, геологическая карта является исключительно важным инструментом для показа собранной информации с целью выявления закономерностей распространения геологических тел и наиболее

важных процессов, происходящих в зоне гипергенеза. При составлении региональных карт возникает много проблем, связанных с рациональным использованием изобразительных знаков, необходимостью показа глубинного строения и глубинных закономерностей, взаимоотношением аналитических и синтетических карт, карт «ручного» и «компьютерного исполнения».

*Специализированное геологическое картографирование (гидрогеологическое и эколого-геологическое).* Отраслевой тип карт имеет свою специфику графического изображения. Гидрогеологическое картографирование неразрывно связано с геологической съемкой и прошло путь от отражения фактического материала (источников, колодцев, скважин) на геологической основе (40-е гг. XX в.) до картографирования геологических стратонов с оценкой их гидрогеологического содержания (60–70-е гг.). Последний период можно назвать периодом стратиграфо-гидрогеологического картографирования. С начала 1980-х гг. наступил этап собственно гидрогеологического картографирования, когда объектом съемки стали гидрогеологические стратоны, а с 1995 г. гидрогеологическому картографированию стал придаваться экологический уклон и съемка стала называться эколого-гидрогеологической (ЭГИК-200).

Гидрогеологические карты могут быть сгруппированы по нескольким признакам: кондиционности, целевому назначению, масштабу и способу изображения. Кондиционность карт определяется степенью достоверности и насыщенности карты фактическим материалом. По целевому назначению карты могут быть общими и специальными. По масштабу они делятся на обзорные (масштаб 1:1 500 000 и мельче), мелкомасштабные (1:1 000 000 – 500 000), среднемасштабные (1:200 000 – 1:100 000), крупномасштабные (1:50 000 – 1:10 000) и карты-планы (1:5 000 и крупнее). По способу изображения карты подразделяют на расчлененные и совмещенные (аналитические и синтетические). На совмещенной показывается 9–10 гидрогеологических элементов. На расчлененную карту наносится какой-либо один элемент.

Следует отметить, что различие взглядов на принципы классификации, стратификации, районирования наглядно отражается в методике составления гидрогеологических карт. Выбор изобразительных средств (цвет, штриховка, крап, линия, точка, цифра, буква), а также рейтинг гидрогеологической нагрузки при картографировании имеют принципиальное значение. Поскольку диапазон выбора и того, и другого достаточно велик, разноречивой в методике составления гидрогеологических карт неизбежен.

В отличие от геологических на гидрогеологических картах и разрезах отображаются распространение, последовательность, условия и глубина залегания, качественная и количественная характеристика выделенных водоносных толщ и водоупоров в пределах глубины картографирования.

Описание обзорных гидрогеологических карт, построенных по различным методикам, можно найти в практикуме В. А. Кирюхина, Н. С. Петрова. В частности, Гидрогеологическая карта СССР (масштаб 1:5 000 000), составленная под редакцией И. К. Зайцева (ВСЕГЕИ) в 1966 г., может быть отнесена к совмещенному типу. При составлении этой карты были использованы литолого-емкостный принцип классификации подземных вод и совместное гидрогеологическое районирование грунтовых и артезианских вод. Основным объектом картографирования является тип скоплений подземных вод. В отличие от общей гидрогеологической карты ВСЕГЕИ в «Атласе гидрогеологических и инженерно-геологических карт» ВСЕГИНГЕО общие гидрогеологические карты в соответствии со стратиграфо-гидрогеологическим принципом составлены отдельно (карта грунтовых вод и карта напорных вод). Обзор состояния зарубежной гидрогеологической картографии сделан в работе Н. В. Роговской, изданной в 1981 г. В ней рассмотрены принципы и методика составления обзорных и специальных гидрогеологических карт, принятые в нашей стране и за рубежом.

Особого упоминания заслуживают специализированные гидрогеологические карты. На них может быть показана самая различная информация: минеральные воды, температура и ресурсы подземных вод, модули подземного стока, распространение многолетней мерзлоты, гидродинамическая и гидрохимическая зональности, газовый состав подземных вод и др. Для таких карт не существует обязательного набора элементов, но главный принцип всегда должен соблюдаться: цветом показывается главный классификационный признак, положенный в основу карты; при нанесении на карту другой гидрогеологической информации учитываются ее важность, степень и достоверность изученности.

Экологическая направленность геологических карт стала всеобщей. Под эколого-геологической картой в настоящее время понимается картографическое отображение геологической среды и происходящих в ней процессов, которые оказывают влияние на экосистемы и среду обитания человека.

Г. А. Голодковская, М. Б. Куринов, В. А. Королев (1995 г.) считают, что целью эколого-геологического картографирования является создание моделей, которые могли бы быть использованы для обоснования предельно допустимых нагрузок на окружающую среду; организации эколого-

геологического мониторинга и прогнозирования геоэкологической ситуации в связи с изменением природных условий и интенсификацией деятельности человека; обоснования управляющих решений и, в конечном счете, для выбора концепции экономического развития региона и экологической политики.

В 1990 г. М. С. Голицыным, В. Н. Островским и Л. А. Островским были разработаны «Требования к эколого-геологическим исследованиям и картографированию масштабов 1:1 000 000 – 1:500 000; 1:200 000 – 1:100 000; 1:50 000 – 1:25 000». Успешному проведению в России мелко-масштабного эколого-геологического картографирования способствовали также подготовленные ВСЕГИНГЕО «Методические рекомендации по составлению эколого-геологической карты масштабов 1:1 000 000 – 1:500 000», сводная легенда и макеты эколого-геологических карт масштаба 1:1000000.

В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг и Н. С. Красилова (1998) на основании анализа содержания более 300 публикаций и карт экологической тематики сделали вывод о том, что главным недостатком эколого-геологического картографирования является отсутствие единых принципов и унифицированной методики составления эколого-геологических карт. Часто эколого-геологическими называют традиционные гидрогеологические, инженерно-геологические, геохимические карты. Это связано с распространившейся тенденцией «экологизации» геологии без достаточного понимания сущности эколого-геологических подходов и отличий эколого-геологических карт от карт общегеологического содержания.

**Инженерно-геологическое картографирование.** Развитие инженерно-геологического картографирования в России связано с деятельностью русских геологов В. А. Обручева, В. В. Докучаева, М. М. Филатова, Ф. П. Саваренского, В. А. Приклонского, И. В. Попова, Н. В. Коломенского, Н. Н. Маслова, Е. М. Сергеева, Н. А. Цытовича, Н. И. Кригера, Л. Д. Белого, И. С. Комарова и др. Свое начало инженерно-геологическое картографирование берет от чисто описательных сведений при строительстве, главным образом, железных дорог и других объектов. Этот вид исследований получил большое развитие в связи с сооружением многочисленных гидротехнических объектов на крупных реках страны, промышленных гигантов, метрополитена и т. д., что привело к накоплению многочисленных фактических данных об инженерно-геологических условиях обширных территорий различных регионов. Впоследствии это потребовало выработки единой методики выполнения инженерно-геологических съемок и составления карт.

В 1961 г. в Москве и в 1962 г. в Берлине на совещаниях по инженерно-геологическому картографированию было рекомендовано составлять инженерно-геологические карты на геологической основе. В 1962–1967 гг. по единой методике были созданы инженерно-геологические карты (в комплекте геологических карт) в масштабе 1:7 500 000 и 1:5 000 000, а в 1972 г. – карта в масштабе 1:2 500 000 под редакцией М. В. Чуринова. В 1978 г. вышло в свет «Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 (1:100 000 – 1:500 000)», определившее требования к проведению съемки. Крупным вкладом в развитие инженерно-геологического картографирования явилось также создание «Методики комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштабов 1:200 000 – 1:500 000 (1970)», «Методического руководства по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства (1972)», монография «Инженерная геология СССР».

Несмотря на то, что по признанию большинства специалистов инженерно-геологическое картирование представляется ведущим методом регионального инженерно-геологического изучения любых территорий, однако до сих пор среди исследователей нет единого мнения о принципах и методике составления карт. В региональной инженерной геологии, как и в геологии, гидрогеологии, основным методом регионального инженерно-геологического изучения территорий является картографический. Он выступает, с одной стороны, как способ накопления и хранения обширной информации, с другой, как метод обработки и обобщения информации на основе построения карт. Картографический метод, по мнению М. С. Захарова, должен включать два различных методических приема: инженерно-геологическое картирование и инженерно-геологическое районирование, которые пересекаются с инженерно-геологическим картографированием.

Инженерно-геологическое картирование – это комплекс региональных исследований, направленный на изучение инженерно-геологических условий территории, выяснение пространственно-временных отношений всех компонентов ИГУ и имеющий конечной целью выделение простых геологических тел.

В настоящее время объектом картографирования в инженерной геологии служит геологическая среда. Многообразие задач, решаемых в этой области, часто приводит к произвольному отбору картируемых элементов, к различным сочетаниям этих элементов, выносимым на топографическую основу. Между тем карта как средство познания требует сбалансированного подхода к отбору, обработке и отображению информации. Это

ставит вопрос как о рациональном составлении инженерно-геологических карт, так и об эффективном их использовании. Кроме того, инженерно-геологические задачи нередко требуют значительного расширения наблюдаемой и картируемой информации, что сближает инженерно-геологические карты с семейством карт географического, гидрогеологического, эколого-геологического плана.

При инженерно-геологических исследованиях обычно не возникает необходимости в мелкомасштабных съемках. Мелкомасштабные (1:500 000 – 1:1 000 000) и обзорные (1:1 500 000 и мельче) инженерно-геологические карты, как правило, составляются камеральным путем в результате обобщения материалов более детальных исследований. Поэтому инженерно-геологические съемки целесообразно подразделять на среднемасштабные, крупномасштабные и детальные. В соответствии с этим должна сохраняться и общепринятая номенклатура инженерно-геологических карт. Классификация инженерно-геологических съемок предполагает плановое, последовательное, с постепенно возрастающей детальностью изучение инженерно-геологических условий территорий. Характер, степень полноты, достоверность информации, способ отображения ее на инженерно-геологической карте зависят в общем случае от сложности всего комплекса природных факторов, назначения карты, ее масштаба и от тех принципов, которые берутся за основу при ее составлении.

При инженерно-геологическом картировании сложились два направления, по-разному определяющие принцип и способ составления инженерно-геологических карт. Согласно первому, в основе инженерно-геологической характеристики территорий лежит формационный принцип, т. е. выделение формаций и геолого-генетических комплексов пород (И. В. Попов, Л. Д. Белый, М. В. Чуринов, Г. А. Голодковская и др.). Второе направление в основе инженерно-геологической характеристики и оценки картируемой территории кладет собственно инженерно-геологический принцип, т. е. выделение групп и подгрупп горных пород, существенно отличающихся по своим свойствам (Ф. П. Саваренский, М. П. Семенов, В. Д. Ломтадзе, М. С. Захаров и др.).

В первом случае на картах различного назначения и масштаба выделяются геологические формации и геолого-генетические комплексы пород «коренной основы» и «поверхностных отложений». Например, при построении инженерно-геологических карт сотрудники ВСЕГИНГЕО выделяют: для коренных пород – интрузивные, вулканогенные, метаморфические, вулканогенно-осадочные, терригенные, терригенно-карбонатные, карбонатные, флишевые, соленосные, угленосные и молласовые геологические формации; для четвертичных отложений – стратиграфо-генети-

ческие комплексы, принадлежащие к определенным генетическим типам пород. Так как геологические формации и стратиграфо-генетические комплексы являются базовой информацией, на картах их распространение отражают цветом. Инженерно-геологические группы пород показывают штриховкой, характер обводненности и распространения геологических процессов и явлений – специальными условными знаками. Классификационные показатели физико-механических свойств горных пород указывают цифрами у типовых скважин либо изолиниями. Инженерно-геологические карты сопровождаются одним-двумя инженерно-геологическими разрезами, инженерно-геологической колонкой, пояснительной запиской с таблицами и графиками.

Критические замечания по поводу содержания вышеуказанных карт были высказаны В. Д. Ломтадзе и М. С. Захаровым. Они сводятся к следующему: 1) неоднозначность в понимании категории «геологические формации», сложность выделения и их систематизации не позволяют использовать принцип формационного анализа в качестве единого научного принципа, согласно которому инженерно-геологические условия должны изображаться одинаково, независимо от их сложности и вида строительства, но с разной степенью детальности соответственно масштабу карты; 2) отражаемая цветом информация не является самостоятельной, а дублирует геологические карты; 3) невозможность последовательного использования формационного принципа для карт съемочных масштабов (средне-, крупномасштабных и детальных) как непосредственно в процессе выполнения съемки, так и при изображении инженерно-геологических условий на карте; 4) отображение на карте формаций и геолого-генетических комплексов в качестве основной информации не учитывает высокую степень геологической изученности территории страны, не является достаточным для инженерно-геологической характеристики и оценки территории, вследствие невозможности соблюдения правила геологической однородности не позволяет широко применять вероятностно-статистический и ряд других современных методов оценки физико-механических свойств горных пород, их пространственной изменчивости.

Для инженерно-геологических карт В. Д. Ломтадзе и другие исследователи предлагают применять собственно инженерно-геологический принцип. При этом цветом рекомендуется показывать площади распространения групп и подгрупп горных пород по инженерно-геологической классификации или их сочетания; петрографический состав картируемых пород показывается штриховкой черного цвета; породы второго или третьего слоя, существенно отличающиеся петрографическими особенно-



стями или относящиеся к другой группе, показываются в колонке-врезке; генезис и возраст горных пород отражаются общепринятыми индексами; водоносность горных пород отображается условными знаками синего цвета.

Все перечисленные элементы обязательно должны быть изображены на картах одинаково, независимо от сложности условий и вида строительства, но с разной степенью детальности, зависящей от масштаба карты. Поскольку на карте площади выделяются по степени сходства и различия инженерно-геологических условий, другого специального районирования можно не производить, оно является естественным следствием принятого принципа инженерно-геологического картирования. Инженерно-геологические карты сопровождаются сводной инженерно-геологической колонкой, разрезами и при необходимости – рядом специальных карт.

В рассмотренном варианте инженерно-геологическая карта будет достаточно простым и наглядным графическим документом, содержащим основную инженерно-геологическую информацию для решения различных практических задач.

В заключение следует отметить, что картографические проблемы инженерной геологии не найдут своего решения до тех пор, пока не будут логически увязаны между собой три «кита» РИГ: классификация пород, стратификация разреза и районирование. Следует также отметить, что в практику инженерно-геологического картографирования интенсивно внедряются компьютерные технологии, которые по роду обрабатываемой информации относятся к технологиям географических информационных систем (ГИС-технология). Для них характерно следующее:

а) с помощью этих технологий проводится систематизация накопленных за многие годы материалов, которые геологический фонд преобразует в легкодоступный информационный ресурс;

б) управление информационными ресурсами позволяет проводить комплексный анализ данных, характеризующих инженерно-геологические условия, и детализировать специфические особенности геологической среды;

в) компьютерные технологии составления и демонстрации карт независимо от изначально задаваемых масштабов позволяют наращивать информативность при просмотре, анализе и интерпретации этих карт.

## 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РЕГИОНОВ

### 2.1. Восточно-Европейская платформа

**Основание выделения.** Восточно-Европейская (Русская) платформа (ВЕП) является инженерно-геологическим регионом I порядка в соответствии с тектонической схемой, составленной А. А. Богдановым (1964). Восточно-Европейская платформа выделяется по структурно-тектоническому признаку. ВЕП – это древняя докембрийская платформа – устойчивый огромный блок континентальной коры. Её кристаллический фундамент сформировался в конце раннего протерозоя, осадочный чехол начал формироваться с позднего протерозоя. Сейчас она характеризуется малой подвижностью, слабым расчленением рельефа, малыми амплитудами колебательных движений, меньшим развитием магматизма по сравнению с подвижными поясами (геосинклиналями).

**Границы.** Восточно-Европейская платформа занимает большую часть Европейской России и Украины, всю территорию Белоруссии и Прибалтийских государств, территории Финляндии, Швеции, Дании, Норвегии, Польши, Румынии. Восточная граница платформы трассируется под позднепалеозойским Предуральским краевым прогибом, начиная от Полюдова Камня до Каратау и далее до междуречья р. Урал и Сакмары. На юге платформа граничит с эпигерцинскими плитами – Скифской и Туранской, на юго-западе – с альпийским Пердкарпатским краевым прогибом. На северо-западе проходит вдоль подножий каледонских складчатых цепей Скандинавии. Северная граница платформы соприкасается с байкальской складчатой системой, включающей Тиман, полуострова Канин, Рыбачий, Варангер.

**Экономико-географическая характеристика.** В орографическом отношении Русская платформа представляет собой обширную континентальную равнину площадью около 5,5 млн км<sup>2</sup>, именуемую в географических описаниях Русской, или Восточно-Европейской равниной. Она простирается на 2 750 км с севера на юг и на 3 000 км с запада на восток. На севере выходит к Белому и Баренцеву морям, на юге – к Чёрному, Азовскому и Каспийскому. На северо-западе ограничена Скандинавскими горами, на западе и юго-западе – горами Центральной Европы (Гарц, Судеты, Карпаты), на юго-востоке – Крымскими горами и Кавказом, на востоке – Уральскими горами и Мугоджарами. На территории равнины расположены Россия, Финляндия, Эстония, Латвия, Литва, Белоруссия, Польша, Германия, Украина и Молдавия. Абсолютные отметки поверхности равнины изменяются от – 28 м на берегах Каспия до 450–517 м в пределах наиболее крупных возвышенностей. Исключением является только цепь

невысоких горных массивов на Кольском полуострове, где отметки достигают 1 191 м. Средняя абсолютная высота равнины около 170 м. Наиболее крупными возвышенностями являются Украинская (515 м), Высокое Заволжье (517 м), Приволжская (337 м), Валдайская (346 м) и Средне-Русская (310 м). Здесь находятся также два почти полностью срезанных денудацией горных кряжа: Донецкий (367 м) и Тиманский (471 м). Большинство возвышенностей вытянуто в субмеридиональном направлении. Наиболее обширные и погруженные низменности располагаются в краевых частях Русской равнины: Прикаспийская, Причерноморская, Печорская. Ряд низменностей имеется и в ее центральных частях: Окско-Донская, Мещерская и др. Главный водораздел Русской равнины, разделяющий бассейн северных и южных морей, проходит по Белорусско-Смоленско-Московской и Валдайской возвышенностям, затем сворачивает к северу в район Белого моря и далее принимает субширотное направление, сложно изгибаясь в пределах Северных увалов.

Русская платформа имеет наибольшую плотность сельского населения, большие города и множество мелких городов и поселков городского типа. На платформе разведаны и добываются разнообразные полезные ископаемые.

**Ландшафтно-климатические условия.** В пределах Восточно-Европейской равнины перемещение воздушных масс носит преимущественно широтный характер: с запада, со стороны Атлантического океана, на восток, в глубь континента. Это имеет большое значение для климата региона, в особенности его западной части, так как обеспечивает распределение тепла, приносимого Гольфстримом, на обширную территорию. Широтная циркуляция особенно ярко выражена в зимнее время года. Теплый воздух, поступающий со стороны океана, при движении над равниной постепенно охлаждается, поэтому восточные районы страны в это время всегда холоднее западных. В летнее время обычно наблюдается обратное соотношение, поскольку морской воздух холоднее континентального. По мере ослабления влияния Атлантического океана в восточном направлении заметно возрастает и континентальность климата. В соответствии с этими общими закономерностями климат Восточно-Европейской равнины изменяется от морского в прибрежных районах Прибалтики до континентального, а местами – резко континентального в Предуралье и Прикаспии. С воздушными массами, приходящими на территорию Восточно-Европейской равнины со стороны Атлантики, а на Украину также со стороны Средиземного моря, поступают основные массы влаги, поэтому климат западных районов более влажный, чем восточных.

Меридиональная циркуляция воздушных масс имеет подчиненное значение и наблюдается главным образом в летнее время года. Средняя

годовая температура воздуха на территории Русской равнины изменяется от  $-4$  до  $+10^{\circ}$ . Зимой средние температуры падают до  $-5^{\circ}$  на юге Украины и Предкавказье и до  $-20^{\circ}$  на крайнем северо-востоке; летом они повышаются до  $10^{\circ}$  на побережье Баренцева моря и до  $24^{\circ}$  – в Прикаспии. Годовая сумма осадков на Русской равнине изменяется в очень широких пределах: от 600–800 мм в западных районах равнины до 100–200 мм на Каспийском побережье. Сравнительно небольшое количество осадков выпадает в прибрежной части Баренцева моря (300–400 мм).

Гидрографическая сеть Русской равнины относится к бассейнам Балтийского, Белого, Баренцева, Черного, Азовского и Каспийского морей. Крупнейшими реками являются Волга, Дон, Днепр, Днестр, Южный Буг, Западная и Северная Двина, Мезень и Печора. Все реки Русской равнины характеризуются восточно-европейским режимом стока с преобладанием снежного питания и весенним паводком. Средний модуль стока достигает максимальной величины у 64-й параллели – с 1 км до 10–12 л/с. К северу модуль стока снижается незначительно – до 8 л/с, к югу – очень резко – до нуля в Прикаспии. В северной части равнины, в районах с холмистым рельефом и слабо развитой эрозионной сетью, располагается большое количество озер. Особенно многочисленны озера в Карелии (озерное плато). Значительное число крупных озер расположено также на северо-западе Русской равнины. На остальной территории в изобилии встречаются только мелкие озера в речных поймах.

Процессы формирования инженерно-геологических условий протекают на Русской платформе и в настоящее время. Являясь проявлением различных форм взаимодействия литосферы с окружающей средой (солнечная радиация), атмосферой, водными объектами и органической жизнью, они подчиняются некоторым пространственным закономерностям, находящим отражение в ландшафтной (ландшафтно-климатической) зональности. Так, на территории Русской равнины при движении с северо-запада на юго-восток последовательно выделяются четыре ландшафтные зоны: тундры, лесов, степей и пустынь. Они разделены тремя подзонами: лесотундры, лесостепей и полупустынь. Каждая из выделяемых зон отличается от соседних не только по показателям водно-энергетического баланса, но и по всему комплексу природных условий: климатической обстановке, растительному и почвенному покровам, поверхностным и подземным водам, составу и свойствам современных отложений, спектру современных геологических процессов и многим другим характеристикам, имеющим большое инженерно-геологическое значение. Таким образом, ландшафтная зональность отражает смену в пространстве не только климатических и ландшафтных, но в значительной степени и инженерно-геологических условий.

**Особенности геоморфологии.** Начало формирования рельефа Русской равнины следует отнести еще ко времени ее консолидации вокруг щитов, т. е. позднему протерозою, когда начавшиеся блоковые перемещения фундамента определили основные черты ее будущего структурного плана. Оформление древнего структурного плана платформы завершилось на герцинском этапе развития.

Древний структурный план отчетливо проявляется в современной орографии региона. Крупным положительным структурам – Балтийскому щиту, Украинскому кристаллическому массиву, Воронежской антеклизе – отвечают возвышенности; крупным отрицательным формам – Московской, Печорской синеклизам, Днепровско-Донецкой и Прикаспийской впадинам – аккумулятивные равнины и низменности. С отрицательными структурами связано также развитие крупных речных систем: к Московской синеклизе приурочен бассейн Верхней Волги, к Днепровско-Донецкой впадине – бассейн Среднего Днепра, к Каспийской впадине – бассейн Нижней Волги и т. д.

Усилившаяся в мезокайнозой дифференциация тектонических движений привела к заметной перестройке структурного плана платформы только в ее южной части. Инверсионные движения обусловили создание Приволжской, Бугульминско-Белебеевской, Ставропольской и Вольно-Подольской возвышенностей. Перестройка структурного плана платформы сказалась и на характере гидрографической сети, хотя общее направление и распределение речного стока в основном сохранились. В это время завершилось разделение бассейнов Днепра, Дона и Волги, оформился северный участок главного водораздела Русской равнины, выделились бассейны Сев. Двины и Мезени, произошло соединение бассейнов Верхней и Нижней Волги и др. Большое влияние на дальнейшее развитие гидрографической сети оказало общее поднятие платформы, достигшее максимума в среднем плиоцене. Наиболее значительные движения наблюдались в Заволжье и Прикаспийской впадине, где русла рек вскрыты на глубине 300–800 м. При последующем погружении платформы, произошедшем в плиоцене, речные врезы были заполнены континентальными и морскими осадками, что привело к формированию плиоценовой поверхности выравнивания. Новое оживление эрозионных процессов и расчленение поверхности платформы произошло на границе позднего плиоцена и раннего плейстоцена. Раннеплейстоценовые долины наиболее углублены (до 100 м и более) на окраинах платформы и в Московской синеклизе. Современные реки в основном унаследовали эту древнюю эрозионную сеть, испытав лишь небольшие смещения в плане.

Большую роль в развитии рельефа Русской равнины в плейстоцене сыграли многократные оледенения, оставившие после себя мощные тол-

щи ледниковых отложений и отвечающие им аккумулятивные формы рельефа. С оледенениями связано также образование равнин флювиального происхождения, опоясывающих области оледенения, и лессовых равнин на юге платформы.

Для рельефа Русской равнины характерна зональность, возникшая в связи с развитием структурного плана, распространением ледниковых форм и современными ландшафтными условиями. С северо-запада на юго-восток выделяются: 1) зона цокольных денудационных возвышенных равнин; 2) зона пластовых равнин, соответствующих преимущественно синеклизам, с преобладанием форм ледниковой аккумуляции; 3) зона водно-ледниковых и аллювиальных равнин в прогибах между антеклизмами; 4) зона пластовых и пластово-цокольных возвышенностей, соответствующих антеклизмам, с преобладанием эрозионного расчленения; 5) зона приморских пластовых низменностей.

***История геологического развития и её влияние на инженерно-геологические условия.*** Фундамент Восточно-Европейской платформы сложен метаморфизованными архейскими и нижнепротерозойскими образованиями. Он обнажается в Балтийском щите, охватывающем территорию Карелии и Кольского полуострова, в Украинском щите от г. Житомир до г. Запорожье и на Воронежской антеклизме между городами Павловск и Богучары.

В истории геологического развития платформы и формирования осадочного чехла выделяются несколько этапов, которые характеризуются сменой структурного плана и комплексов отложений. Выделяются три таких комплекса: 1) вендско-нижнедевонский; 2) среднедевонский-верхнетриасовый; 3) нижнеюрский-кайнозойский. Время формирования этих комплексов отвечает каледонскому, герцинскому и альпийскому этапам развития.

**Вендско-нижнедевонский комплекс.** В течение венда, кембрия, ордовика, силура и раннего девона в пределах Восточно-Европейской платформы господствовали поднятия, которые, начиная с кембрия, постепенно захватывали все большую площадь. Опускание наиболее устойчиво проявилось в западной части платформы. В это время, которое отвечает каледонской эпохе развития окружающих платформу геосинклинальных областей, климат был жарким или теплым, что, наряду с крайне мелководными морскими бассейнами, способствовало развитию обильной и разнообразной фауны.

**Среднедевонский-верхнетриасовый комплекс.** Характеризует герцинский этап развития платформы, в течение которого преобладали погружения, особенно в восточной ее половине, а тектонические движения отличались значительной дифференциальностью. Начало этапа сопровожда-

лось перестройкой структурного плана, энергичными тектоническими движениями и широким проявлением вулканизма. Балтийский щит в течение этого времени продолжал испытывать восходящие движения. На юге платформы в среднем девоне образовался Днепровско-Донецкий грабенообразный прогиб, разделивший Украинский щит и Воронежскую антеклизу. Максимальные погружения испытывали Московская и Прикаспийская синеклизы, Днепровско-Донецкий, Припятский и Приднестровский прогибы. Опускалась Волго-Уральская антеклиза. Суммарная мощность осадков этого комплекса колеблется от 0,2 до 10 км и более в районе Прикаспийской синеклизы. В середине и особенно в конце этапа ориентировка прогибов была меридиональной, причем области прогибания постепенно оттеснялись на восток. Такое расположение прогибов обусловлено влиянием герцинской геосинклинали Урала. В конце этапа была сформирована Русская плита в границах, очень близких к современным. Нижние части разреза герцинского комплекса слагаются преимущественно терригенными отложениями, местами соленосными. В середине разреза преобладают карбонатные толщи, сменяющиеся вверху снова терригенными, красноцветными, реже соленосными отложениями. В течение всего этапа климат оставался жарким: то жарким, то более сухим.

Нижнеюрско-кайнозойский комплекс. В среднем и позднем триасе на Восточно-Европейской платформе преобладали поднятия. Эта же тенденция сохранилась и в ранней юре, когда осадконакопление происходило лишь в Прикаспийской и Украинской впадине. В средней юре происходит перестройка структурного плана – погружения охватили большие площади Русской плиты. Трансгрессия достигла максимума в середине поздней юры, когда образовался широкий меридиональный прогиб, соединивший Арктическое и Южное моря. Отложения меловой системы широко развиты на платформе и сложены, в основном, морскими отложениями. В начале альпийского этапа развития возникли новые области прогибаний: Ульяновско-Саратовская, Причерноморская и Украинская впадины. Области прогибаний отделялись друг от друга относительными поднятиями.

Кайнозойские отложения развиты в Прикаспийской, Ульяновско-Саратовской, Причерноморской и Украинской впадинах, а также в районе Украинского щита, опускавшегося в палеогеновый период.

Палеогеновые отложения представлены фациально изменчивыми песчано-глинистыми, в меньшей степени карбонатными, породами. Мощность палеогеновых отложений колеблется в среднем от десятков до первых сотен метров, увеличиваясь до 1,3 км в Прикаспийской синеклизе.

Отложения неогеновой системы распространены в самых южных районах платформы: в Прикарпатье, Причерноморской и Прикаспийской впадинах, в Среднем Поволжье и в долинах р. Дона и Оки.

Четвертичная система представлена ледниковыми, аллювиальными, морскими отложениями.

В раннем плейстоцене ледник так называемого окского оледенения достиг районов Белоруссии, г. Москвы, Калуги, Перми. В среднем плейстоцене максимальное днепровское оледенение распространилось еще южнее, в долинах Дона и Днепра, огибая Среднерусскую и Приволжскую возвышенности. В позднем плейстоцене валдайское оледенение достигло широты г. Твери. Каждое оледенение состояло из нескольких фаз наступления и отступления ледников, отмечаемых горизонтами межледниковых отложений. Центры оледенений располагались в Скандинавии и на Новой Земле. По периферии ледников на юге платформы происходило накопление массовых суглинков мощностью первые десятки метров.

Морские четвертичные отложения слагают целый ряд террас на побережьях южных и северных морей. Они представлены песчано-глинистыми породами и галечниками. Трансгрессии Каспийского моря проникали по долине р. Волги на север в раннем и позднем плейстоцене вплоть до г. Сызрани.

В течение голоцена продолжалось накопление многих других генетических типов отложений, характерных для условий умеренно холодного или умеренно теплого гумидного климата: озерных, болотных, аллювиальных, элювиальных, делювиальных и др.

В настоящее время на платформе выделяются следующие структурные элементы: щиты – Балтийский, Украинский. авлакогены – Пачелмский, Казанско-Кажимский, Абдуллинский и др.; антеклизы – Белорусская, Воронежская, Волго-Уральская; синеклизы – Московская, Прикаспийская, Причерноморская, Львовская, Балтийская.

*Структурная инженерно-геологическая характеристика слагающих регион формаций и геологических комплексов горных пород.* Кристаллические щиты: Балтийский (Кольский мегаблок с Мурманским блоком, Беломорский, Карельский и Свекофенский мегаблоки) – AR; Украинский (5 блоков, разделенных нижнепротерозойскими грабен-синклинориями типа Криворожско-Кременчугского) – AR.

Русская плита (осадочный чехол: V – D; D<sub>2</sub> – T; J, – Q<sub>4</sub>).

Краевые прогибы: связанные с альпийским тектогенезом Средиземноморского складчатого пояса: Предкарпатский – KZ; Преддобрудженский – KZ; связанный с герцинским тектогенезом Уральской складчатой области: Предуральский – С<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>.

Антеклизы: Воронежская – D<sub>3</sub> (Доно-Медведицкий вал – С<sub>3</sub>); Белорусская – PR-D<sub>2</sub>; Волго-Камская включает в себя следующие структуры: своды: Токмовский – С<sub>3</sub>-P<sub>1</sub> с Окско-Цнинским валом – С<sub>3</sub>; Татарский – P<sub>2</sub>kz с Туймазинским валом – P<sub>2</sub>kz (г. Бугульма) и Мелекесской впадиной



– N<sub>2</sub>; Жигулевско-Пугачевский – С-Р<sub>2</sub> с Жигулевским валом – С; Пермско-Башкирский – Р<sub>1</sub>-Р<sub>2u</sub>-kz с Уфимским валом – Р<sub>1a</sub>-ar; Коми-Пермяцкий погребенный – С-Р с валами: а) Колвинским (р. Колва), б) Камско-Вишерским (междуречье Камы и Вишеры). Валы: Вятский – Р<sub>2kz</sub> (Чебоксары – Киров); Оренбургский – С-Р (г. Оренбург). Впадина: Верхне-Камская – Р<sub>2</sub>; Прогибы: Ульянов-Саратовский – Р<sub>2</sub>; Большекинельская система – D<sub>3</sub>.

Синеклизы: Московская – V-С<sub>2</sub>-Т-К<sub>1</sub> с впадинами: Мезенская – PZb, Среднерусская – Т-К; Балтийская – D<sub>3fm</sub>-P<sub>2</sub>; Прикаспийская – PZ-MZ-KZ имеет большое количество соляных куполов и сводов типа Астраханского, связанных с солями Р<sub>1kg</sub>; Украинская – MZ-KZ (над Днепрово-Донецким и Припятским прогибами).

Авлакогены и прогибы: Пачелмский – PR-PZ; Припятский – PR-PZ; Днепрово-Донецкий – PR-PZ.

Впадины: Причерноморская – N<sub>1</sub>; Львовская – PZ<sub>1</sub>. Седловина: Латвийская – D<sub>3fr</sub>.

Большая часть рассматриваемой территории представлена формациями четвертичного возраста:

1) материкового оледенения: глины, суглинки, супеси, галька, гравий, щебень, глыбы, валуны;

2) речных долин: пески, суглинки, глины, супеси;

3) внеледниковые: пески, глины, суглинки, лессы, лессовидные суглинки и супеси;

4) пустынь и полупустынь: пески, лессы, лессовидные супеси и суглинки;

5) позднеледниковые: пески;

Также встречаются формации дочетвертичного возраста: терригенно-карбонатные: алевролиты, аргиллиты, глины, конгломераты, песчаники, известняки-ракушечники, мел, мергели; терригенные: опоки, трепел, диатомиты, глаукониты, алевролиты, аргиллиты.

**Гидрогеологические условия.** Восточно-Европейский регион – территория практически повсеместного развития подземных вод, которые включают в себя верховодку, грунтовые и напорные воды. Их пространственная изменчивость определяется как региональными, так и зональными факторами: структурными, литологическими, геоморфологическими, климатическими, а также современным состоянием пород. Последнее позволяет выделить в пределах региона две зоны: 1) многолетнемерзлых; 2) талых и немерзлых пород.

Специфика первой зоны обусловлена криогенными условиями и объединяет надмерзлотные воды и воды таликов. Вторая зона вследствие сложности природных условий территории характеризуется разнообраз-

ными типами грунтовых вод и закономерным изменением их в широтном направлении.

На основе установленной закономерности на территории Восточно-Европейского региона было выделено семь провинций грунтовых вод. Каждая провинция охватывает территорию, характеризующуюся однотипностью геологического строения и геоморфологических условий, которые в сочетании с климатическими факторами определяют общие особенности формирования грунтовых вод. В пределах провинций выделяют гидрогеологические области, в пределах которых формируются грунтовые воды определенного типа агрессивности.

I. Провинция грунтовых вод денудационных возвышенностей и равнин Балтийского щита. Грунтовые воды в талых и немерзлых породах провинции приурочены к маломощному прерывистому покрову рыхлых четвертичных отложений преимущественно ледникового и водноледникового генезиса и трещиноватой зоне магматических и метаморфических пород. Преобладающая глубина залегания вод – 3–5 м, реже до 10 м на равнинах и 20–35 м на глыбово-блоковых поднятиях. Для провинции характерны ультрапресные, в меньшей мере пресные ( $0,1–0,3 \text{ г/дм}^3$ ) воды с высоким содержанием кремнезема, гидрокарбонатного кальциевого, магниевое и натриевого состава. Обладают углекислотной, выщелачивающей и общекислотной агрессивностью по отношению к бетону.

II. Провинция грунтовых вод аккумулятивных, ледниковых и водноледниковых равнин областей валдайского, подпорожского и московского оледенений включает обширную северную часть Восточно-Европейской платформы, целиком расположенную в климатической зоне избыточного увлажнения. Наиболее широко распространены грунтовые воды в моренных отложениях. Химический состав вод гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-хлоридный и реже гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый и кальциево-натриевый. Затрудненный водообмен определяет несколько повышенную (от  $0,5$  до  $1 \text{ г/дм}^3$ ) минерализацию вод. Воды преимущественно неагрессивные, но проявляют углекислотную, выщелачивающую и общекислотную агрессивность по отношению к бетону в южных (локально) и северных (более широко) областях провинции. Широкое развитие имеют грунтовые воды водноледниковых (флювиогляциальных и озерноледниковых) отложений.

III. Провинция грунтовых вод аллювиально-зандровых низменных равнин включает Припятское, Мещерское и Горьковско-Марийское Полесья. В Полесьях весьма широко распространены воды болотных отложений. Преобладают воды гидрокарбонатного кальциевого и смешанного анионно-катионного состава с минерализацией  $0,1–0,2 \text{ г/дм}^3$ . Болотные

воды обладают ярко выраженной углекислотой, выщелачивающей и общекислотной агрессивностью по отношению к бетону.

IV. Провинция грунтовых вод денудационных возвышенностей и равнин включает Высокое и Низкое Заволжье, Уфимское и Предуральское плато, Общий Сырт и Приволжскую возвышенность. В зонах избыточного и неустойчивого увлажнения грунтовые воды обычно пресные (0,1–1 г/дм<sup>3</sup>) гидрокарбонатные кальциево-магниевые и гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриевые. Исключение составляют азональные грунтовые воды засоленных гипсоносных пермских отложений Уфимского плато. Здесь воды в основном сульфатные кальциевые с минерализацией до 3 г/дм<sup>3</sup> и выше. В зоне недостаточного увлажнения развиты воды пестрой минерализации и химического состава – от пресных гидрокарбонатных и сульфатно-гидрокарбонатных до сульфатных кальциевых и кальциево-натриевых с минерализацией до 5, реже до 10 г/дм<sup>3</sup>. Пресные воды проявляют углекислотную, редко выщелачивающую агрессивность по отношению к бетону, сульфатные воды повсеместно обладают сульфатной агрессивностью.

V. Провинция грунтовых вод денудационно-аккумулятивных перигляциальных возвышенностей и равнин включает обширные пространства юга Восточно-Европейского региона. Преобладающее распространение имеют грунтовые воды лёссов и покровных суглинков, покрывающих сплошным чехлом водоразделы, склоны и высокие террасы крупных рек. Вместе с тем значительное развитие получила здесь и верховодка, формирующаяся во время снеготаяния и затяжных осенних дождей на первых от поверхности горизонтах погребенных почв. Местами насчитывается до 3 водоносных слоев. Пресные воды локально проявляют углекислотную агрессивность по отношению к бетону. Соленоватые сульфатные и сульфатно-хлоридные воды обладают сульфатной агрессивностью. Соленые хлоридные воды часто обладают магниальным видом агрессивности.

VI. Провинция грунтовых вод аккумулятивных морских, эоловых и аллювиальных равнин Прикаспийской низменности и Маньчской впадины. Это территория ярко выраженного недостаточного увлажнения, характеризующаяся широким развитием минерализованных вод и ограниченным – пресных. Грунтовые воды морских отложений распространены наиболее широко. Сильная засоленность водовмещающих пород и наличие соляных куполов обуславливают формирование преимущественно высокоминерализованных (100–300 г/дм<sup>3</sup> и выше) вод хлоридного, хлоридно-сульфатного натриевого и натриево-кальциевого состава. Меньшее развитие имеют пресные и слабоминерализованные (до 3 г/дм<sup>3</sup>) воды. Грунтовые воды эоловых отложений широко развиты на Волго-Уральском междуречье. Пресные воды (минерализация до 1 г/дм<sup>3</sup>, чаще до 0,5 г/дм<sup>3</sup>,

гидрокарбонатного кальциевого и гидрокарбонатно-сульфатного кальциево-натриевого состава) развиты в северной половине эолового массива. Формирование их происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и конденсации водяных паров воздуха. На остальной территории преобладают воды с минерализацией 2–10 г/дм<sup>3</sup> сульфатно-хлоридного, хлоридно-сульфатного и хлоридного натриевого состава. Наиболее минерализованные (до 50 г/дм<sup>3</sup>) хлоридные натриевые воды развиты под сорами и солончаками.

VII. Провинция грунтовых вод предгорных наклонных равнин Карпат, Крыма и Кавказа. Грунтовые воды провинции заключены в основном в песчано-гравийно-галечных флювиогляциальных и пролювиальных отложениях, слагающих террасы рек и конусы выноса. Глубина залегания грунтовых вод равнин изменяется от 1–5 м на низких террасах до 20–35 м на водораздельных участках высоких террас. Основная роль в питании грунтовых вод принадлежит атмосферным осадкам. Преобладающая минерализация пресных вод – 0,2–0,6 г/дм<sup>3</sup>, химический состав вод гидрокарбонатный кальциевый и кальциево-магниевый.

Грунтовым водам Восточно-Европейской равнины свойственны следующие виды агрессивности по отношению к бетону: углекислотная, выщелачивающая, общекислотная, сульфатная и магниевая, которые подчиняются гидрохимической зональности. В направлении с севера на юг воды теряют одни агрессивные свойства и приобретают другие. Для низкоминерализованных грунтовых вод характерно изменение их агрессивных свойств во времени.

Напорные воды на Восточно-Европейской равнине распространены практически повсеместно. На большей части платформы развиты напорные воды артезианских бассейнов, входящие в две обширные артезианские области – Восточно-Европейскую и Каспийско-Черноморскую. С щитами связаны гидрогеологические массивы, а со складчатыми зонами – Канино-Тиманская и Донецкая системы бассейнов трещинных вод.

***Главные геологические процессы и региональные закономерности их развития и распространения.*** Эрозионно-аккумулятивные процессы. На территории Русской равнины развиты все основные виды эрозии: эрозия почв, оврагообразование и процессы, связанные с деятельностью постоянных водотоков (ручьев и рек).

Эрозия почв – плоскостной или площадной смыв вызывается струйками воды, образующимися при дождях и снеготаянии. Соответственно и развитие этого процесса зависит от интенсивности дождей и снеготаяния, а также от строения рельефа, свойств почв и характера растительного покрова. Почвенная эрозия проявляется достаточно интенсивно как в северных районах Русской равнины, где накапливается значительное количество сне-

га, так и в южных, где сравнительно часто повторяются ливни. В настоящее время для борьбы с эрозией почв на территории Русской равнины применяется широкий комплекс мероприятий: организационно- хозяйственные, агро-мелиоративные, лесомелиоративные и гидротехнические.

Оврагообразование – образование линейных форм размыва различных по глубине, форме, протяженности – связано с деятельностью водных потоков, формирующихся при сильных дождях и снеготаянии. Максимальные модули паводкового ливневого стока во всех природных зонах Русской равнины выше, чем снегового, но продолжительность дождевых паводков значительно ниже. Поэтому влияние этих двух факторов на оврагообразование, по-видимому, соизмеримо.

**Русловые процессы и размыв берегов рек.** Русская равнина характеризуется одной важной особенностью строения рельефа, оказывающей существенное влияние на развитие эрозионных процессов. Главный водораздел между бассейнами рек, текущих на север (Печора, Сев. Двина), и больших рек, текущих на юг (Днепр, Волга), расположен так, что верховья тех и других находятся в лесной зоне, где количество осадков и слой стока максимальные. Таким образом, сток из лесной зоны отправляется транзитом в южном направлении через степи и полупустыни, а в северном -через лесотундру. По-видимому, с этим связано, что густота сети больших рек практически одинакова во всех природных зонах, а малых рек существенно различна. Наиболее интенсивное развитие процессов речной эрозии приходится на Русской равнине на период весеннего половодья.

Геолого-геоморфологические факторы оказывают настолько существенное влияние на развитие русловых деформаций, что на территории Русской равнины довольно отчетливо выделяются две группы районов: районы с ограниченным развитием русловых деформаций в речных долинах и районы со свободным развитием русловых деформаций. Весьма низкая интенсивность развития деформаций речного русла, эффект которых сказывается лишь в геологическом масштабе времени, характерна для областей распространения прочных, хорошо противостоящих размыву горных пород. К таким районам относятся выступы допалеозойского фундамента – Балтийский щит, Украинский кристаллический массив и другие крупные положительные геологические структуры, где в бортах долин обнажаются прочные, скальные и полускальные породы. Характерным примером могут служить реки Кольского полуострова и Карелии, протекающие в районах развития кристаллических пород, весьма устойчивых к размыву. Типичные аккумулятивные формы руслового рельефа здесь отсутствуют, уступая место скульптурным формам – скальным грядам, водопадам, порогами. К районам со свободным развитием русловых деформаций относится вся остальная, значительно большая по площади часть

Русской равнины. Обычная форма их проявления – образование извилин динамической оси потока в неразветвленном относительно прямолинейном русле.

Оползни Русской платформы весьма разнообразны – здесь встречаются почти все известные их типы. Однако относительная распространенность оползней разных типов и их масштабы весьма различны и определяются геологическими, геоморфологическими, а отчасти и климатическими условиями.

На территории Русской платформы широко распространен как древний, так и современный карст. Древние формы карста встречаются в породах почти всех основных стратиграфических подразделений, начиная с раннего палеозоя, и связаны в своем образовании с континентальной (субаэральной) обстановкой, неоднократно устанавливающейся на Русской платформе в течение длительной истории ее геологического развития. Современные карстовые формы связаны с карстовыми процессами, развивающимися в настоящее время в толщах карбонатных, сульфатных и галогенных пород разного возраста, залегающих на небольшой глубине от поверхности. На Русской платформе развиты все основные типы карста.

***Многолетнее промерзание толщ горных пород и сопутствующие геологические процессы.*** Формирование толщ многолетнемерзлых пород на Русской равнине имеет длительную историю, охватывающую не только весь четвертичный период, но, возможно, и более древние эпохи. Глубокие изменения климатической обстановки, происходившие на этой территории, по-видимому, сопровождались неоднократным промерзанием, а затем полным или частичным оттаиванием мерзлых пород. Подземное оледенение оставило после себя многочисленные следы своего существования: земляные жилы, остаточного-полигональный рельеф и др. Наиболее значительная деградация мерзлых толщ произошла в период голоценового климатического максимума. Граница полного оттаивания мерзлых толщ, по-видимому, достигла в это время  $67^{\circ}30'$  с. ш., севернее которой в настоящее время наблюдается резкое увеличение мощности многолетнемерзлых толщ. Исчезновение мерзлых толщ приостановилось в связи с похолоданием, произошедшим в позднем голоцене и вызвавшим новое продвижение мерзлых толщ на юг, примерно до  $63^{\circ}$  с. ш. Здесь образовались молодые мерзлые толщи, мощность которых на водораздельных пространствах в районе г. Воркуты достигает 80–120 м. Севернее  $67^{\circ}30'$  с. ш., где сохранились древние мерзлые породы, произошло смыкание мерзлых толщ разного возраста. В фазу некоторого потепления климата с максимумом в конце первого тысячелетия активное промерзание верхних слоев горных пород замедлилось, а ближе к южной границе криолитозоны приостановилось. На участках развития льдистых

озерных, озерно-болотных осадков началось формирование термокарстовых котловин. Жильные льды частично, а южнее  $67^{\circ}$  с. ш. полностью вытаяли. Южная граница мерзлых пород снова несколько сместилась в северном направлении.

*Опыт строительства и изменение инженерно-геологических условий в связи с различными видами строительства.* Развитие экономики европейской части РФ связано с постоянным наращиванием энергопотребления всеми отраслями народного хозяйства. Получение энергии обеспечивалось в основном за счет наиболее традиционного вида энергоустановок, работающих на угле, нефти и природном газе. В период послевоенного восстановления народного хозяйства большую роль сыграло строительство каскада гидроэлектростанций на Волге, Каме и других крупных реках.

Осуществление проекта «Большой Волги», включая строительство Беломорско-Балтийского и Волго-Донского каналов, позволило связать между собой пять морей, омывающих территорию европейской части бывшего СССР: Белое, Балтийское, Каспийское, Азовское и Черное. Было осуществлено орошение засушливых степей Заволжья, существенно улучшено водоснабжение Москвы и других городов, расположенных на берегах этих рек, обеспечено необходимой электроэнергией развитие народного хозяйства в Горьковском, Куйбышевском, Саратовском, Центральном, Волгоградском и других промышленных районах. Создание обширных водохранилищ и нарушение нормального гидрологического режима р. Волги привело к ряду негативных явлений: затоплению обширных участков плодородных земель на поймах и низких террасах Волги, подтоплению территорий, переработке берегов водохранилищ, на которых располагаются плодородные земли, населенные пункты, промышленные предприятия, дороги. Резко снизилось плодородие Волго-Ахтубинской поймы, которая ранее затапливалась паводковыми водами, несущими плодородный ил. Одно время серьезной проблемой стало снижение уровня Каспия, которое с 1930 г. составило 2,5 м. В связи с этим была начата разработка проекта переброски в бассейн Волги части стока северных рек (Печоры, Мезени и др.), что должно было стабилизировать уровень моря. Однако проработка проблемы была выполнена на недостаточно высоком научном уровне. Кроме того, за последние годы заметно поднялся и уровень Каспия, что снизило остроту проблемы. Более того, в настоящее время подъем уровня Каспийского моря вызвал затопление прибрежных территорий и резкую активизацию абразионных процессов по его берегам, что создало трудности для нормальной эксплуатации причальных и других сооружений.

Гидроэлектростанция состоит из напорных сооружений (бетонные и земляные плотины) и здания ГЭС, которое нередко совмещается с бетон-

ной водосливной плотиной. В комплекс напорных сооружений входит также шлюз для пропуска судов. Поскольку глубина вреза речных долин на Восточно-Европейской платформе невелика, небольшую высоту имеют и плотины. Создаваемые ими напоры изменяются от 11 м (Киевская, Иваньковская, Угличская ГЭС) до 35,4 м (Днепропетровская ГЭС). В результате подпора на реках созданы крупные водохранилища.

Выбор местоположения гидроузлов диктовался в основном экономическими соображениями, но в ряде случаев определяющую роль сыграли инженерно-геологические условия.

В качестве оснований тяжелых бетонных сооружений использовались разные породы: от прочных скальных разного генезиса (изверженные, метаморфические, осадочные) и состава (граниты, кристаллические сланцы, известняки, песчаники и др.) до дисперсных четвертичных. При оценке условий строительства ГЭС основное внимание уделялось степени неравномерности деформаций естественных оснований сооружений, возможному нарушению их устойчивости, потерям воды на фильтрацию, нарушению устойчивости примыканий.

Характер проблем и трудностей, которые возникают при возведении плотин, наземных или подземных ГЭС и других сооружений, входящих в состав гидроузлов, зависит в большей степени от состава и строения комплексов пород, с которыми они взаимодействуют.

В пределах Балтийского щита возведено большое число небольших гидроузлов (Верхне-Тулумский, Нижне-Тулумский, Имандровский, Кумский, Иовский, Сегозерский, Выгозерский и др.). Инженерно-геологические условия всех этих гидроузлов во многом сходны. Долины рек, на которых построены плотины, в большинстве случаев прорезают рыхлые четвертичные отложения небольшой мощности и врезаются в скальные породы, представленные в основном гранитами и гранитогнейсами. Модуль деформации наиболее прочных слаботрещиноватых разностей составляет 1200–1800 МПа, среднетрещиноватых – 800–1000 МПа, и лишь наиболее слабые и сильнотрещиноватые разности имеют модуль деформации 350–450 МПа. Во всех случаях такие породы могут служить вполне надежным основанием бетонных плотин небольшой высоты. Коры выветривания отсутствуют полностью или имеют небольшую мощность (5–6 м). Известные трудности вызывало наличие трещин и зон тектонических нарушений, нередко значительной мощности. Так, на участке Иовской ГЭС, находящейся в зоне крупного регионального надвига, были выявлены три зоны дробления, по одной из которых в кровле коренных пород была выработана глубокая (до 43 м) ложбина. В пределах зон дробления кристаллические породы оказались разрушены до состояния тектонической брекчии или милонита. Зона дробления мощностью до 6 м была



вскрыта на участке Ондского гидроузла, мощностью 5 м – на участке Путинской ГЭС, мощностью 1–2 м – на участке подземного машинного зала Верхне-Туломской ГЭС и т. д. Трещиноватость пород в зонах нарушений создавала опасность больших фильтрационных потерь, для борьбы с которыми использовались неглубокие цементационные завесы, дополняемые бетонными пробками для заделки нарушений.

## 2.2. Сибирская платформа

**Границы региона.** Восточная Сибирь – огромный регион, простирающийся от Енисея на западе до водораздельных хребтов, идущих вдоль Тихого океана на востоке, и от берегов северных морей (Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского) до южной государственной границы бывшего СССР. Площадь его превышает 7 млн км<sup>2</sup>. Большую часть территории занимает Лено-Енисейское плато. С северо-востока платформу обрамляет Верхне-Колымская мезозойская складчатая область, на юго-востоке в районе хр. Джугджур и юго-западном побережье Охотского моря она граничит с Тихоокеанским поясом. От района дельты р. Лены граница следует в южном направлении, а затем резко поворачивает на восток вдоль долины р. Лены и Алдана. Платформа отделяется Предверхоянским краевым прогибом от Верхоянского мегантиклинория. Около 136° в. д. он приобретает долготное простирание, а Предверхоянский прогиб замыкается. Далее граница платформы следует к северо-востоку и северу и, почти достигнув р. Лены, огибает эту область с севера и северо-запада, параллельно западному берегу оз. Байкала до истока Ангары и далее к юго-западному концу оз. Байкал. В районе нижнего течения р. Ангары граница платформы плавно отклоняется к востоку, а затем резко поворачивает к северо-западу, огибая Енисейский кряж. От устья Подкаменной Тунгуски до Енисейской губы граница следует в долготном направлении вдоль долины Енисея. На юго-востоке к платформе примыкает Монголо-Охотская складчатая система. С юго-востока, юго-запада и запада платформу дугообразно огибает Урало-Монгольский подвижный пояс. Западная граница платформы проводится вдоль долины р. Енисея и западного края Туруханно-Норильской зоны. Северная граница проводится по северной границе Усть-Енисейско-Хатангского прогиба и далее к востоку до дельты р. Лены по Лено-Анабарскому прогибу.

**Климатические условия.** Климат территории резко континентальный. Континентальность климата определяется географическим положением и рельефом. Территория расположена в центре северной части Азии, приподнята, удалена от теплых морей, отгорожена от них горными барьерами. На большей части территории, кроме южной, радиационный баланс

имеет отрицательное значение с октября по март. На формирование климата оказывают существенное влияние орографические условия. Крупные горные массивы и глубоко врезанные речные долины определяют местные климатические различия, неравномерное распределение осадков в зимние температурные инверсии. По сравнению с климатом других территорий, находящихся на таких же широтах, континентальность климата выражается в наиболее холодной зиме, наиболее теплом лете и наименьшем годовом количестве осадков. Поэтому для климата характерны большая амплитуда температуры и отрицательная годовая температура воздуха (Братск  $-2,6^{\circ}\text{C}$ ).

Осадки выпадают преимущественно летом, в 4–5 раз больше, чем зимой, которая в два раза продолжительнее лета. На Среднесибирском плато годовое количество осадков составляет 300–400 мм. Континентальность климата возрастает по направлению к востоку, что выражено в уменьшении количества осадков, а в горах количество осадков увеличивается.

Зимой вся территория сильно охлаждена, что способствует развитию с октября по март устойчивого мощного антициклона. Господствуют холодные континентальные арктические и умеренные воздушные массы. Самые низкие температуры января характерны для северо-восточной части Среднесибирского плоскогорья ( $-42...-43^{\circ}\text{C}$ ). Осадков зимой выпадает мало, около 20–25% годовой суммы. Лето сравнительно теплое. Средняя температура июля составляет  $14-16^{\circ}\text{C}$  и лишь у южных окраин достигает  $18-19^{\circ}\text{C}$  (Иркутск  $17,6^{\circ}\text{C}$ ). С увеличением высоты местности летние температуры понижаются, т. е. на территории плоскогорья прослеживается вертикальная дифференциация температурных условий, особенно отчетливо выраженная на плато Путорана. Континентальность климата закономерно возрастает в восточном направлении, причем особенно в северной части. За долгий почти полугодовой холодный период выпадает всего около 15 % годового количества осадков. Снег держится с октября по май (от 250 дней на северо-западе до 230 дней на северо-востоке и 185 на юге). Климат Сибирской платформы формируется под влиянием солнечной радиации, поступающей на земную поверхность, циркуляции воздушных масс и влагооборота, а также подстилающей поверхности. Тесное взаимодействие данных факторов определило формирование резко континентального климата с холодной продолжительной зимой, малым количеством осадков, относительно жарким и влажным летом, короткими переходными периодами от зимы к лету.

**Особенности геоморфологии.** В геоморфологическом отношении на данном участке можно выделить три основных типа структур. Первый тип – плато, занимает основную часть территории (включая и Анабарский массив и Тунгусскую синеклизу). Второй тип выделяется на востоке в

пределах бассейна р. Лены и представлен озерно-аллювиальной равниной. В области Алданского щита и Станового нагорья выделяется третий тип структур – нагорье.

На юге региона, приуроченного к Иркутской впадине, можно выделить низменность, еще одну структуру, с отложениями аллювиального характера.

Для предгорных прогибов характерны каолиновые глины, кварц-полевошпатовые каолинизированные пески и конгломераты с горизонтами лигнитов мощностью от 10 до 150 м (муромцевская и харанурская свиты Предбайкальского и Предсаянского прогибов).

Большую роль в рельефообразовании играет эрозионная сеть Сибирской платформы. Это все крупные долины: Енисей, Лена, Ангара, Вилюй, Алдан, Нижняя и Подкаменная Тунгуска. Оформлению гидросети предшествовали перестройки и отмирание многих долин, возникших в неогене. Многостороннее инженерно-геологическое значение имело образование глубоковрезанной системы долин. Расчленение привело к образованию современных уклонов местности. Врезы явились основным фактором денудации междуречий и выхода на поверхность коренных пород.

Преобладающими формами поперечных профилей в долинах Сибирской платформы на участках поднятий являются V-образные, трапециевидные или ящикообразные, а в депрессиях – сложнотеррасированные. У тех и других профилей двухъярусное строение. Верхние ярусы долин на уровне высоких террас (50–80 м и выше) обычно имеют значительную ширину (25–30 км) и даже достигают 100 км. Нижние ярусы между тыловыми швами низких и средних террас в несколько раз уже. Поперечные профили часто асимметричны, что определяется литологией, тектоникой и характером мерзлоты в бассейне. Субширотные долины, расположенные в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород (севернее долин Нижней Тунгуски и Вилюя), имеют более пологие склоны южной экспозиции, так как глубина протаивания здесь больше, активнее процессы смещения грунтов и выколаживания. В более южных районах асимметрия долин обратная – выколаживанию в большей мере подвергаются склоны северной экспозиции, имеющие острова мерзлоты. Современная кора выветривания под руслами рек имеет сложную картину распространения. Мощности ее весьма невыдержанные: на фоне преобладающего развития небольших мощностей (3–5 м) встречаются резкие аномалии, где глубины выветривания достигают нескольких десятков метров. Глубинная эрозия в подобной обстановке приводит к формированию сложного рельефа русел, изобилующего резкими выступами, останцами и ложбинами.

**История геологического развития.** В геологической истории Сибирской платформы выделяют два периода. Первый из них включает архейское и ранне-среднепротерозойское время. Второй период начинается с позднепротерозойско-рифейского времени.

В первый период сформировались складчатые сооружения фундамента платформы, обнажающиеся в Алданском щите, Анабарском массиве и в Ангаро-Канской части Енисейского поднятия. В достоверных архейских образованиях широко распространены глубокометаморфизованные породы, представленные различными гнейсами, кристаллическими сланцами, кварцитами и мраморами. Магматические явления в архее характеризуются широким проявлением гранитизации и палингенеза, которые приводили к возникновению гранитогнейсов и мигматитов. Помимо гранитоидной характерны гипербазитовая и габбровая формации. Для тектонических структур архея свойственна большая выдержанность направления крупных складчатых поясов. Архейские складки Алданского щита и Анабарского массива имеют северо-западное простирание. Нижнепротерозойский этап развития на рассматриваемой территории ознаменовался раздроблением архейских складчатых сооружений, которые предварительно подверглись интенсивной денудации.

В протерозойских геосинклинальных системах (байкалидах) выделяются два крупных структурно-фациальных комплекса, что видно на примере Енисейского поднятия. Для внешнего пояса, ближайшего к древней платформе, характерно накопление терригенных и карбонатных отложений, в центральных частях геосинклиналей откладывались мощные вулканогенные толщи зеленокаменной формации. В Алданском и Анабарском регионах в протерозое отлагались терригенные, терригенно-карбонатные и карбонатные формации ныне слабометаморфизованных пород. В конце среднего протерозоя в Енисейской геосинклинали отмечается складчатость и возникновение крупных поднятий. В дальнейшем поднятия сглаживаются денудацией, происходит накопление терригенных, терригенно-карбонатных и карбонатных формаций рифея. В результате крупных тектонических движений на границе протерозоя и кембрия был завершен геосинклинальный этап развития Енисейской зоны, которая вошла в состав нижнепалеозойской Сибирской платформы.

В послепротерозойской истории развития Сибирской платформы выделены несколько этапов: 1) рифей – первая половина среднего кембрия; 2) вторая половина среднего кембрия – первая половина среднего девона; 3) вторая половина среднего девона – нижний карбон; 4) средний карбон – нижний триас; 5) юра – верхний мел; 6) кайнозой. Наиболее четко выражены первый, четвертый и пятый этапы. С этими этапами по времени совпадает завершение геосинклинальных процессов в окружающих плат-

форму складчатых областях. В каждый из них происходила перестройка общего тектонического плана платформы, обусловленная возникновением главных тектонических структур. Во второй и третий этапы крупные тектонические формы не возникали, поэтому их можно объединить с первым этапом. Это был период сравнительно спокойного развития платформы.

С учетом сказанного выше в истории докайнозойского периода развития платформы можно выделить три структурных этажа:

1) рифейский-нижнекаменноугольный; 2) среднекаменноугольный-триасовый и 3) юрский-меловой. В первый этап развития возникли Катангское поднятие, Прибайкало-Саянский и Приенисейский краевые прогибы и заложилась впадины на месте Тунгусской синеклизы. Во второй этап оформилась в современных очертаниях Тунгусская синеклиза и Тасевский унаследованный прогиб. В третьем этапе образовались Приверхо-янский краевой прогиб, Вилюйская синеклиза, Иркутская, Каннская и Рыбинская впадины, Ангаро-Вилюйский внутриплатформенный прогиб. Отложения нижнего структурного этажа чехла Сибирской платформы наиболее широко распространены на погруженных склонах Анабарского, Алданского и Енисейского поднятий, в зоне Норильско-Туруханских складок, а также на юге региона. Они представлены всеми отложениями, от рифея до нижнего карбона включительно.

***История геологического развития платформы в кайнозойское время и ее влияние на современные инженерно-геологические условия.*** Кайнозойское время характеризуется общим поднятием платформы и ее развитием в континентальных условиях, оформлением морфологическо-структурного плана и современного рельефа, формированием комплекса рыхлых отложений и криолитозоны. Кайнозойское развитие платформы сыграло огромную роль в создании современных инженерно-геологических условий любого региона платформы.

Сложное развитие платформы в кайнозойе зависело главным образом от тектонических движений и изменений климата, что повлияло на неравномерное формирование платформы на отдельных этапах. Среди них наиболее четко выделяются: поздний мел-эоцен, олигоцен-миоцен, плиоцен-ранний плейстоцен (доледниковый), средний-поздний плейстоцен (ледниковый) и голоцену.

***Поздний мел-эоцен.*** На территории Сибирской платформы рубеж мезозоя и кайнозоя не характеризовался какими-либо заметными изменениями процессов тектогенеза, рельефообразования и осадконакопления. Поэтому наиболее ранний этап кайнозойской истории следует рассматривать вместе с позднемеловым, который ознаменовался активизацией тектонических движений. В конце мезозоя поднятия способствовали омоложению рельефа и заложению системы древних долин, фрагменты которых встре-

чаются в различных областях платформы и во многих местах наследуются современной эрозионной сетью.

Слабые движения палеогена способствовали пенепленизации и образованию к концу эоцена региональной, преимущественно денудационной, поверхности выравнивания, которая и в настоящее время является широко распространенной формой рельефа Сибирской платформы, занимая основные площади междуречий. Типичные элементы рельефа поверхности – выположенные широкие долинообразные понижения, фрагменты древних долин.

С активизацией тектонических процессов в конце мела совпали климатические изменения – смена аридного климата субтропическим. Жаркий климат позднего мела – палеогена сменился в эоцене умеренно теплым и достаточно влажным, с относительно небольшими внутригодовыми колебаниями температуры. Это способствовало интенсивному химическому выветриванию поверхностных горизонтов пород, а малые уклоны и залесенность местности – слабому перемыву продуктов выветривания. Широкое развитие получили коры выветривания каолинового, а в юго-западных частях платформы – латеритного профиля, которые сохранились главным образом на поверхности выравнивания.

Равнинный рельеф и растительный покров верхнего мела-эоцена ограничивали склоновый смыв и речную аккумуляцию. Это привело к незначительному и локальному осадкообразованию, приуроченному к предгорным прогибам и синеклизам.

В процессе активизации движений земной коры позднемелового-эоценового этапа заложились или были омоложены многие разломы, ослабленные зоны с повышенной трещиноватостью пород, во многом определяющие сейсмичность, гидрогеологические и мерзлотные особенности, строение речной сети.

**Олигоцен – ранний плиоцен.** Второй этап кайнозойской истории формирования инженерно-геологических условий Сибирской платформы начался в олигоцене активизацией тектонических движений. Одновременно усилилась дифференциация движений, что привело к новому воздыманию положительных структур и дальнейшему углублению локальных депрессий. Дифференцированные движения олигоцена и начала миоцена увеличили абсолютные высоты платформы. Ее окраины (плато Путорана, Лено-Ангарское междуречье, Алданское нагорье) превратились в плато. Значительную приподнятость и холмистость приобрела Тунгусская синеклиза. Поднятия охватили большую часть Вилюйской синеклизы и Ангаро-Вилюйского прогиба. Вместе с тем основные базисы эрозии понизились в связи с прогибанием вдоль западных и северных границ платфор-

мы. Началось омоложение и расчленение рельефа, более сильное, чем в верхнем мелу.

Олигоцен – нижнемиоценовый этап расчленения был характерен рядом существенных перестроек речной сети платформы. На плато Путорана, в среднем течении Енисея и на северо-востоке очертания долин приблизились к современным.

Миоплиоценовый этап ослабления тектонической активности и выравнивания рельефа завершился формированием нижней, придолинной поверхности выравнивания.

Смена тектонической обстановки Сибирской платформы на рубеже палеогена и неогена совпала с изменениями климата. В олигоцене климат платформы был гумидным, в южных частях – с элементами субтропического, а в миоцене он становится более континентальным, хотя остается еще достаточно влажным. В середине неогена на южной половине платформы начался процесс аридизации. Жаркий, засушливый климат миоплиоцена имел резкие колебания влажности и щелочную среду осадконакопления. Иссущение активизировало физическое выветривание, усилило неравномерность стока, понизило уровни грунтовых вод. Большое пространство получили незалесенные площади, ослабло закрепление склонов.

Осадкообразование рассматриваемого этапа явилось отражением геоморфологических и климатических условий. Каолиновые коры выветривания сменили маломощные и более локальные бейделлит-монтмориллоновые. Аридность климата способствовала накоплению карбонатных сильно ожелезненных и местами гипсоносных отложений и распространению пролювиальных фаций. В целом отложения олигоцена – нижнего плиоцена Сибирской платформы в областях сноса характеризовались преобладанием песчано-глинистых элювиально-дефлюкционных и озерно-болотных фаций с включением щебня и дресвы, а в областях аккумуляции – господством песчаных озерно-аллювиальных образований, достигающих значительных мощностей в предгорных прогибах.

Поздний плиоцен – ранний плейстоцен (доледниковый). Во второй половине плиоцена относительный тектонический покой Сибирской платформы сменился резкой активизацией движений. В поднятие были вовлечены все основные морфоструктуры, в том числе и прогибавшиеся. Начался основной этап неотектонического развития, результатом которого явилось оформление границ, морфоструктурного плана, а также эрозионной сети платформы. Амплитуды поднятия за поздний плиоцен – ранний плейстоцен не меньше, чем для предыдущего отрезка геологической истории, а местами превышают их. Вместе с тем скорости поднятия были значительно выше при продолжительности этапа, меньшей примерно в 5 раз.

На рубеже плиоцена и плейстоцена оформились границы Сибирской платформы. Это было связано со значительными движениями по обрамляющим региональным разломам. На севере и западе воздымание платформы контрастировало с прогибанием Западно-Сибирской плиты и Лено-Енисейского прогиба. На юге и востоке движения по разломам были следствием отставания поднятий Присаянского, Прибайкальского и Приверхоянского прогибов от роста морфоструктур горного обрамления. Отделяясь от прогибов разломами, Восточно-Саянский, Байкальский и Верхоянский хребты вместе с тем влияли на развитие прилежащих областей платформы, втягивая их в поднятие, и обуславливали формирование линейных складок, вытянутых согласно с простираем хребтов (Ангаро-Ленское моноклиналиное плато).

Важнейшим итогом рельефообразования является эрозионная сеть Сибирской платформы. В этот период все крупные долины (р. Енисей, Лена, Ангара, Вилюй, Алдан, Нижняя и Подкаменная Тунгуска) приобрели современные направления и углубились на большую часть врезов.

Климат Сибирской платформы от позднего плиоцена до начала среднего плейстоцена изменялся в сторону похолодания, нарастания увлажнения, а позже – усиления континентальности. Низкие температуры и зимний минимум осадков обусловили появление мерзлоты. Влияние рельефа, климата и литологии определило специфику осадкообразования: замещение красноцветных комплексов сероцветными, увеличение роли грубообломочных фаций, нарастание фациальной неоднородности комплексов, смену более выветрелых пород менее выветрелыми.

Влияние позднеплиоценового – раннеплейстоценового этапа геологической истории Сибирской платформы на ее современные инженерно-геологические условия очень велико. С тектонической активизацией связано омоложение или образование многих разломов и ослабленных зон. Их состояние (степень дробления пород, обводненность, выраженность в рельефе) стало близким к современному. Поднятие и денудация увеличили площади выхода на поверхность коренных пород и распространения устойчивых скальных или полускальных грунтов. Возросла щебнистость, глыбовость грунтов, их мощности стали более дифференцированными.

Многостороннее инженерно-геологическое значение имело образование глубоковрезанной системы долин. Расчленение привело к образованию современных уклонов местности. Врезы явились основным фактором денудации междуречий и выхода на поверхность коренных пород. В придолинных зонах изменилась гидрогеологическая обстановка: положение и число водоносных горизонтов, их водообильность, поверхностное обводнение. Активизировались карстовые процессы.



Средний – поздний плейстоцен (ледниковый период) характерен климатическими изменениями – сменой эпох похолодания и потепления, что обусловило своеобразие выветривания, рельефообразования и осадконакопления. В эпохи похолодания среднегодовая температура достигала минус 10–15°C. Климат был в начале каждой эпохи относительно влажным, в конце резко континентальным; в соответствии с этим последовательно уменьшалось количество осадков с 0,4–0,6 до 0,1–0,2 м в год, зимы становились малоснежными, сток сокращался, и его зарегулированность снижалась. Похолодание и увлажнение обуславливали развитие оледенения на севере и северо-западе платформы. Выделяются четыре эпохи наступления ледников: две в среднем плейстоцене (максимальное самаровское оледенение и тазовское) и две в позднем (зырянское оледенение и менее крупное сарганское). Климат эпох потепления (мессовско-ширтинское и казанцевское межледниковья среднего плейстоцена и каргинское позднего плейстоцена) имел относительно высокие среднегодовые температуры (минус 1–5°C) и был менее континентальным. Ледниковые покровы на территории платформы исчезали.

Сухость и безлесность в конце ледниковых эпох создавали условия для перевевания песчаного материала аллювиальных равнин и образования бугристого эолового рельефа (тукуланы Вилнойской низменности, пески на террасах нижней и средней Лены, Енисея и Ангары). Мерзлота подавляла развитие карста, хотя обнаженность пород и расчленение рельефа благоприятствовали закарстовыванию.

Эпохи потепления, деградации мерзлоты и распространения лесных ландшафтов отличались малым изменением междуречий. Рельефообразование сводилось здесь к нивелировке ледникового рельефа. В долинах формировался относительно маломощный аллювий с преобладанием в разрезах русловых песчано-галечных фаций. Смена во времени и пространстве условий осадкообразования предопределила разнообразие и сложные взаимоотношения геолого-генетических комплексов среднего – верхнего плейстоцена. Ледниковый комплекс представлен, в первую очередь, разновозрастными моренами. Наилучшая сохранность морен – в долинах и депрессиях, где их мощности достигают десятков метров. Моренные равнины занимают большие площади в Приенисейской, Норильской, Муруктинской и Аганыйской депрессиях, а также в цоколях террас или перекрывают их (долины р. Енисея, Ниж. Тунгуски, Лены и др.). Материал морен несортированный, супесчано-суглинистый, с линзами глин, песка или гальки и со значительным содержанием местного обломочного материала. Морены фациально замещаются водно-ледниковыми или озерно-ледниковыми осадками.

На территориях, удаленных от оледенений, формировались перигляциальные геолого-генетические комплексы. Суровые климатические условия в сочетании с накоплением мелкозернистых аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений способствовали сингенетическому росту повторно-жильных льдов.

Влияние средне-позднеплейстоценового этапа развития Сибирской платформы на современные инженерно-геологические условия во многих отношениях является определяющим. В процессе поднятия и расчленения рельеф приобрел современный облик. На площадях покровного оледенения образовался каровый рельеф водоразделов, холмисто-западинные ледниковые и наклонные зандровые равнины. На аллювиальных равнинах возник термокарстовый рельеф западин-аласов и эоловый рельеф бугров-тукуланов. Во время рассматриваемого этапа образовалась толща многолетнемерзлых пород Восточной Сибири – важнейший компонент ее инженерно-геологических условий. Мерзлота коренным образом изменила гидрогеологические условия бассейнов и режим стока, а также свойства полускальных и рыхлых грунтов. Динамика мерзлоты определила условия и степень развития выветривания, оползания, оплывания и солифлюкции, карста и суффозии, глубинной и боковой эрозии.

Голоцен является заключительным этапом геологической истории Сибирской платформы протяженностью около 10 тыс. лет. Характеризуется как эпоха окончательного формирования рельефа, ландшафтов и комплексов современных отложений. В этот период влияние предшествующих этапов геологического развития и современных факторов привело к такому сочетанию тектоники, литологии, геоморфологии, гидрогеологии, мерзлоты и ландшафтов, которое определяет инженерно-геологические условия в настоящее время.

Тектоническое развитие в голоцене можно считать унаследованным от предыдущего этапа. Основная роль принадлежала поднятиям, которые редко превышали 10–20 м. Опускания голоцена преимущественно относительные, тяготееют к прогибам и впадинам.

Современные движения земной коры в южных частях платформы достигают нескольких миллиметров в год. Сейсмичность оценивается в 7–9 баллов в Прибайкалье, в 5–6 баллов – в районах южной и восточной перифериях платформы и менее 5 баллов – севернее линии Братск – Якутск.

Развитие рельефа характеризуется углублением долин, расчленением и преобразованием склонов, переработкой и уничтожением древних форм и рыхлых отложений на междуречьях. Изменения климата в голоцене были не так значительны, как в среднем и верхнем плейстоцене. Однако они четко прослежены и оказали определенное влияние на экзогенные процессы и осадконакопление. В течение нижнего голоцена климат Сибирской

платформы сохранял многие черты перигляциального. Этот этап характерен активным проявлением физического выветривания и склонового смещения грунтов, облессованием покровных отложений и нарастающим врезанием рек.

Среди грунтов, многие свойства которых обусловлены процессами физического выветривания в голоцене, наибольшее значение имеют покровные суглинки. Отсутствуют они лишь на поймах и надпойменных террасах.

Аллювий голоцена имеет преимущественно нормальные или недостаточные мощности (т. е. залегает выше днища плесовых ложбин), более грубообломочный, чем средне-верхнеплейстоценовый. Его мощности в среднем равны 10–15 м, достигая в областях опускания и крупных долинах 30–40 м.

Голоцен – время деградации мерзлоты и развития термокарстовых форм.

Изучение истории развития в голоцене важно, как время формирования современных инженерно-геологических условий Сибирской платформы. Важнейшие свойства всех грунтов до глубины 2–3 м, независимо от генезиса, положения в рельефе и возраста материнских пород, сформировались в голоцене.

Голоцен – этап изменения природной обстановки под влиянием деятельности человека и возникновения «техногенных» ландшафтов, имеющих специфические инженерно-геологические условия. Уничтожение лесов вырубками и пожарами, распашка склонов и террас вызывают изменение ряда физико-геологических процессов: усиливается физическое выветривание с увеличением мощности зоны выветривания в 1,5–2 раза, меняется режим мерзлоты, активизируется смещение грунтов на склонах, мелеют реки и растут высоты паводков. Неправильное профилирование дорог, трелевка леса вместе с вырубкой и распашкой способствуют усилению почвенной и овражной эрозии, которая в настоящее время повсеместна в Приангарье, Предсаянье, в некоторых районах Прибайкалья и Южной Якутии. Грандиозное гидроэнергетическое строительство и образование крупных водохранилищ резко меняют гидрогеологический и ледовый режимы рек, создают очаги абразии и оползания, подтопления и заболачивания, суффозии и карстообразования.

***Структурная и инженерно-геологическая характеристика слагающих регион формаций и геолого-генетических комплексов горных пород.*** Инженерно-геологическое районирование Сибирской платформы необходимо для установления на ее территории закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий. На основе современных представлений о геологическом строении Сибирской

платформы и законах ее развития можно установить генетическую связь между строением, составом, состоянием, физико-механическими свойствами горных пород и их комплексов, приуроченностью этих комплексов к определенным геологическим структурам.

Сибирская платформа имеет двухъярусное строение. Нижний структурный ярус слагают сложнодислоцированные и сильнометаморфизованные формации архейского и раннепротерозойского возрастов, образующие фундамент платформы. На дневную поверхность они выходят на Алданском и Анабарском щитах и в Ангаро-Канской части Енисейского края. Верхний структурный ярус сложен породами от позднепротерозойского до четвертичного возраста. Он разделяется на ряд этажей, соответствующих определенным этапам осадконакопления и формирования тектонических структур. Рифейский структурный этаж – сложен слабометаморфизованными карбонатными, терригенными и терригенно-карбонатными, в меньшей степени – зеленокаменными, формациями, породы которых смяты в крутые антиклинальные складки. В отложениях ранне-среднепалеозойского этажа преобладают молассовидные, терригеновые, реже карбонатные и терригенно-карбонатные формации – прочносцементированных пород, дислоцированных в крупные пологие антиклинали и синклинали в краевых зонах платформы и слабодислицированных в ее внутренних структурах. Третий структурный этаж образуют средне-позднекаменноугольные, пермские и триасовые отложения, залегающие очень спокойно, с углами наклона слоев, не превышающими  $10^\circ$ . Их разрез представлен угленосными и магматическими формациями. Четвертый структурный этаж сложен позднемезозойскими-раннекайнозойскими угленосными и красноцветными формациями, породы которых выполняют наложенные впадины и залегают горизонтально. Пятый структурный этаж осадочного чехла слагают континентальные четвертичные отложения, характер распространения и мощности которых тесно связаны со знаком и интенсивностью новейших тектонических движений.

При переходе от одного структурного этажа к другому наиболее резко меняются инженерно-геологические свойства пород одного петрографического ряда. Для образований архейского, раннепротерозойского и рифейского структурных этажей типична тектоническая трещиноватость, характером которой целиком определяется прочность и обводненность этих пород. В терригенных и карбонатных породах палеозоя тектоническая трещиноватость выражена слабее, инженерно-геологические свойства массива во многом зависят от литологической трещиноватости. В более поздних отложениях устойчивость, деформируемость и обводненность массивов зависят от сочетания в разрезе водопроницаемых и водоупорных пластичных слоев.

**Гидрогеологические и мерзлотные условия.** Территории региона согласно схеме гидрогеологического районирования РФ входят в Ангаро-Ленский и Иркутский артезианские бассейны Восточно-Сибирской артезианской области. В пределах регионов выделяются ряд водоносных горизонтов, приуроченных к отложениям ниже-среднепалеозойского, верхнепалеозойско-мезозойского и кайнозойского структурных этажей. Водоносные горизонты в песчаниках и доломитах молассовидной нижнекембрийской формации залегают на глубине 1 800–3 200 м и представлены бессульфатными рассолами хлоридного, кальциевого или натриево-кальциевого состава. Мощность водоносных горизонтов изменяется от 10 до 60 м. Наиболее хорошо изучен осинский водоносный горизонт трещинно-пластовых вод, приуроченный к отложениям гипсово-соленосной нижнекембрийской формации. Водоносный горизонт выдержан на значительной площади, залегает на глубинах от 1 200 до 2 800 м, содержит рассолы хлоридного, натриевого и кальциевого типов. Дебиты скважин колеблются от 0,001 до 10 л/с.

В нижних этажах закарстованных массивов пород гипсово-доломитовой ниже-среднекембрийской формации развиты трещинно-карстовые воды с глубинами залегания от 5 до 50 м и дебитом до 30–50 л/с. Воды преимущественно пресные, гидрокарбонатные, магниево-кальциевые. Пресные воды этого горизонта широко используются для водоснабжения. Отложения нижней части красноцветной средне-верхнекембрийской формации выделяются в единый водоносный комплекс трещинно-пластовых вод. Для формации характерно обилие родников с дебитом 1–12 л/с и небольшой (0,3–0,5 г/дм<sup>3</sup>) минерализацией. Глубина залегания водоносных горизонтов колеблется от 10 до 160 м, дебит скважин 0,3–1,2 л/с, минерализация от 0,3 до 4,1 г/дм<sup>3</sup>, преобладают гидрокарбонатно-сульфатные магниево-кальциевые воды. Нерасчлененные отложения красноцветной терригенной формации среднего-верхнего ордовика выделяются в единый водоносный горизонт. Он вскрыт на глубине 50–70 м, дебит до 0,2–0,3 л/с. Вдоль трапповых тел образуются трещинно-жильные воды, а дебит скважин увеличивается здесь до 2 л/с. Загипсованность пород формации повышает минерализацию до 6 г/дм<sup>3</sup> и обуславливает сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый или магниево-кальциевый состав вод.

К терригенно-карбонатной формации нижнего ордовика приурочены три водоносных горизонта. Верхний залегает на глубине 150–350 м, воды самоизливающиеся, дебит 5–10 л/с. Средний горизонт представлен карстово-трещинными водами, дебит до 50 л/с. Глубины залегания нижнего горизонта – от нескольких десятков метров до 1 200 м, воды напорные и самоизливающиеся. Минерализация не превышает 0,3 г/дм<sup>3</sup>, состав вод

гидрокарбонатный магниевый-кальциевый. Обводненность пород терригенной ниже-среднеордовикской формации значительна. Глубина залегания подземных вод колеблется от 10 до 170 м, дебит скважин 0,5–30 л/с, по составу воды пресные, в основном гидрокарбонатные магниевый-кальциевые с минерализацией 0,3–0,8 г/дм<sup>3</sup>. С терригенной нижнесилурийской формацией связаны многочисленные родники в долинах р. Ангары и Илама дебитом до 100–150 л/с и пластовые выходы протяженностью 100–130 м; воды гидрокарбонатные магниевый-кальциевые с минерализацией до 0,5 г/дм<sup>3</sup>. Обводненность угленосных формаций верхнепалеозойско-мезозойского структурного этажа различна. Нижнеюрские отложения обводнены слабо. К песчаникам карбона приурочены трещинно-пластовые воды с глубинами до 100 м. В верхней части горизонта воды пресные гидрокарбонатные кальциевые и натриевые, под трапами напорные солончатые с минерализацией до 1,3 г/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридно-натриевые.

Обводненность палеоген-неогеновых пород слабая, осложнена многолетней мерзлотой; водовмещающими являются песчано-галечные отложения. Воды пресные гидрокарбонатные кальциевые или натриевые с минерализацией 2–9,2 г/дм<sup>3</sup>. Значительная минерализация вод – результат затрудненного питания и водообмена, создаваемого многолетней мерзлотой.

Грунтовые воды песчано-галечных отложений четвертичного возраста вскрываются на глубине от 2 до 18 м. Наибольшая водообильность характерна для верхнечетвертичных и современных образований: удельный дебит 20 л/с, коэффициенты фильтрации 200–500 м/сут. Обводненность аллювия Прибайкальского региона определяется распространением многолетнемерзлых пород. Надмерзлотные воды формируются в деятельном 2–2,5-метровом слое и питают родники дебитом до 1–3 л/с, межмерзлотные – представлены подземными льдами. Подмерзлотные воды в нижнечетвертичном аллювии р. Лены и Манзурки слабонапорные, дебит скважин достигает 2 л/с, коэффициент фильтрации 100–150 м/сут. Воды преимущественно пресные гидрокарбонатные кальциевые. Водообильность болот старичных отложений низкая. Находясь в зоне сезонного промерзания, грунтовые воды практического значения не имеют и ухудшают условия строительства. Территория Тасеевского региона и юго-западная часть Прибайкальского располагаются в области островного распространения многолетнемерзлых пород долинного типа. Острова и линзы пород по площади достигают нескольких сот метров, увеличиваясь иногда до 2–3 км. Мощность мерзлых пород колеблется от нескольких метров до 40 м. Верхняя граница мерзлоты обычно сливается со слоем сезонного промерзания: на заторфованных участках на глубине 0,5–0,6 м, в суглинках – 1,5–2,5 м, в аргиллитах – 2,5–3 м. Температура многолетнемерзлых пород ко-

леблется в пределах – 0,1–0,5°. Глубина сезонного промерзания грунтов изменяется на территории от 0,8 до 5 м. Среднегодовые температуры грунтов в слое сезонного промерзания изменяются от 0,5 до 5°. Северо-восточная часть Прибайкалья занимает область многолетнемерзлых пород с островами таликов.

**Главнейшие геологические процессы и явления.** Особенность современных геологических процессов и явлений региона обуславливается спецификой истории его развития. На данной территории можно выделить достаточно большое разнообразие геологических процессов: солифлюкция, разрушение пород, талики, подземные льды, пучение, курумы, снежные лавины и т. д.

В пределах Анабарского щита – солифлюкция, курумы, разрушение пород, подземные льды; Анабарская синеклиза – солифлюкция, курумы, подземные льды, пучение, талики; Тунгусская синеклиза – курумы; Вилюйская синеклиза – развеивание и движение песков: дюны, барханы, на севере – подземные льды; Алданская антеклиза – подземные льды (в небольшом количестве), разрушение пород (на юге), курумы, разрушение пород (вдоль границ Алданского щита); Алданский щит – подземные льды, наледи, солифлюкция, разрушение пород, курумы, снежные лавины; Иркутская впадина – формации горных плато и склонов, разрушение пород, курумы. На юге территории преимущественно развиты солифлюкция, просадки, эрозия, наледи.

Большую часть территории занимают Енисейский и Приенисейский регионы. Наибольшее развитие на территории получили криогенные, склоновые процессы и карст. Суровость климатических условий и близкое залегание скальных пород обуславливают интенсивное развитие криогенного выветривания и морозной сортировки грунтов. Морозное выветривание резко активизирует гравитационные склоновые процессы. На пологих склонах формируются солифлюкционные террасы, каменные моря, на плоских водоразделах – пятна-медальоны, каменные кольца. Значительная роль принадлежит оползневым процессам. Оползни особенно широко развиты на склонах речных террас, сложенных породами палеогенового и четвертичного возраста. Кроме морозного выветривания и эрозии, формирующих неустойчивые склоны, образованию оползней способствуют подземные воды, размягчающие глины, по которым сползают водоносные пески и супеси. Кроме оползней имеет место явление оседания склонов, развитое на склонах речных долин, сложенных скальными породами, где речной эрозией вскрываются более пластичные нижележащие породы. Современные карстовые процессы играют незначительную роль. Древние карстовые формы встречаются широко. В рельефе чаще всего выделяются эллипсоидные округлые и сложные углубления (поля и суходолы) глу-

биной 1,5–2 м, диаметром от 20 до 300 м. На участках сосредоточенного строительства происходит, как правило, усиление неблагоприятных процессов и появляются новые, не имевшие в естественных условиях существенного распространения. В поселках и их окрестностях наиболее распространено оврагообразование.

Сейсмичность территории Енисейского региона согласно прогнозной оценке составляет 5–6 баллов. Инженерно-геологические условия данной территории характеризуются значительной сложностью и разнообразием. Почти повсеместно развиты скальные породы, прикрытые маломощным чехлом элювиально-делювиальных накоплений. Все скальные породы (формации архейского, протерозойского возраста и интрузивные формации), выходящие на поверхность в пределах Енисейского региона, а также траппов и кварцевых песчаников нижнего ордовика в Приенисейском регионе, очень прочны, являются надежным основанием для самых ответственных сооружений гражданского и промышленного строительства, в том числе и гидротехнического. В открытых котлованах они держат вертикальные стенки и выветриваются медленно. Наиболее надежными являются массивы траппов. Прочность массивов архейских и протерозойских пород значительно снижается в верхней выветрелой зоне, а также за счет их интенсивной тектонической нарушенности. При оценке прочности верхнепротерозойских терригенных толщ необходимо учитывать наличие прослоев слабых глинистых сланцев; для карбонатных толщ – их закарстованность. В верхней трещиноватой зоне, по тектоническим нарушениям, и особенно на закарстованных участках, необходимо учитывать вероятность значительных водопритоков в горные выработки. Все остальные терригенные и карбонатные породы палеозойского возраста (Приенисейский регион) менее прочны.

Вилуйский регион характеризуется развитием таких процессов, как термокарст и пучение.

*Термокарст.* Широкое развитие пластовых сегрегационных и повторно-жильных льдов в аллювиальных отложениях четвертичного возраста предопределило широкое развитие термокарстовых процессов и формирование крупных термокарстовых котловин. Они развиты на всех надпойменных террасах, но особенно на IV, V и VI, а также в пределах озерно-аллювиальной равнины. Котловины имеют четкие склоны и плоские днища. На месте вытаявших жильных льдов иногда сохраняются байджарахи. Мелкие термокарстовые котловины обычно небольшого размера образуются в результате вытаявания сегрегационных льдов и повторно-жильных льдов в покровных суглинках, покрывающих между-речья, поймы и террасы рек, а также днища мелких долин. При вытаява-



нии сегрегационных и жильных льдов на крутых склонах террас формируются термокарстовые цирки.

*Пучение.* Бугры пучения в основном представлены булгуньяхами, приуроченными к дну термокарстовых котловин. Высота булгуньяхов изменяется от 1,5 до 40 м, а диаметр основания – от 20 до 100 м. Ядра бугров сложены сильнольдистым грунтом или линзами льда мощностью до 8 м.

*Опыт строительства.* Обширная территория Сибирской платформы характеризуется очень сложными и разнообразными инженерно-геологическими условиями. Специфику строительства на территории региона в целом определяет, прежде всего, почти повсеместное распространение многолетнемерзлых пород. В настоящее время территория Сибирской платформы освоена еще слабо и неравномерно. Строительство ведется главным образом по берегам судоходных рек и в местах крупных месторождений полезных ископаемых. Многолетняя практика возведения сооружений на вечномерзлых грунтах показала, что в процессе освоения территории, прежде всего, нарушается термический режим оснований сооружений и прилегающих участков. В результате происходит возникновение разнообразных мерзлотных инженерно-геологических процессов и явлений. Наиболее распространенными видами мерзлотных деформаций, влияющих на устойчивость сооружений, на территории Сибирской платформы являются: осадка мерзлых грунтов при оттаивании, пучение и просадки, образование наледей, возникновение морозобойных трещин. Интенсивность и характер проявления этих процессов зависят от ряда факторов: геологических, гидрогеологических, климатических и мерзлотных условий площади строительства, свойств и состояния мерзлых грунтов, наличия и размера ледяных включений, физического состояния мерзлых грунтов после их оттаивания, а также от вида и назначения сооружения. В зависимости от этих факторов строительство проводится по двум основным принципам:

- с сохранением природного мерзлого состояния грунтов под сооружением;

- допускается полное или частичное оттаивание мерзлых грунтов.

Правильный выбор принципа строительства, от которого зависят прочность, устойчивость и долговечность зданий и сооружений, является вопросом первостепенной важности. В первые годы освоения городских и промышленных площадок в Восточной Сибири преобладало строительство одно- и двухэтажных жилых зданий и временных промышленных сооружений облегченного типа. Строительство велось, главным образом, на деревянных фундаментах: стульях, сваях, городках, лежнях. Сохранение мерзлого состояния грунтов в основании сооружений обеспечивалось устройством проветриваемых зимой подполий. Однако почти во всех

строящихся городах того периода отмечены массовые деформации зданий и сооружений. В последнее время широкое применение получил способ закрепления трещиноватых скальных пород цементацией с предварительным оттаиванием. Этот способ эффективно применяется также для укрепления грунтов оснований деформировавшихся зданий.

Почти во всех городах, строящихся на Сибирской платформе, повышается верхняя граница мерзлоты под сооружением. Естественное охлаждение грунтов под зданием происходит медленно, особенно высокотемпературных грунтов. Поэтому при строительстве на пластичномерзлых грунтах по I принципу для повышения их несущей способности применяются мероприятия по ускорению формирования охлажденной зоны под зданием: применение подземных охлаждающих устройств (труб, тоннелей, каналов и др.); изолирующие покрытия в подпольях и др.

Сооружение может способствовать охлаждению и протаиванию вечномерзлого грунта в основании в зависимости от величины выделенного тепла или его поглощения. Постоянным источником выделения тепла являются коммуникации и особенно теплопроводы, оказывающие большое влияние на температуру окружающих грунтов. Существенным моментом при строительстве зданий и сооружений по I принципу является выбор оптимального способа прокладки инженерных коммуникаций. Многолетний опыт строительства и эксплуатации инженерных сетей в г. Норильске показал, что наиболее удачным способом прокладки коммуникаций в условиях плотной многоэтажной застройки явилось сосредоточение всех инженерных сетей в подземных двухъярусных коллекторах, обеспечивающих сохранение мерзлого состояния грунтов в основании прилегающих зданий и удобных в эксплуатации. В пределах зданий все коммуникации подвешиваются в продуваемых подпольях к цокольным перекрытиям. Такой способ прокладки инженерных сетей применяется в последнее время во всех городах Восточной Сибири, где строительство ведется по I принципу, является наиболее эффективным и надежным в эксплуатации.

Основаниями для многих сооружений, расположенных в долинах р. Ангары, Бирюсы, Иркутта и других, служат лессовидные супеси и суглинки, обладающие часто просадочными свойствами и подверженные процессам пучения. Наиболее сложными для освоения являются участки, сложенные верхнеплейстоценовыми делювиальными отложениями с мощностью просадочной толщи до 6–8 м. Зона максимальной просадочности располагается на глубине 2,5–4 м. Характерно, что в западинах несущая способность лессовых грунтов значительно ниже, чем на буграх (часто в 1,5–2 раза), а полная осадка грунтов под нагрузкой в 3 раза выше. Поэтому многие сооружения, построенные на участках с бугристо-

западинным рельефом, испытывают деформации из-за неравномерной осадки основания.

Спецификой инженерно-геологических условий южных районов Сибирской платформы является сейсмичность. При землетрясениях здания старой постройки подвергаются различным деформациям. Освоение территории вызывает заметные изменения сейсмичности отдельных участков. Например, существенно изменились сейсмические условия отдельных районов г. Иркутска после заполнения Иркутского водохранилища. В результате повышения уровня грунтовых вод на побережье водохранилища на участках, где их глубина стала менее, расчетная сейсмичность увеличилась с 8 до 9 баллов. В практике строительства г. Иркутска и других районов для упрочнения грунтов основания применяются замена слабых грунтов более качественными и устройство свайных фундаментов, что способствует улучшению сейсмических условий.

**Линейное строительство. Железные и автомобильные дороги.** Основные железнодорожные линии расположены в основном в южной части Сибирской платформы. Автодорожное строительство ведется в различных районах. В основном строятся грунтовые автомобильные дороги, связывающие отдельные экономические центры, железнодорожные или водные магистрали. В последние годы при реконструкции старых и строительстве новых автомобильных дорог широкое применение получили различные методы укрепления и уплотнения местных грунтов, используемых для устройства насыпи и дорожной одежды: улучшение дороги скелетными добавками, устройство гравийного покрытия, обработанного вяжущими материалами, послойное уплотнение грунтов до требуемой плотности.

Особую сложность представляет сооружение трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Проектирование трубопроводов в северных районах проводится либо с сохранением природного мерзлого состояния грунтов, либо без учета вечной мерзлоты. Первый газопровод Таас–Тумус–Якутск–Покровск, построенный в районе распространения многолетнемерзлых пород, расположен на территории Лено-Виллюйской низменности со сложными геокриологическими условиями по трассе. Мощность мерзлоты достигает 500 м, среднегодовая температура пород на глубине 15–20 м изменяется от  $-2,6$  до  $-3^{\circ}$ . Глубина сезонного протаивания на различных участках колеблется от 0,6 до 2 м. Строительство газопровода вызвало существенные изменения природных условий по трассе. Вырубка леса, удаление мохово-растительного покрова, устройство траншей и насыпей способствовали увеличению глубины сезонного протаивания пород до 3,5 м на участках, где трубопровод уложен в насыпи. В этом случае в течение лета труба находится в слое талого грунта, причем над трубой мощность талого грунта составляет не более

1 м, а под ней – более 1,5 м. На таких участках в период промерзания сезонно-талого слоя возможно пучение грунта. Кроме того, на участках, где произошло резкое увеличение глубины сезонного протаивания, наблюдалось возникновение временного водоносного горизонта, интенсивное развитие термокарста и образование просадочно-термокарстовых форм рельефа. Максимальная мощность водоносного горизонта (1,5–1,8 м).

**Гидротехническое строительство.** Территория Сибирской платформы богата гидроэнергетическими ресурсами, освоение которых предопределило развитие гидротехнического строительства на востоке страны именно с этого региона. Здесь в 60-х гг. были построены: Иркутская ГЭС – первенец Ангаро-Енисейского каскада; крупнейшая в мире Братская ГЭС, создавшая самое большое водохранилище емкостью 169 млрд м<sup>3</sup>; первая на Крайнем Севере высокая каменно-набросная плотина Вилуйской ГЭС; Мамаканская ГЭС, а в 1970 г. были пущены первые агрегаты самой северной Усть-Хантайской ГЭС. К настоящему времени в Восточной Сибири накоплен определенный опыт гидротехнического строительства.

В последние годы начинает интенсивно развиваться гидромелиоративное строительство, размещаемое в южных областях региона и в Центральной Якутии, обусловившее создание ряда мелиоративных систем сетью магистральных каналов, проложенных в сезонно-мерзлых и вечно-мерзлых грунтах, и большим числом водозаборных узлов, дамб, плотин, шлюзов-регуляторов. В южных районах, характеризующихся наличием территорий недостаточного увлажнения и интенсификацией сельского хозяйства, также планируется существенное увеличение мелиорации земель и ирригационного строительства. Создание крупных гидроузлов и больших водохранилищ в районах распространения вечномерзлых грунтов на севере Восточной Сибири может вызвать и существенное изменение инженерно-геологических и геокриологических условий в радиусе влияния водоемов, интенсифицируя развитие процессов выветривания, солифлюкции, термокарста, термоабразии берегов, изменить гидрологический режим прилегающих территорий.

### 2.3. Западно-Сибирская плита

**Обоснование выделения региона и его границы.** Западно-Сибирская равнина – одна из немногих физико-географических стран, границы которой отчетливо выражены в рельефе. Ее рубежами на западе являются восточные предгорья Урала, на востоке равнина ограничена уступом Енисейского кряжа и Среднесибирского плоскогорья, вдоль которого заложилась долина р. Енисей, на севере омывается водами Карского моря. Юж-

ная часть равнины уходит за пределы России в Казахстан и лишь на крайнем юго-востоке граничит с Алтаем.

С севера на юг Западная Сибирь протянулась почти на 2 500 км от 73° (северная окраина Ямала) до 51° с. ш. (крайний юго-восток). В плане ее территория имеет форму трапеции с наибольшей протяженностью с запада на восток на широте г. Красноярска (около 1 900 км). Площадь Западной Сибири – около 3 млн км<sup>2</sup>. Специфические черты природы Западной Сибири, определяющие ее своеобразие и уникальность среди других физико-географических стран, – довольно однообразный, слабо пересеченный рельеф с малыми абсолютными и относительными высотами, исключительная заболоченность и ярко выраженная широтная зональность природных условий.

**Экономико-географическая характеристика.** Южная часть равнины – наиболее освоенные и обжитые районы Сибири, где природа в значительной мере изменена хозяйственной деятельностью человека.

Нефтегазодобыча: 2/3 российской нефти (Самотлорское, Холмогорское, Федоровское и другие месторождения) и газа (Уренгойское, Ямбургское, Медвежье и др.) добываются здесь. Машиностроение и металлообработка: около 1/3 российского производства аккумуляторов и автомобильных свинцовых аккумуляторных батарей; деревообрабатывающие, металлорежущие станки, нефтеаппаратура, нефтепромысловое, буровое, геологоразведочное, медицинское оборудование и инструменты. Лесная и деревообрабатывающая промышленность: деловая древесина, пиломатериалы, фанера, сборные щитовые дома, мебель. Химия и нефтехимия: пластмассы, химико-фармацевтическая продукция. Производство стройматериалов. Крупнейшие предприятия: «Сургутнефтегаз», «Нижневартовскнефтегаз», «Ноябрьскнефтегаз», «Юганскнефтегаз» (г. Нефтеюганск), «Уренгойгазпром» (г. Новый Уренгой), «Ямбурггаздобыча», Моторостроительное ПО, Сургутские ГРЭС-1 и ГРЭС-2, Нижневартовская ГРЭС. Ведущая отрасль сельского хозяйства – животноводство, преимущественно молочно-мясное скотоводство и свиноводство. Судостроение осуществляется по р. Оби, Иртышу, Тоболу, Туре и др. Развит трубопроводный (нефте- и газопроводы) транспорт.

**Характеристика современной ландшафтно-климатической зональности.** Современный рельеф Западной Сибири обусловлен геологическим развитием, тектоническим строением и влиянием разнообразных экзогенных рельефообразующих процессов. Основные орографические элементы находятся в тесной зависимости от структурно-тектонического плана плиты, хотя длительное мезокайнозойское прогибание и накопление мощной толщи рыхлых отложений в значительной мере сnivelировали неровности фундамента. Малой амплитудой неотектонических движений

обусловлено низкое гипсометрическое положение равнины. Максимальные амплитуды поднятий достигают 100–150 м в периферических частях равнины, а в центре и на севере они сменяются опусканиями до 100–150 м. Однако в пределах равнины выделяется ряд низменностей и возвышенностей, соизмеримых по площади с низменностями и возвышенностями Русской равнины.

*Климат Западной Сибири* континентальный, достаточно суровый. Он более суров, чем климат Русской равнины, но мягче, чем на остальной территории Сибири. Континентальность нарастает к югу, по мере удаления от побережья Северного Ледовитого океана.

Большая меридиональная протяженность обуславливает значительные различия в количестве солнечной радиации между севером и югом равнины. Суммарная радиация изменяется от 70 до 120 ккал/см<sup>2</sup> в год, радиационный баланс – от 15 до 40 ккал/см<sup>2</sup> в год. Западно-Сибирская равнина по сравнению с Русской, получает на одних и тех же широтах больше солнечной радиации за счет увеличения прямой солнечной радиации вследствие меньшей повторяемости циклональной погоды, сопровождаемой облачностью.

Географическое положение обуславливает преобладание западного переноса воздушных масс, но значительная удаленность равнины от Атлантического океана способствует ослаблению влияния атлантических воздушных масс на формирование ее климата. Равнинность территории, ее открытость с севера и юга обеспечивают свободный меридиональный перенос, что сглаживает температурные и погодные различия.

Существенное влияние на важнейшие климатические показатели оказывает также характер подстилающей поверхности: большая заболоченность, заозеренность и залесенность равнины.

Зима характеризуется устойчивой отрицательной температурой. Абсолютные минимумы достигают на юге –45 до –50°, в центре и на севере –5°С. Наиболее теплым является юго-запад равнины. В южной и центральной частях (примерно до 65° с. ш.) наблюдается понижение температуры с юго-запада на северо-восток от –17 до –28°С. В северной части Западной Сибири температуры января изменяются с запада на восток от –22° в предгорьях Урала до –29°С в низовьях Енисея.

Часто возникают сильные ветры с метелями и снежными бурями (пургой), особенно на севере (до 35–40 м/с) и в южных малолесных и безлесных районах (до 15–20 м/с). На холодный период приходится в южных районах 20 %, а в северных – 35 % от годовой суммы осадков. С ноября по март вся территория Западной Сибири покрыта снегом. На севере снежный покров устанавливается уже в середине октября и сохраняется в течение 250–270 дней в году. К югу продолжительность залегания

снежного покрова сокращается до 150–160 дней. В лесной зоне мощность снежного покрова превышает 50–60 см, достигая максимума в восточной части зоны. В тундре она уменьшается до 40–50 см, а в степной зоне – до 25–30 см. Переходные сезоны в Западной Сибири короткие – один-полтора месяца.

На теплый период (с апреля по октябрь) в Западной Сибири приходится 70–80 % годовой суммы осадков. Наиболее обильны они в июле и августе, что связано с циклогенезом на арктическом и полярном фронтах. В тундре максимум осадков приходится на август, в тайге – на июль, а в степях – на июнь. Распределение осадков по территории имеет зональный характер. Наибольшее их количество (550–650 мм) выпадает в полосе, протянувшейся от Урала до Енисея через среднее течение р. Оби (лесная зона).

Климат на большей части территории Западной Сибири способствует широкому развитию многолетней (вечной) мерзлоты, в распространении которой отчетливо прослеживается зональность. На полуостровах мерзлота встречается повсеместно. Ее мощность 300–600 м. Южнее, примерно до Сибирских Увалов, распространена мерзлота с островами таликов. Монолитная мерзлая толща здесь сменяется двуслойной: верхний слой современной мерзлоты мощностью от 50–100 м на севере до 10–50 м на юге отделен слоем талых пород от нижнего реликтового слоя, начинающегося на глубине 80–140 м и имеющего мощность до 200–250 м. Отдельные острова современной мерзлоты встречаются до широты устья р. Демьянки – правого притока р. Иртыша. Несколько южнее, до субширотного отрезка Иртыша, распространена реликтовая мерзлота (нет ее лишь на поймах крупных рек), залегающая на глубине от 100–120 до 250 м и имеющая мощность от 150 до 250 м. В направлении с запада на восток наблюдается увеличение мощности и понижение температуры мерзлых грунтов.

***История геологического развития и её влияние на инженерно-геологические условия.*** Геологическое строение Западно-Сибирской равнины является следствием ее положения на одноименной плите молодой Урало-Сибирской эпипалеозойской платформы. Фундамент плиты представляет собой огромную депрессию с крутыми восточными и северо-восточными и пологими южными и западными бортами. Он состоит из допалеозойских, байкальских, каледонских и герцинских блоков. Наиболее древний – Иртыш-Надымский средний массив. Фундамент разбит разновозрастными глубинными разломами. Наиболее крупные – Восточно-Зауральский и Омско-Пурский (Колтогорско-Уренгойский) субмеридиональные разломы. Поверхность фундамента плиты расчленена на Внешний прибортовой пояс и Внутреннюю область, которые осложнены системой впадин и поднятий, отражающих его боковое строение.

Внешний пояс представлен склонами горно-складчатого обрамления, полого или более круто опускающимися к центральной части депрессии. Фундамент в его пределах залегает неглубоко (менее 2,5 км). Ближе всего к поверхности он подходит на крайнем юго-западе Кустанайской седловины (300–400 м). Внутренняя область разделена на две ступени. Южная ступень (Среднеобская мегантеклиза) характеризуется глубиной залегания фундамента от 2,5 до 4,0 км. Наиболее опущенная северная ступень плиты представляет собой Ямало-Тазовскую мегасинеклизу (8–12 км). От Среднеобской мегантеклизы Ямало-Тазовская мегасинеклиза отделена, по-видимому, субширотным глубинным разломом (Транссибирским), к северу от которого глубина залегания фундамента резко увеличивается от 4 до 6 км.

Между фундаментом и осадочным чехлом плиты залегает переходный комплекс триасово-нижнеюрского возраста. Его образование связано со сводообразным воздыманием и растяжением фундамента, следствием чего явилось формирование внутриконтинентальной рифтовой зоны с системой грабенообразных впадин. В этих впадинах происходило накопление осадочно-вулканогенных и осадочных угленосных континентальных толщ мощностью до 3–5 км. Магматические породы переходного комплекса представлены преимущественно базальтовыми лавами и туфами. Развитие Западно-Сибирской внутриконтинентальной рифтовой зоны не привело к образованию нового океана.

Общее погружение плиты и накопление осадочного платформенного чехла началось в наиболее глубокой северной части с верхнего триаса, а на остальной территории – со средней юры и носило дифференцированный характер. Формирование чехла в мезокайнозойское время протекало фактически непрерывно в условиях длительного устойчивого прогибания. Чехол представлен переслаивающимися песчаноалевролитовыми прибрежно-континентальными отложениями и морскими глинистыми и песчано-глинистыми толщами мощностью 3–4 км в южной части и свыше 7–8 км – в северной. Морские отложения преобладают в нижней части разреза (до нижнего олигоцена включительно) и связаны с бореальными трансгрессиями. Максимальные трансгрессии, охватившие почти полностью территорию плиты, имели место в конце юры, начале позднего мела и палеогена.

С активизацией тектонических подвижек на платформенном этапе развития плиты связано возникновение многочисленных локальных структур, выраженных только в осадочном чехле. Установлено, что в приразломных зонах количество локальных поднятий, являющихся основными месторождениями нефти и газа, возрастает в 3–4 раза по сравнению с остальной территорией.



С тектоническими движениями олигоцена связано поднятие северного блока плиты, отчленившего Западно-Сибирское море от Арктического бассейна. Морской режим непродолжительное время еще сохраняется в центральной и южной частях равнины, но уже в середине олигоцена море через Тургайскую ложбину окончательно покидает Западную Сибирь. В связи с этим верхняя часть осадочного чехла сложена континентальными толщами, достигающими в южной, прогибающейся части плиты, большой мощности, местами до 1–2 км. Среди них преобладают озерно-аллювиальные, песчано-глинистые и озерные, преимущественно глинистые отложения.

В неогене отчетливо обособляется зона субширотных Обь-Енисейских поднятий, расположенных над Транссибирским разломом и соответствующих современному Сибирскому Увалу. К концу неогена уже сформировались общие орографические черты Западной Сибири. Пониженные участки совпадали с тектоническими прогибами, в которых, вероятно, располагались речные долины. Уровень моря был в это время на 200–250 м ниже современного, и большая часть дна Карского моря вместе с северными районами равнины представляла собой сушу, глубоко расчлененную речными долинами.

Общее похолодание климата, происходившее в неогене, особенно усилилось к концу периода, что привело к развитию четвертичного оледенения.

**Особенности геоморфологии.** В пределах Западной Сибири отчетливо прослеживаются три высотных уровня. Первый уровень, занимающий почти половину территории, имеет высоту менее 100 м. Второй, гипсометрический, уровень располагается на высотах 100–150 м, третий – преимущественно в интервале 150–200 м с небольшими участками до 250–300 м. Наиболее высокий уровень приурочен к краевым частям равнины. Самые низкие участки (ниже 100 м) находятся в северной и центральной частях Западной Сибири.

Среди морфоструктур господствуют пологонаклонные к внутренней части пластовые (наклонные) равнины и плато. В краевых частях преобладают пластово-денудационные равнины. При удалении от окраин амплитуда новейших поднятий уменьшается, возрастает мощность четвертичных отложений и пластово-денудационные равнины сменяются пластово-аккумулятивными.

В размещении на равнине типов морфоструктур, созданных деятельностью экзогенных рельефообразующих процессов в неоген-четвертичное время, отчетливо прослеживается закономерная смена в направлении с севера на юг. На севере к берегам Карского моря и его заливов примыкают морские равнины, в поздне- и послеледниковое время вышедшие из-под

уровня моря. Они отличаются плоским рельефом. Современными процессами, преобразующими рельеф морских равнин, являются прежде всего, мерзлотно-солифлюкционные. Южнее расположены моренные (ледниковые) и водно-ледниковые равнины, основные черты рельефа которых связаны с четвертичным оледенением. Они характеризуются более пересеченным рельефом. Преобладает пологохолмистый рельеф. Колебания высот на междуречьях обычно составляют 10–15 м. Лишь в краевых частях равнины, примыкающих к Уралу и Среднесибирскому плоскогорью, увеличиваются относительные высоты и сравнительно хорошо выражены моренные холмы и гряды, озы, камы и котловины, возникшие при вытаивании глыб мертвого льда. В южной части области широко распространены плоские водно-ледниковые равнины. Главный фактор в современном преобразовании рельефа – деятельность текучих вод. Формируется эрозионный рельеф, особенно хорошо выраженный на возвышенностях.

К ним примыкают ледниковые озерно-аллювиальные равнины, отличающиеся плоским рельефом. В течение длительного времени здесь господствовали процессы речной и озерной аккумуляции. Когда говорят о Западной Сибири как о гигантской аллювиальной равнине, то обычно имеют в виду эту ее часть.

Ледниковые озерно-аллювиальные равнины с юга оконтуриваются внеледниковыми структурно-денудационными равнинами, которые занимают южную часть Западной Сибири. Процессы аккумуляции сменились здесь эрозионными еще в дочетвертичное время. Однако большая удаленность территории от океана, сухость климата обуславливают слабое развитие речной сети. Лишь юго-восточная часть равнины, где много транзитных рек, текущих из горных районов Алтае-Саянской области, отличается хорошо разработанным эрозионным рельефом с пологовыпуклыми междуречьями и густой сетью речных долин. На остальной территории междуречные пространства слабо освоены эрозионной сетью, отличаются плоским, слегка волнистым рельефом. На поверхности находится огромное количество суффозионно-просадочных впадин, обычно занятых озерами, и масса небольших плоских заболоченных углублений. Вблизи р. Оби, Енисея, Чулыма, Иртыша, Тобола расчленение становится глубже, склоны круче. Появляются молодые растущие овраги.

**Гидрогеологические условия региона.** По гидрогеологическим условиям равнина представляет собой огромный Западно-Сибирский артезианский бассейн, который состоит из ряда бассейнов второго порядка: Обского, Тобольского, Иртышского, Чулымского, Барабинско-Кулундинского и др. Воды лежат на разных глубинах в мезокайнозойских отложениях. В краевых частях равнины вскрыты подземные воды, сосредоточенные в трещинах плотных пород фундамента. С большой мощностью чехла

рыхлых отложений, состоящих из чередования водопроницаемых и водупорных пород, связано наличие многочисленных водоносных горизонтов. Они отличаются различным химизмом, режимом и качеством вод». Воды глубоких горизонтов обычно минерализованы сильнее, чем находящиеся ближе к поверхности. В южных районах нередко сильно засолены и воды верхних горизонтов. Это связано с высокой испаряемостью, слабой дренированностью поверхности и медленной циркуляцией вод. В некоторых водоносных горизонтах на глубинах от 800 до 3000 м вскрыты воды с температурой 25–120°С. Обычно это сильно минерализованные воды, которые могут использоваться для отопления и лечебных целей. Общие запасы подземных вод Западной Сибири весьма велики.

***Современные геологические процессы и явления региона.*** На территории Западно-Сибирской платформы в пределах Обь-Иртышского междуречья установлено, что новейшие и современные тектонические движения играют большую роль в создании существующих инженерно-геологических условий не только в горно-складчатых, но и в платформенных областях. В частности, развитие экзогенных процессов во многом зависит от характера новейших тектонических движений. Например, в долине р. Оби на участке Коломино-Кривошеино зафиксированы положительные движения земной коры. В результате этого р. Обь у деревни Кривошеино за последние 100 лет сместилась влево на несколько километров. Левосторонняя асимметрия долины р. Оби на этом участке вызывается более интенсивными поднятиями правого берега долины, расположенного на склоне Обь-Енисейской антеклизы, что и определяет скатывание русла Оби влево.

Особенно интенсивно оползневые процессы протекают при подмыве высоких (более 40 м) берегов Оби и Иртыша, приуроченных к положительным четвертичным структурным элементам, таким как Васюганско-Каменская антеклиза, Увальская гряда и Молчановское поднятие.

Современные тектонические движения сказываются даже на литологических особенностях пойменных отложений западно-сибирских рек. Изучение литолого-фациальной характеристики современных аллювиальных отложений Оби на участке ее нижнего течения в связи с инженерно-геологической оценкой территории ее поймы показало, что современные отложения поймы Оби на этом участке долины подразделяют на три литологических типа: супесчаный, суглинистый и супесчано-суглинистый в зависимости от того, какие из фаций преобладают среди современных аллювиальных отложений.

***Опыт строительства и изменение инженерно-геологических условий в связи с различными видами строительства.*** Лессовые просадочные грунты Западной Сибири занимают до 20% территории. На них расположены такие крупные промышленные центры, как Барнаул, Ново-

сибирск, Бийск, Омск, Кемерово и др. Сложность эксплуатации лессовых грунтов в качестве оснований зданий и сооружений вызывает необходимость их комплексного изучения для создания рациональных и новых конструкций фундаментов и безопасной эксплуатации уже построенных зданий.

Опыт эксплуатации зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах показывает, что свойства данных грунтов, особенно их поведение под нагрузкой и замачиванием, изучены недостаточно. Только в г. Барнауле за последние годы около двадцати зданий оказались в деформированном состоянии. Основными факторами, вызывающими аварийное состояние зданий и сооружений, являются подтопление городских территорий, неравномерная просадка основания, ошибки при проведении инженерно-геологических изысканий, несоблюдение технических условий на производство строительного-монтажных работ и т. д.

Все это свидетельствует о том, что проблема обеспечения устойчивости, надежности зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах решена не полностью. Имеются значительные недостатки существующих расчетных моделей по проектированию сооружений на грунтах данного типа, не учитывающих специфику инженерно-геологического строения лессовых пород, их структурно-текстурные особенности, динамику их изменения под влиянием внешнего давления и замачивания.

Анализируя инженерно-геологические условия лессовых пород Западной Сибири, можно выделить следующие региональные особенности: Мощность лессовых просадочных грунтов изменяется в пределах от 3–4 м до 10–12 м, т. е. она незначительная. Наибольшей мощности эти породы достигают на территории Приобского и Обь-Чумышского плато, Обь-Чумышской аллювиальной равнины. Для Кулундинской низменности и Ленинской равнины мощность просадочных лессовых пород не превышает 3–4 м, в предгорных районах – 5–6 м. Наиболее распространенными грунтами лессовых пород Верхнего Приобья являются суглинки и, реже, супеси. По просадочности исследуемые лессовые породы относятся к I типу, и лишь в отдельных случаях локально встречаются лессовые породы II типа. Это отмечено в юго-восточной части озерно-аллювиальной Обь-Чумышской равнины, Приобского плато на территории г. Барнаула и Новосибирска. Гранулометрический состав лессовых пород юга Западной Сибири характеризуется неоднородностью по вертикали и по площади, наличием линз и прослоек песка. В пределах Верхнего Приобья широко распространены слои погребенных почв мощностью до 2 м, которые можно рассматривать как специфический горизонт грунтов, обладающих сравнительно надежными строительными свойствами.

Оползневые деформации в зоне влияния береговых склонов и уступов в долине р. Оби приобретают угрожающий характер. Практически весь левый берег р. Оби в городской черте изрезан оползневыми цирками и оврагами. Ежегодно в городской черте происходит 10–20 оползневых подвижек. За последние 20–25 лет зафиксировано более 230 оползней. Объемы оползших масс грунта составляют от 10 до 200 тыс. м<sup>3</sup>. Имеются заколы крупных еще не сошедших блоковых тел до 1,5 млн м<sup>3</sup> в объеме и до 800 м по фронту. Последние годы характеризуются ухудшением оползневой обстановки, т. е. увеличением количества оползней в год (до 30). Генетически в пределах городской черты выделяются эрозионные, суффозионные, антропогенные и полигенные оползни.

#### **2.4. Урало-Новоземельская горно-складчатая система**

*Границы и обоснование выделения региона.* Урало-Новоземельская горно-складчатая система длиной 2 200 км и шириной от 100 до 400 км протягивается от Байдарацкой губы Карского моря до Северного Приаралья. На западе оно отделено Предуральским краевым прогибом от Восточно-Европейской платформы и южной части Печеро-Баренцевоморской метаплатформенной области, а на востоке граничит с Западно-Сибирской плитой, Тургайским прогибом и Северо-Туранской плитой. На севере роль продолжения Урала играет авлакогеосинклинальная зона Пайхоя – Новой Земли. На юге западные зоны Урала смыкаются со структурами Донецко-Северо-Устьюртской метаплатформенной области. История геологического развития Урало-Новоземельской горной страны показывает, что эта обширная часть земной коры в тектоническом отношении является единой длительно развивающейся складчатой структурой, расположенной между Русской платформой на западе и Западно-Сибирской эпигерцинской плитой на востоке. При инженерно-геологическом районировании территории РФ эта разнородная по инженерно-геологическим условиям территория выделяется в единый регион первого порядка. Основанием для такого выделения служат общая история геологического развития территории Урало-Новоземельского региона в течение всего геологического времени и характерные особенности тектонического строения. Это наглядно подтверждается субмеридиональным простиранием тектонических структур, подчеркнутым также субмеридиональным простиранием крупных глубинных разломов, выдержанностью на тысячи километров горных пород с севера на юг и резкой их изменчивостью при движении с запада на восток, характером орогенических движений в мезозое и кайнозое, подчиненным также субмеридиональной ориентировке структур

и определившим тектоническое и геоморфологическое строение современного Урала.

Особенности тектонического развития и геологического строения Урало-Новоземельской горной страны позволяют выделить в ее пределах следующие инженерно-геологические регионы второго порядка: Пайхойско-Новоземельский, Западно-Уральский, Центрально-Уральский, Восточно-Уральский, Магнитогорский и Урало-Тобольский.

Пайхойско-Новоземельский инженерно-геологический регион второго порядка является северным окончанием Урало-Новоземельской горной страны и включает территорию островов Новой Земли, Вайгач и хр. Пай-Хой. В тектоническом плане данный регион объединяет систему краевых поднятий Северо-Новоземельского антиклинория и синклинории к северо-западу и юго-востоку от него, Карамкульскую впадину, Вайгачский и Пайхойский антиклинории (включая Карскую и Каратаихскую впадины); сюда же относится шельфовая зона Карского и Баренцева морей.

Развитые в пределах данного региона палеозойские отложения не могут быть сопоставимы с тектоническими зонами Урала. Среди широко развитых песчано-сланцевых, часто содержащих граптолиты, отложений ордовика и силура здесь в большом количестве появляются известняки, что создает сходство разреза с песчано-сланцевой граптолитовой формацией Таймыра. В девонских и каменноугольных песчано-сланцевых и известняково-сланцевых отложениях появляются основные эффузивы и красноцветные песчаники позднего палеозоя и раннего мезозоя. Среди пород палеозоя встречаются мелкие тела гранитоидов тех же типов, какие известны на Таймыре. Все это заставляет Новую Землю, Вайгач и Пайхойский антиклинории по составу формаций рассматривать как особую Новоземельскую палеозойскую складчатую зону, переходную от типичных уралид к другой складчатой системе.

Западно-Уральский инженерно-геологический регион второго порядка по площади и в орографическом отношении соответствует западному склону Урала, а в тектоническом плане, как уже отмечалось, является западной подзоной миогеосинклинальной зоны герцинского Урала. С запада его территория ограничена структурой Предуральского краевого прогиба, с востока – линией Западного глубинного разлома. В геологическом строении этой части Урала принимают участие терригенные, угленосные, флишевые и карбонатные породы сульфатно-доломитовой, галогенной и молассовой формаций каледонского и герцинского структурных этажей, с более широким развитием последнего. Широкое развитие карбонатных и, в меньшей степени, терригенных отложений, а также особенности гидрогеологического строения обусловили чрезвычайно широкое развитие на

данной территории различных типов и форм карста, что является важной инженерно-геологической особенностью региона.

Центрально-Уральский инженерно-геологический регион второго порядка в орографическом отношении является осевой частью Урала, соответствуя в структурно-тектоническом плане восточной подзоне миогеосинклинальной зоны. Западной и восточной границами региона являются хорошо прослеживаемые линии Западного и Главного глубинных разломов. Здесь широко развиты породы магматических, метаморфических и осадочных формаций каледонского и герцинского структурных этажей и глубокометаморфизованные породы фрагментов байкалид. Центрально-Уральский регион является наиболее приподнятой частью Урала, а широкое развитие прочных горных пород привело к формированию в северной и южной его частях альпинотипного рельефа, большая глубина и степень расчленения которого способствуют интенсивному развитию здесь разнообразных склоновых процессов.

Восточно-Уральский инженерно-геологический регион расположен в пределах восточного склона Урала, протягиваясь от широты Салехарда на севере до широты Екатеринбурга на юге (зона зеленокаменных синклинориев восточного склона). В структурно-тектоническом плане эта часть Урала соответствует эвгеосинклинальной зоне его развития. Западной границей региона служит Главный глубинный разлом, восточной – граница Западно-Сибирской плиты. Среди слагающих территорию региона пород развиты метаморфические, интрузивные, вулканогенно-осадочные и осадочные образования. Наличие пород карбонатной формации и их тектоническая нарушенность обусловили широкое развитие здесь древнего и современного карста. Будучи наиболее опущенной частью Урала, Восточно-Уральский регион характеризуется сложным геоморфологическим строением, большим разнообразием поверхностных отложений, среди которых особенно широко развиты отложения кор выветривания различных типов.

Магнитогорский инженерно-геологический регион расположен в пределах Южного Урала и Мугоджар. Западной границей региона служит Западный глубинный разлом, с которым здесь связаны интрузии основных пород. На востоке подобная же линия разломов и связанные с ними интрузии отделяют его от Урало-Тобольской антиклинальной зоны.

В его геологическом строении принимают участие породы вулканогенных, вулканогенно-осадочных и интрузивных формаций, в меньшей степени – карбонатной, терригенной и флишевой формаций. Благодаря интенсивным процессам выветривания и денудации, а также нисходящим тектоническим движениям территория Магнитогорского региона характеризуется своеобразным рельефом, который в настоящее время представ-

ляет собой выровненную возвышенную равнину с относительными превышениями 150–200 м.

Урало-Тобольский инженерно-геологический регион расположен в пределах юго-восточной погруженной части восточного склона Урала. С запада он ограничен Восточным глубинным разломом, на востоке определяющие его структуры уходят под мезокайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты. Выделение этой части Урало-Новоземельской горной страны в самостоятельный инженерно-геологический регион определяется не только расположением здесь крупных тектонических структур (Урало-Тобольская антиклинальная зона, Аятский синклиний и др.), но и характером ее тектонического развития в послепалеозойское время, происходившего в форме сводово-глыбовых движений как Уральского орогена, так и Западно-Сибирской плиты, Тургайского прогиба, Северного Приаралья и Прикаспийской впадины. Особенности тектонических движений и вызванные ими ингрессии морских бассейнов существенно сказались на геологическом и геоморфологическом строении региона. Характерно широкое развитие интрузивных пород (гранитоиды, ультраосновные породы), в значительной части глубокометаморфизованных. В составе отложений каледонского структурного этажа широкое участие принимают вулканогенные образования, претерпевшие средний, а частично и глубокий метаморфизм. Породы герцинского структурного этажа также испытали метаморфизм средней и низкой степеней, сохранив частично состояние нормальных осадочных толщ.

*Экономико-географическая характеристика.* Урал расположен между старыми промышленными районами европейской части РФ, Сибирью и Казахстаном – на стыке европейской и азиатской частей РФ. Такое «соседское» положение можно оценить как благоприятное для функционирования и развития его хозяйственного комплекса. Территория района, ввиду ее внутреннего положения между западной и восточной экономическими зонами, имеющими разный уровень экономического развития и разную специализацию, обеспечивает транзитность связей между ними.

Через Урал проходят транспортные магистрали, пересекающие всю территорию РФ от западных границ до Тихого океана. С востока район получает сырье и топливо, а продукцию обрабатывающей промышленности – с запада, а также вывозит свою продукцию во все экономические районы РФ.

Урал – «кладовая» полезных ископаемых. Месторождения железа, медных и других руд приурочены к магматическим породам восточного склона гор. Здесь же находятся месторождения асбеста, мрамора, талька, самоцветов. Имеются запасы железной руды, которые еще содержат хром, титан, ванадий. Более ста лет дают железную руду горы Благодать и Вы-



сокая. Их запасы сильно истощены. 2/3 железорудных запасов сосредоточены в Качканарском месторождении. На Урале добывают медь, никель, магний, бокситы. Особенно ценными являются комплексные руды, обогащенные хромом, титаном, ванадием. Медные руды содержат цинк, золото, серебро. В прогибе у западного склона Уральских гор залегают полезные ископаемые осадочного происхождения – нефть (Башкортостан, Пермский край), природный газ (Оренбургская обл.), уголь, калийная и поваренная соли (Пермский край).

Отраслями специализации хозяйства района являются разнообразная горнодобывающая, металлургическая (черная и цветная металлургия), машиностроительная, химическая и лесная промышленность.

Особенность промышленности Урала – взаимосвязь разных производств. Черная и цветная металлургия, сырье для которых дает горнодобывающая промышленность, создают базу для машиностроения. А машиностроение, в свою очередь, обеспечивает оборудованием горную, химическую и металлургическую отрасли. На отходах металлургического производства первоначально развивалась химическая промышленность.

Нефтеперерабатывающая промышленность (НПЗ в Уфе, Салавате и Перми) служит основой для химии полимеров (Пермский край, Башкирия). В Оренбурге на базе местного газоконденсатного месторождения создан газохимический комплекс.

**Химическая промышленность.** Помимо отходов предприятий черной и цветной металлургии эта отрасль использует местное минеральное сырье (нефть, газ, калийную соль). В Березниках (Пермский край) на химических заводах производят соду, калийные и азотные удобрения, в Соликамске (Пермский край) – калийные. Фосфатные удобрения вырабатывают в Перми и Красноуральске.

Материалоемкое машиностроение Урала специализируется на производстве оборудования для всех отраслей промышленности. Один из крупнейших в стране машиностроительный завод «Уралмаш» в Екатеринбурге выпускает блюминги, прессы, буровые установки, шагающие экскаваторы, различные станки. Есть заводы в Челябинске, Орске, Перми. Транспортное машиностроение представлено в Нижнем Тагиле и Усть-Катаве (Челябинская обл.) (вагоностроительные заводы), в Миассе (Челябинская обл.) и Ижевске (автозаводы). Трудоемкое машиностроение (станкостроение и приборостроение) сосредоточено в городах: Екатеринбург, Пермь, Челябинск. В районе развито сельскохозяйственное машиностроение (Курган) и тракторостроение (Челябинск).

Лесная промышленность в прежние времена обеспечивала металлургию древесным углем. В настоящее время на севере района создана современная

менная деревообрабатывающая промышленность. Целлюлозно-бумажные комбинаты есть в г. Краснокамске, Соликамске, Перми (Пермский край).

**Топливо-энергетический комплекс.** Большое значение для Урала имеет нефтедобывающая промышленность, созданная в Башкирии, Удмуртии, Пермском крае и Оренбургской области. Широко известны Туймазинские, Ишимбайские, Арланские нефтепромыслы Башкортостана, дающие большую часть добываемой нефти Урала. Почти вся нефть перерабатывается местными нефтеперерабатывающими заводами. Крупное газовое месторождение в Оренбургской области поставляет сырье на газоперерабатывающий комплекс. Оренбургский газ по магистральному газопроводу «Союз» поступает в центральный район и далее – в страны зарубежной Европы.

По производству электроэнергии Урал занимает второе место в РФ вслед за центральным районом. Большая часть электроэнергии производится на ТЭС. Крупнейшими из них являются Рефтинская (Свердловская обл.), Троицкая (Челябинская обл.) и Ириклинская (Оренбургская обл.). Свою долю в производстве электроэнергии вносят Камская (Пермь) и Воткинская ГЭС (Чайковский, Пермский край) на Каме. Действует Белоярская АЭС (Свердловская обл.).

**Агропромышленный комплекс.** На равнинах в Прикамье возделывают озимую рожь, овес, лен. В южной лесостепной и степной зоне выращивают пшеницу и подсолнечник, в Башкортостане – сахарную свеклу, а в Оренбургской области – арбузы. Сельское хозяйство южной части Урала имеет зерново-животноводческое направление. Разводят крупный рогатый скот, овец и знаменитых оренбургских коз. В Башкортостане развито пчеловодство.

Транспорт района имеет исключительно важную роль, учитывая транзитное положение Урала. Территория района покрыта густой сетью железных и автодорог, ЛЭП и трубопроводами. Внутренние и межрайонные перевозки в большей степени осуществляются по железным дорогам. Магистрали, расположенные в меридиональном направлении, служат межрайонному сообщению, а в широтном – обеспечивают связи Урала с соседними районами РФ и странами ближнего зарубежья. Особенно большое значение имеют дороги, проходящие через г. Челябинск и Екатеринбург.

**История геологического развития и ее влияние на инженерно-геологические условия.** Решающее влияние на формирование современных инженерно-геологических условий оказал постгерцинский этап развития от карбона до голоцена включительно. Тектонические движения именно этого периода определили геотектоническое строение региона и характер слагающих ту или иную структуру горных пород, они же заложили основы ре-

льефа, который затем подвергался разрушению под действием различных факторов. В это же время развивались геологические процессы, которые и сейчас имеют большое значение при оценке инженерно-геологических условий той или иной части региона. Это, в первую очередь, выветривание горных пород, карст и различные склоновые процессы.

**Климатические условия.** Урал лежит в глубине материка, удален на большое расстояние от Атлантического океана, что определяет континентальность его климата. Климатическая неоднородность в пределах Урала связана, прежде всего, с его большой протяженностью с севера на юг, от берегов Баренцева и Карского морей до сухих степей Казахстана. Вследствие этого северные и южные районы Урала попадают в разные климатические пояса: субарктический (до полярного круга) и умеренный (остальная территория).

Пояс гор узкий, высоты хребтов относительно небольшие, поэтому свой особый горный климат на Урале не формируется. Однако меридионально вытянутые горы довольно существенно влияют на циркуляционные процессы, играя роль барьера на пути господствующего западного переноса воздушных масс. Поэтому в горах повторяются климаты соседних равнин, но в несколько измененном виде. Таким образом, в пределах Уральской горной страны изменение климатических условий подчинено закону широтной зональности и лишь несколько осложнено высотной поясностью. Здесь наблюдается смена климата от тундрового до степного.

Температурные контрасты между севером и югом особенно резко проявляются летом. В северо-восточной части Пай-Хоя средняя температура июля составляет  $6^{\circ}\text{C}$ , а близ южной границы Урала –  $22^{\circ}\text{C}$ . Зимой различия сглаживаются. Разница средних январских температур между северо-востоком и юго-западом Урала составляет  $6^{\circ}\text{C}$ , а средних июльских между севером и югом –  $16^{\circ}\text{C}$ . Нарастание континентальности в пределах Урала происходит с северо-запада на юго-восток. С широтной зональностью температурных условий связаны продолжительность и время наступления сезонов года.

При всех пересечениях Урала количество осадков на западных склонах на 150–200 мм больше, чем на восточных. Наибольшее количество осадков (свыше 1000 мм) выпадает на западных склонах Полярного, Приполярного и частично Северного Урала. Южнее количество осадков постепенно убывает до 600–700 мм, вновь возрастая до 850 мм в наиболее высоко поднятой части Южного Урала. В южной и юго-восточной частях Урала, а также на крайнем севере годовая сумма осадков составляет менее 500–450 мм. Максимум осадков приходится на теплый период. Зимой на Урале устанавливается снежный покров, мощность которого в Предуралье составляет 70–90 см. В горах мощность снега возрастает с высотой, дости-

гая на западных склонах Приполярного и Северного Урала 1,5–2 м. Особенно обильны снега в верхней части лесного пояса. В Зауралье мощность снега значительно меньше. В южной части Зауралья его мощность не превышает 30–40 см.

В целом в пределах Уральской горной страны климат изменяется от сурового и холодного на севере до континентального и достаточно сухого на юге.

Климатические особенности и орографические условия способствуют развитию на Полярном и Приполярном Урале, между 68° и 64° с. ш., малых форм современного оледенения. Здесь насчитывается 143 ледника, а их общая площадь составляет чуть более 28 км<sup>2</sup>, что свидетельствует об очень малых размерах ледников. Район распространения современного оледенения – это наиболее высокая часть Урала с широким развитием древних ледниковых каров и цирков, с наличием троговых долин и пикообразных вершин. Относительные высоты достигают 800–1000 м.

***Инженерно-геологическая характеристика слагающих регион фаций и геолого-генетические комплексы пород.*** Пайхойско-Новоземельский регион сложен породами палеозойского возраста, от среднекембрийских до нижнепермских, для которых характерно общее северо-восточное простирание, резко несогласное с простиранием рифейских структур Урала. Коренные породы региона представлены преимущественно карбонатными, терригенными, реже вулканогенными формациями палеозоя, образующими геосинклинальный структурный комплекс, состоящий из каледонского и герцинского этажей; в меньшей степени развиты формации интрузивных пород. Это почти исключительно высокопрочные породы, которые могут служить надежным основанием для всех видов строительства. Трещиноватость пород в целом слабая, максимальная трещиноватость отмечается у магматических пород.

Поверхностные отложения региона представлены преимущественно четвертичными образованиями: ледниковыми, водно-ледниковыми, морскими, аллювиальными, элювиальными, делювиальными, коллювиальными, солифлюкционными, а также подземными льдами различного генезиса. Практически все породы с поверхности находятся в многолетнемерзлом состоянии, небольшие таликовые окна возможны лишь под наиболее крупными озерами.

Толща многолетнемерзлых пород подразделяется на три горизонта, существенно различающихся по своим физическим свойствам. Верхний горизонт, сложенный четвертичными отложениями и дезинтегрированными скальными породами, характеризуется высокой льдистостью и удельным электрическим сопротивлением в сотни тысяч омметров. Второй горизонт приурочен к современной коре выветривания, развитой до

глубины 50–70 м. Нижний горизонт, образующий подошву многолетне-мерзлого слоя, характеризуется незначительной льдистостью, присутствием в трещинах легкорастворимых солей.

**Западно-Уральский регион.** Отличительной чертой геологического строения региона является большое разнообразие разновозрастных горных пород в разрезе и их выдержанность на всем протяжении с севера на юг. Отложения каледонского структурного этажа представлены породами метаморфической, карбонатной и терригенной красноцветной формаций. Метаморфические формации здесь включают сложный комплекс песчано-глинистых и карбонатных отложений кембрия и нижнего ордовика, зеленовато-серые, серые и темно-серые серитизированные и серицито-известковистые сланцы, известковистые, кварцевые и кварцитовидные мелкозернистые песчаники нижнего ордовика мощностью более 1000 м; метаморфизованные конгломераты среднего ордовика из галек и валунов гранита с песчаниковым заполнителем мощностью до 300 м. Карбонатную формацию слагают различные известняки и доломиты силурийского возраста (массивные, плитчатые, брекчиевые, углистые, битуминозные, органогенно-обломочные и др.) мощностью до 1100 м. Терригенная формация представлена кремнисто-глинистыми сланцами нижнего силура, имеет мощность 100–150 м и распространена в пределах Лемвинского синклинория. В Вишерско-Чусовском районе имеет распространение терригенная красноцветная формация: песчаники и глинистые сланцы нижнего и среднего девона мощностью до 1400 м, значительно обогащенные железосодержащими минералами, преимущественно гематитом.

Герцинский структурный этаж слагают породы карбонатной, терригенно-карбонатной, угленосной, терригенной и флишевой формаций. В Вишерском районе по р. Язьва, Яйва и другим отложения карбонатной формации представлены известняками и доломитизированными известняками и доломитами. Карбонатная формация каменноугольной системы распространена повсеместно и представлена различными известняками. Наконец, карбонатная формация нижней перми представлена органогенными известняками с кремнистыми включениями и прослоями. Терригенно-карбонатная формация среднего девона распространена в Кизильском районе и в других местах региона и сложена глинистыми листоватыми и тонкоплитчатыми известняками, песчаниками с прослоями кремнистых сланцев. Мощность формации до 300 м. В районе Каратау и Симской впадины эта формация представлена средне-верхнедевонскими серыми и светлыми битуминозными известняками, песчаниками и глинами. Угленосная формация нижнекаменноугольного возраста включает глинистые и углистые сланцы, глины, песчаники и пласты каменного угля. Распространена она к югу от г. Красновишерска и имеет мощность 150–200 м.

Песчаные и песчано-аргиллитовые породы средне-верхнекаменноугольного возраста образуют флишевую формацию.

Наиболее древними из рыхлых отложений являются плиоценовые озерные глины, суглинки, алевриты и пески общей мощностью 30–45 м. Далее следуют нерасчлененные плиоцен-нижнечетвертичные морские и прибрежно-морские супеси и пески, аллювиальные отложения переуглубленных долин рек, аллювий древних надпойменных террас, озерно-аллювиальные и озерно-болотные нижнечетвертичные отложения переуглубленных долин. Среднечетвертичные отложения представлены ледово-морскими и ледниковыми суглинками, супесями и песками с галькой и валунами, и аллювиальными отложениями третьих и четвертых надпойменных террас. Большое разнообразие генетических типов отмечается среди верхнечетвертичных отложений: ледниковые и ледово-морские суглинки, супеси и пески с галькой и валунами и галечники; моренные образования горно-долинного оледенения; аллювиальные и озерно-болотные отложения первой и второй надпойменных террас; делювиальные суглинки и супеси в верхах второй и более высоких террас; гравийно-галечные и песчаные аллювиальные отложения, формирующиеся при оживлении деятельности водных потоков; элювиально-делювиальный покров водораздельных пространств и др.

Широким распространением на территории региона пользуются четвертичные отложения аллювиального генезиса, приуроченные к многочисленным долинам больших, средних и малых рек Урала. Характерным для них является ограниченность в распространении по площади, малая мощность и чрезвычайная изменчивость литологического состава и инженерно-геологических свойств. Делювиально-аллювиальные отложения (балочный аллювий) также достаточно часто встречаются в пределах региона и представлены в основном суглинками и глинами с галькой, гравием и щебнем. Мощность данных отложений до 6–8 м, в естественном залегании они характеризуются плотным сложением.

Четвертичные отложения делювиально-элювиального генезиса слагают большие площади, главным образом, на пологих склонах междуречий и в областях распространения делювиального шлейфа. По литологическому составу это преимущественно различные суглинки и глины. Мощность отложений колеблется от 2 до 5 м и только в исключительных случаях увеличивается до 10–12 м.

В геологическом строении северной части Центрально-Уральского региона принимают участие отложения байкальского и герцинского структурно-тектонических этажей. В состав байкальского структурного этажа входят породы метаморфической формации протерозоя и кембрия: кремнисто-хлоритовые, кварцево-гранитово-сланцевые (роговиковые)

сланцы и амфиболиты. Мощность отложений до 2000 м. Метаморфические формации герцинского структурного этажа представлены кембрийскими слюдистыми кварцитами с подчиненными кварцитовыми конгломератами мощностью 200–300 м; серицитовыми, слюдисто-хлоритовыми, филлитовыми, слюдисто-кварцитовыми и другими сланцами с подчиненными кварцитами и метаморфизованными диабазовыми спилитами и кварцевыми альбитофирами. Мощность данной толщи около 800 м. Здесь же развиты слюдистые мраморы и слюдисто-хлорито-известковые сланцы мощностью 300 м; альбито-серицито-кварцевые сланцы и метаморфизованные аркозовые песчаники мощностью 800–1000 м; зеленые сланцы вулканогенного происхождения с подчиненными хлорито-серицито-кварцитовыми сланцами мощностью до 1200 м.

В составе поверхностных отложений северной части региона выделяют следующие генетические и стратиграфические комплексы: ледниковые и флювиогляциальные отложения зырянского времени, верхнечетвертичные ледниковые флювиогляциальные отложения (валунно-галечные) горно-долинного оледенения, верхнечетвертичные гравитационные и пролювиальные отложения, современные аллювиальные отложения поймы, моренные отложения современных каровых ледников, современные гравитационные, болотные и покровные (проблематичные) отложения междуречий. Наибольшим распространением здесь пользуются породы неогенового возраста. Это отложения кор выветривания на породах палеозоя, а также аллювиальные, делювиальные и пролювиальные отложения, лежащие на размытых миоценовых отложениях.

Из четвертичных отложений здесь наиболее древними являются осадки, слагающие третью надпойменную террасу притоков р. Чусовой, представленные несортированными грубозернистыми песками и крупными галечниками и валунами. Аллювиальные отложения второй надпойменной террасы внизу представлены галечниками (1,5–2 м), переходящими вверх по разрезу в пески и еще выше – в черные иловатые глины. Покрывающие галечники глины имеют мощность 5–8 м, обычно непластичные, являются местным водупором, в силу чего способствуют оползанию вышележащих отложений. Отложения первой надпойменной террасы, как правило, имеют небольшую мощность (2–3 м), суглинистый состав и залегают на породах палеозоя или на верхнечетвертичных глинах и галечниках. Современный аллювий хорошо развит в долинах наиболее крупных рек и представлен бурыми супесями, суглинками, иловатыми глинами с линзами торфа и галечниками в основании разреза.

Горные массивы и хребты на отметках выше 500 м покрыты развалами из глыб, переходящими ниже в элювиальные и делювиальные щебенчатые и щебенчато-глинистые отложения. В южной части региона по-

кровные отложения также представлены преимущественно элювиально-делювиальными образованиями супесчано-суглинистого состава, аллювиальными отложениями террас (пески, суглинки и глины с включениями валунно-галечного материала) и болотными отложениями (торфяники) высокой поймы и низких надпойменных террас.

**Восточно-Уральский регион.** Палеозойская и позднепротерозойская части разреза имеют следующий формационный состав. Байкальский структурный этаж включает переработанные пара- и ортометаморфические породы, ранне- и позднеорогенные интрузивные породы гранитоидного состава, пара- и ортометаморфические сланцы. В составе каледонского структурного этажа развиты также пара- и ортометаморфические и интрузивные формации, связанные с зонами глубинных разломов, интрузии плагиогранитов, эффузивные и граувакковая формации. Герцинский структурный этаж объединяет породы граувакковой и карбонатной формаций.

Своеобразно строение мезокайнозойского структурного этажа. Юрские отложения с размывом и несогласием залегают на геосинклинальных и орогенных образованиях, знаменуя переход Уральской горной страны в платформенную стадию развития. Эти отложения представлены исключительно континентальными образованиями: корами выветривания, пролювиальными, аллювиальными, озёрными и болотными отложениями. Самые древние из них отлагались в киммерийских впадинах и карстовых депрессиях. Строение платформенного структурного этажа в северной части региона можно представить в следующем виде. В основании находятся отложения мезокайнозойской коры выветривания. Далее следуют отложения угленосной формации юрского возраста. Это гравелиты, песчаники, пески, глины, аргиллиты, линзы бурого угля, полимиктовые конгломераты и галечники яныманьинской свиты; плохо сортированные и плохо окатанные гравийные пески, кварцевые и аркозовые, глины, алевролиты и пласты угля тольинской свиты; разнородные пески и алевролиты полимиктового состава с прослоями глауконитово-кварцевых песков и бурого угля оторьинской свиты. Отложения терригенной сероцветной формации представлены толщей серых глин с конкрециями известковистого песчаника. Залегание пород мезокайнозойского структурного этажа определяется рельефом палеозойского фундамента.

Южная часть рассматриваемого региона представлена следующими формациями. Байкальский структурный этаж включает породы гипербазитовой формации (перидотиты, дуниты, гарцбургиты и др.) и формации среднеметаморфизованных пород (осадочных, вулканогенных, туфогенных). Отложения каледонского структурного этажа представлены вулканогенно-осадочной формацией (туфы, реже лавы авгитовых порфиритов, кремнистые сланцы, кварцсодержащие порфириты, альбитофиры), фли-



шевой (обломочный материал), карбонатной (известняки красные, розовые, серые, брекчевидные), габбро-пироксенитовой (пироксениты, габбровые известняки).

Герцинский структурный этаж представлен отложениями флишевой и флишоидной формации; киммерийский – угленосной (сланцеватые глины и глинистые сланцы, пески и слабо сцементированные песчаники, конгломераты, реже глинистые известняки и пласты угля); мезокайнозойской терригенной (глины с линзами песка, рыхлые зеленовато-бурые песчаники) и кремнисто-глауконитовой формацией (шельфовые отложения, глины, конгломераты, аргиллиты и др.).

Среди поверхностных отложений на севере региона наиболее широко развиты морские и ледниково-морские отложения неоген-четвертичного возраста, а также ледниковые, флювиогляциальные и аллювиальные четвертичные отложения. Представлены они всевозможными песками, суглинками, глинами, а также гравийно-галечным материалом и торфом.

Чрезвычайно широким распространением в пределах Восточно-Уральского региона пользуются отложения всевозможных кор выветривания, мощность которых здесь часто составляет несколько десятков метров.

Силурийские отложения, слагающие каледонский структурный этаж, представлены в пределах Магнитогорского региона преимущественно вулканогенными формациями и приурочены к внутренним частям прогиба. В литологическом отношении это глинисто-кремнистые и кремнистые сланцы, вариолиты, диабазы, спилиты, туфы основного состава с пачками кремнистых и кремнисто-углистых сланцев и туфогенных песчаников, субвулканические диабазовые порфириды. Породы сильно смяты, суммарная мощность отложений до 400–600 м.

Силурийские отложения интрузивной формации представлены щелочными, средними и основными интрузивными породами габбрового ряда. Карбонатную формацию слагают массивные и рифогенные известняки и белые мраморизованные известняки. Отложения терригенной формации содержат песчаники, конгломераты, кремнистые и глинистые сланцы. Флишевая и флишоидная формации развиты в межгорных прогибах в виде протягивающихся на многие километры полос шириной 4–5 км по обе стороны хр. Ирэндик. Это продукты размыва в основном андезитобазальтов.

Осадки герцинского структурного этажа представлены главным образом породами карбонатной формации девонского и каменноугольного возраста. Это светло-серые, белые, красные и темные массивные, неясно-слоистые, грубозернистые и кристаллические известняки, известняковые конгломераты, известковистые песчаники. Мощность отложений до

1400 м. Здесь же развиты гранитоидные и щелочные интрузивные массивы, габбровые и ультраосновные породы и серпентиниты.

Основными типами поверхностных отложений Магнитогорского региона являются коры выветривания и различные их дериваты. Проллювиальные и другие отложения (суглинисто-щебнистый меловой пролювий) заполняют впадины юрского рельефа. В составе отложений обнаруживается сложная фациальная смена отложений в направлении сноса. Соответственно в них выделяются пролювиальные, делювиально-озерные, озерные, дельтовые и аллювиальные геолого-генетические типы. Вне долин современной гидрографической сети залегает древний аллювий песчано-галечного состава. Среди покровных отложений неоген-четвертичного возраста наиболее широко развиты аллювиальные, озерные, делювиальные, озерно-аллювиальные и озерно-делювиальные образования, представленные всевозможными галечниками, песками, супесями, суглинками и глинами.

**Главнейшие геологические процессы и региональные закономерности их развития и распространения.** Пайхой-Новоземельский регион. Промерзание надмерзлотных вод вызывает *пучение*, миграция влаги в глинистых породах приводит к возникновению и росту ледяных прослоев и линз льда, наличие блюдцевидных понижений на поверхности четвертичных отложений связано с процессом *термокарста*. *Солифлюкционные процессы* захватывают открытые поверхности в пределах прибрежной равнины и денудационного плато с углом наклона более  $3^\circ$ . Солифлюкционные оползни и оплывины проявляются на склонах круче  $10^\circ$  и сопровождаются перемещением больших масс пород.

На крутых горных склонах разрушение пород идет за счет *морозного выветривания и гравитационных процессов*, что ведет к накоплению щебнисто-глыбового материала, образующего в ложбинах конусы выноса и каменные потоки. Большую опасность представляют *снежные лавины*, возникающие на крутых склонах и действующие с апреля до июля. Из других геологических процессов следует отметить *донную и боковую эрозию по долинам рек и абразионные процессы* на морском побережье, которые действуют в период отсутствия берегового припая.

Давая общую оценку Пайхойско-Новоземельского региона, следует сказать, что инженерно-геологические условия в пределах его территории существенно различные, но повсеместно достаточно сложные. Это определяется положением региона в высоких широтах, наличием ледового покрова, сплошного слоя многолетнемерзлых пород и процессами, соответствующими данной обстановке.

В пределах Западно-Уральского региона достаточно широко развиты различные геологические процессы: в северной половине – *мерзлотные*

процессы, на участках возвышенного, сильнорасчлененного горного рельефа – *обвально-осыпные* процессы и явления. На всей территории отмечены *выветривание горных пород, эрозионные процессы* в долинах рек. Наибольшее развитие на данной территории получил *карст*. Инженерно-геологические условия Западно-Уральского региона определяются, в первую очередь, характером рельефа и строением поверхностных отложений. Наиболее благоприятные для строительства условия наблюдаются в полосе Среднего и Южного Урала, хотя в пределах всего региона они довольно однообразные и несложные. Поверхностные отложения здесь имеют малую мощность и повсеместно подстилаются скальными горными породами, являющимися надежным основанием для всех видов строительства. Их несущая способность определяется степенью выветрелости и тектонической нарушенностью. Все эти обстоятельства и практически повсеместное обеспечение территории различными строительными материалами позволяют считать инженерно-геологические условия региона достаточно простыми для строительства.

**Центрально-Уральский регион.** Горные склоны часто покрыты террасами солифлюкционного происхождения, которые на местности выделяются натечными накоплениями – результат *солифлюкционного оплывания пород*. Развитие солифлюкционных террас характерно для западных склонов, где отмечается большее скопление снега, хотя встречаются они и на восточных склонах (подножие г. Неройка и др.). Из других мерзлотных явлений отмечается наличие *торфяных бугров с мерзлыми ядрами*.

Результатом процессов *выветривания* в северной части региона является широкое распространение здесь скоплений крупных обломков горных пород. Каменный материал находится в состоянии медленного сползания вниз по склону. Здесь же известны *селевые процессы*. Возникновение селей происходит в наиболее возвышенных районах, как правило, лишенных древесной и кустарниковой растительности, где выпадает значительное количество атмосферных осадков.

В полосе Среднего Урала среди современных геологических процессов следует отметить *выветривание горных пород и карст*. Наиболее мощные коры выветривания развиты по зонам трещиноватости, где они прослеживаются на глубину в несколько десятков метров. Образующийся на склонах элювий легко смещается по склону в результате *делювиальных и коллювиальных процессов*, поэтому провести границу между элювием и склоновыми отложениями обычно бывает трудно.

В связи с широким развитием известняков и доломитов палеозоя в данной части региона имеются условия для развития *карста*. Карстовые процессы сказались в морфологии долин и в исчезновении водотока рек на отдельных участках долин. В известняках долины приобретают каньонооб-

разный характер. Карст развит преимущественно в полосе развития девонских и каменноугольных известняков. В целом инженерно-геологические условия Центрально-Уральского региона достаточно простые.

Важной инженерно-геологической особенностью Восточно-Уральского региона является развитие здесь *карстовых процессов*. Широкое развитие имеет древний карст – это различные полости, выполненные бокситами, бурым железняком, сильное расчленение древнего рельефа, погребенного под корами выветривания и отложениями мезозоя и кайнозоя. Современный карст формируется с конца палеогена, частично регенерируя древний карст.

Широкое развитие на рассматриваемой территории имеют явления, связанные с *физическим выветриванием пород*, что обусловлено значительной континентальностью климата. *Каменные потоки* развиты очень широко на склонах крутизной от 10° и больше. *Осыпи* представляют собой конусовидные или плащевидные наложения обломочного материала у подножий крутых склонов.

**Магнитогорский регион.** Влияние унаследованных тектонических движений структур проявилось в совокупном действии *процессов выветривания и денудации горных пород*, повышенные формы рельефа возникали в местах выхода на поверхность относительно более прочных пород (кварциты, интрузивные породы, прочные известняки), а пониженные формы – в местах распространения менее прочных пород (сланцы, мергели, песчаники). Широкое распространение в пределах Магнитогорского региона карбонатных пород явилось предпосылкой для развития *карста*. Карстовые процессы способствовали перестройке речной сети, образовали значительные впадины, частью превратившиеся в озера, придали ряду долин «слепой характер».

Из других современных процессов можно отметить *грязевой (сопочный) вулканизм*. Наиболее хорошо он выражен на пологом моноклиналином крыле Уртазымской синклинали, сложенной туфами, туфо-песчаниками и туффитами улутауской свиты среднего девона. Среди продуктов извержения в сопочной грязи имеются обломки кварцитов, альбитофиров, диабазов, гальки, кварца и яшм, бурого железняка. Это явление объясняется напором трещинных вод в песчано-глинистых породах плиоцен-четвертичного возраста.

В целом инженерно-геологические условия Магнитогорского региона достаточно простые, и это благоприятствует строительству и эксплуатации различных сооружений.

**Опыт строительства и изменение инженерно-геологических условий в связи с различными видами строительства.** Основаниями сооружений в условиях Урала в большинстве случаев служат элювиальные

образования и реже делювиальные, аллювиальные и озерно-болотные отложения. Более 70 % зданий и сооружений в таких крупных городах, как Екатеринбург, Магнитогорск, Челябинск, Нижний Тагил и других построено на элювиальных грунтах.

Во избежание пучения пород в основании сооружений необходимым условием является соблюдение при строительстве требований к глубине заложения фундаментов. Большинство видов элювиальных грунтов подвержено разрушению природной структуры под влиянием атмосферных воздействий. Поэтому простои котлованов, вызывающие промораживание грунтов зимой, недопустимы и в летнее время.

Уменьшение воздействия неравномерных осадок оснований фундаментов на здания и сооружения, возводимые на неравномерно сжимаемых, в том числе слабых водонасыщенных грунтах, в практике строительства на Урале достигается следующими мероприятиями:

1) устройством под фундаментами распределительных песчаных или щебнистых подушек на расчетную глубину с послойной укладкой и тщательным уплотнением слоев;

2) применением конструкций зданий и сооружений, специально приспособленных к неравномерным осадкам (прежде всего, это выравнивание расчетных осадок путем варьирования размеров подошвы фундаментов, т. е. величиной расчетного давления и их глубиной заложения).

При строительстве на слабых водонасыщенных грунтах, а также на элювиальных образованиях с «карманами» выветривания, заполненных глинистыми грунтами пластичной консистенции, применяется метод постепенной передачи давлений на основание. Давление, способствуя равномерному отжатию поровой и свободной влаги из грунтов основания в менее нагруженные области, создает более благоприятные условия для равномерной, хотя и значительной по величине осадки фундаментов. Широко используются свайные фундаменты, как забивные, так и набивные.

Массовый характер на всех дорогах Урала имеют деформации откосов (размывы откосов, сплывы и оползни). На неукрепленных откосах поверхностные деформации развиваются всюду. Укрепление откосов, которое производится одерновкой, покрытием песком, асбестовой крошкой и шлаком, не всегда обеспечивает их устойчивость. Одним из высокоэффективных мероприятий для осушения и укрепления откосов земляного полотна является применение активного биологического дренажа, травяного покрова.

При разработке месторождений подземным способом применяются преимущественно системы слоевого, массового обрушения покрывающих и вмещающих пород. Особенностью многих угольных и медноколчеданных месторождений Урала является склонность руд и углей к самовозго-

ранию, что создает опасность подземных пожаров. В целях противопожарной профилактики на таких месторождениях применяется заиливание пожарных зон густой сетью глинистой пульпы по всей площади месторождения и на всю глубину.

Для предотвращения и снижения опасности горных ударов применяется ряд мероприятий – первоочередная выемка защитных пластов и переход на вскрытие и разработку пластов полевыми штреками, увеличение скорости продвижения забоев, применение более эффективных совершенных видов крепи.

При проведении горных работ открытым способом важнейшее инженерно-геологическое значение приобретают вопросы устойчивости пород в откосах карьеров. Устойчивость откосов обеспечивают установкой железобетонных свай, металлических и железобетонных штанг. Наиболее эффективным способом стабилизации крупных оползней оказалась отсыпка контрфорсов из твердых пород, иногда в сочетании с дренажем.

Наиболее надежным и экономичным способом борьбы с обвалами является сооружение уширенных предохранительных берм через 30–60 м, на которых возводятся предохранительные барьеры. Приемлемо также штанговое крепление и укрепление бортов стальными сетками.

## **2.5. Алтае-Саянская горно-складчатая система**

### ***Определение границ и экономико-географическая характеристика.***

Алтае-Саянская горная страна в рассматриваемых границах охватывает горные сооружения Кузнецкого Алатау, Западного и Восточного Саянов, Танну-Ола, Сангилена и хр. Академика Обручева и разделяющие их впадины Минусинского и Тувинского прогибов.

Промышленный потенциал региона определяется колоссальными энергетическими ресурсами р. Енисей и Чулыма. Сооружены Красноярская ГЭС, Саяно-Шушенская ГЭС, создан крупный промышленный комплекс в Абакан-Минусинском районе. Наличие дешевой электроэнергии обусловило развитие мощного глиноземно-цементного производства.

Улучшаются транспортные условия региона. Построены железнодорожные линии Новокузнецк-Абакан и Абакан-Тайшет, автомобильные дороги Абакан-Ак-Довуракэ, Абакан-Красноярск и др. Степи Минусинских впадин имеют большое значение в сельском хозяйстве Восточной Сибири. Еще более возрастет роль Минусинских степей после осуществления гидромелиоративных работ.

***Историко-геологическое развитие территории и его влияние на инженерно-геологические условия.*** Наиболее древними геологическими образованиями региона являются гнейсы, амфиболиты, кварциты и миг-

матиты архея, образующие относительно небольшие массивы в Центральной части Восточного Саяна (Бирюсинская серия, Шарыжалгайская и Слюдянская толщи).

В течение всего протерозоя тектоническую жизнь региона определял геосинклинальный режим, накапливались мощные осадочные толщи, которые затем, в период байкальской и каледонской складчатости, были значительно метаморфизованы. Отложения протерозоя слагают обширные территории в Восточном Саяне, они известны в Кузнецком Алатау и Сангилене. В Кузнецком Алатау ниже- и среднепротерозойские образования представлены кристаллическими сланцами, гнейсами, амфиболитами, кварцитами и мраморами, прорванными крупными гранитоидными интрузиями. В нижнепротерозойских разрезах Сангилена одинаково важную роль играют разнообразные гнейсы, кварциты и мраморы.

Нижнепротерозойское время характеризуется активной интрузивной деятельностью, особенно в Восточном Саяне, где происходило внедрение гранитоидов преимущественно в виде пластовых тел, представленных слюдоносными гранитами и мощными зонами мигматитов. Огромную роль в геологической истории региона сыграл последующий геосинклинальный этап, начавшийся с позднего рифея и завершившийся в нижнем палеозое: в течение его были сформированы главные складчатые структуры Алтае-Саянской области. Стратиграфическое расчленение метаморфизованных докембрийских толщ этого комплекса, обычно лишенных органических остатков, представляет большие трудности.

В Кузнецком Алатау к рифею отнесены отложения енисейской свиты, представленные доломитами и доломитизированными известняками с горизонтами кварцитов и кремнистых сланцев и с редкими телами зеленокаменных эффузивов. Мощность свиты превышает 3000 м. Конец протерозоя важен для понимания инженерно-геологических закономерностей, прежде всего, потому, что к этому времени в осевой части Восточного Саяна возникли крупные складчатые структуры Восточного Протеросаяна – части региона, сложенного наиболее древними и наиболее глубоко метаморфизованными породами. На остальной территории по-прежнему существовал геосинклинальный режим и происходило накопление нижнекембрийских осадков – образований, широко распространенных в Алтае-Саянской стране.

Во второй половине нижнего кембрия (ленский ярус) во всех районах накапливались толщи карбонатных пород, преимущественно разнообразных известняков с незначительными прослоями кремнистых сланцев, песчаников и туфогенных пород. Мощность этой карбонатной фор-

мации различна: от 1800–2000 м в геоантиклинальных зонах до 4000 м в геосинклинальных.

На территории Западного Саяна геосинклинальный режим сохранился вплоть до раннего силура. За это время здесь накопилась мощная флишоидная толща песчано-сланцевых пород: преимущественно полимиктовых песчаников, филлитизированных глинистых и хлорит-серицитовых сланцев, алевролитов. Таким образом, в строении рифей-нижнепалеозойской Алтае-Саянской области могут быть выделены складчатые зоны различного возраста и времени консолидации, с неодинаковой историей развития и, следовательно, с различным набором осадочных и магматических формаций: докембрийская (Протеросаян), салаирская (Восточный Саян, Кузнецкий Алатау, северный фас Западного Саяна, Восточная Тува) и каледонская (Западный Саян). Рубежи эти чрезвычайно важны в инженерно-геологическом отношении, так как знаменуют собой качественные изменения в строении и состоянии скальных массивов.

Начало палеозойского орогенного этапа развития области ознаменовалось накоплением вулканогенных и вулканогенно-терригенных толщ нижнего девона и низов среднего девона (быскарская серия), пространственно связанных с Минусинскими и в меньшей степени Тувинской впадинами. Наиболее типичны породы быскарской серии — диабазы, разнообразные порфириды, вулканические брекчии и туфы общей мощностью 1000–2000 м. Вулканогенный комплекс пород образует нижний структурный ярус межгорных прогибов. Накопление его происходило в условиях глыбовых опусканий крупных блоков складчатого фундамента, ограниченных региональными разломами, к которым и были приурочены излияния эффузивов.

В течение следующего этапа, начавшегося в живетском веке среднего девона и закончившегося в перми, произошло формирование осадочного средне-верхнепалеозойского чехла, оформились впадины в виде тектонических и морфологических депрессий. В разрезе чехла снизу вверх выделяются молассовая, туфогенно-терригенная и угленосная формации.

Молассовые красноцветные толщи живетского, франского и фаменского ярусов представлены песчаниками, гравелитами и конгломератами, которые во внутренних частях впадин замещаются алевролитами и аргиллитами. Начиная с нижнего карбона в регионе изменился режим осадконакопления. Началась каменноугольная морская трансгрессия, в ходе которой в условиях выравнивания рельефа, на фоне равномерных опусканий накопилась мощная толща (1000–1200 м) сероцветных доугленосных пород, стратиграфически отвечающая турнейскому и значительной части ви-



зейского ярусов, представленная туфами, туффитами, туфопесчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями известняков.

В течение кайнозоя сформировались современный рельеф и рыхлый покров территории, возникли климатическая зональность и поясность, мерзлота и современные бассейны грунтовых вод.

Формирование современного рельефа и покрова рыхлых отложений Алтае-Саянской горной страны началось в конце мезозоя, когда активные тектонические движения юрского периода сменились относительным тектоническим спокойствием и решающую роль в формировании и преобразовании рельефа приобрели экзогенные процессы. Интенсивные процессы денудации привели к уничтожению ряда горных вершин и хребтов. Таким образом, в целом Алтае-Саянский регион представлял собой горную страну, в значительной мере расчлененную гидрографической и овражно-балочной сетью. Абсолютная высота поверхности постепенно понижалась к северу и северо-востоку. Положение основных речных долин, существовавших в то время, сохранилось без существенных изменений до сих пор.

В конце мелового периода, а может быть, и ранее, на всей территории установился жаркий и влажный тропический климат. Сочетание рельефа и климата создало условия для широкого развития кор выветривания.

В течение палеогена климат всей территории в целом изменился в сторону некоторого похолодания: тропический сменяется субтропическим, а на площади, где ранее существовали субтропики, устанавливается теплый климат.

На следующем этапе направленность процессов изменяется: рыхлые продукты выветривания переносятся и концентрируются в котловинах, а на склонах и водоразделах на поверхность выводятся неизменные скальные породы, сформированные на ранних докайнозойских этапах развития территории, происходит эрозионное расчленение поверхности и усложнение ее строения. В то же время во впадинах накапливаются преимущественно глинистые породы, происходит уплотнение их, на днищах впадин формируются водоупорные покровы. Этот процесс связан с одновременной нивелировкой рельефа впадин и созданием обширных седиментационных равнин.

К середине палеогена относится наиболее важный этап кайнозойского тектогенеза, связанный с частичной перестройкой и значительным усложнением структур, четким обособлением и специализацией морфоструктур, а также с циклом интенсивной эрозии и перерыва в осадконакоплении. В результате образовался сложно построенный рельеф, началось формирование крутых склонов, благоприятных для развития экзогенных процессов и зон дробления в массивных породах, а также накопление преимуще-

ственно грубообломочных отложений. Последующие периоды затухания тектонических движений сопровождались постепенной сменой грубообломочных отложений более тонкими осадками.

История развития Алтае-Саянской горной страны в течение палеогена и неогена и формирующихся в это время отложений определяется постепенным снижением роли тектонических факторов, активным проявлением вулканизма на востоке региона и возрастанием значения климатических факторов. Преобладает снос выветрелых пород со склонов и водоразделов и накопление их в ограниченных по площади межгорных котловинах. Впадины, в отличие от склонов, покрылись мощным чехлом рыхлых слоистых отложений.

В раннеплейстоценовый этап произошли относительные перемещения отдельных блоков, которые усложнили строение морфоструктур высоких порядков. В климатическом отношении рассматриваемый период представляет эпоху прогрессирующего похолодания и значительного иссушения климата. Произошло растрескивание пород, на их поверхности формировались глыбовые, щебнистые и дресвяные (в зависимости от состава пород) россыпи, на склонах и в основании образовались осыпи и шлейфы обломочных отложений. Создались неблагоприятные условия для миграции железа в растворах, в результате чего происходит его выпадение в осадок. Породы приобретают характерный бурый цвет.

В результате прогибания Минусинских впадин на их территории началось формирование преимущественно озерных и озерно-аллювиальных глинистых осадков, продолжающееся до среднечетвертичного времени.

На востоке региона активно продолжали действовать вулканы: происходили как лавовые, так и пепловые извержения. Максимальные мощности лавовых потоков в долине р. Бий-Хем достигают 140 м, но в большинстве случаев – 10–40 м.

Средне-верхнеплейстоценовый этап характеризуется резким уменьшением тектонической активности. В климатическом отношении средне-верхнеплейстоценовый этап отличается резким похолоданием и появлением в наиболее высоких частях территории ледников, которые, постепенно разрастаясь, спускаются по долинам и заполняют отдельные межгорные впадины. Наиболее крупные центры оледенения возникли в горных узлах, расположенных на стыке хребтов Академика Обручева и Восточного Саяна, в районе хребтов Шапшальского, Цаган-Шибету и на примыкающей к ним части хр. Западный Танну-Ола.

В межледниковые эпохи идет формирование аллювиальных, делювиально-пролювиальных и озерных отложений, причем повсеместно от-

мечается более тонкий состав отложений по сравнению с ледниковыми эпохами.

В восточной части Алтае-Саянской области в течение среднего – верхнего плейстоцена продолжается вулканическая деятельность. Вулканическая деятельность в течение этого периода постепенно затухает и к началу голоцена, по-видимому, прекращается.

Таким образом, общая направленность геологических процессов средне-верхнечетвертичного времени в зоне оледенения сводилась к накоплению мощных, но неравномерно распределенных в пространстве грубообломочных, преимущественно водоупорных толщ, перекрывающих как днища всех отрицательных форм рельефа (впадин и долин), так и коренные склоны и плоские водоразделы, и к сглаживанию в результате экзарационной деятельности ледников резких форм рельефа. Во внеледниковой зоне накапливались сложно построенные аккумулятивные толщ, причем обязательным элементом этих толщ являются горизонты грубообломочного материала.

Голоценовый этап характеризуется продолжающимся снижением тектонической активности. Голоценовый этап отличается от предыдущего значительным потеплением. Площадь оледенения уже к началу голоцена резко сократилась, и оледенение перестало оказывать существенное влияние на развитие экзогенных процессов. Новым фактором явилось развитие вечной мерзлоты. Мощности отложений, сформированных в течение голоцена, обычно измеряются первыми метрами.

***Инженерно-геологические формации и геолого-генетические комплексы.*** В Алтае-Саянском регионе устанавливаются совершенно определенные ряды геологических формаций, отвечающие основным этапам тектонического развития складчатой системы. Наиболее широким распространением в регионе пользуются геосинклинальные формации. Большие площади, особенно в палеозойских впадинах, занимают орогенные формации; геологические формации платформенного типа развиты ограниченно. Для региона характерны крупные многочисленные массивы интрузивных пород. Преобладают массивы гранитоидного состава, меньшим распространением пользуются гипербазиты.

С инженерно-геологических позиций существенно различны гранитоидные интрузии докембрийского возраста и палеозойские массивы гранитов. Первые, наиболее характерные для центральной части Восточного Саяна и Сангилены, обычно залегают согласно с вмещающими породами и имеют с ними тектонические контакты; для вторых, наиболее распространенных в салаиридах, характерны интрузивные контакты с вмещающими породами.

Наиболее древние геосинклинальные формации архея и протерозоя, известные в Протеросаяне, Сангилене, Кузнецком Алатау, Туве, Горном Алтае и на Салаире, представлены метаморфическими комплексами. Рифей-вендские формации существенно отличаются от более древних. Они представлены слабо метаморфизованными карбонатными, терригенными и вулканогенно-осадочными комплексами пород, близкими по строению и характеру катагенетических преобразований толщам нижнего кембрия.

Наиболее разнообразны по составу и строению палеозойские геосинклинальные формации: вулканогенные, карбонатные, зеленокаменная, вулканогенно-осадочная, сложенная подводными излияниями эффузивов основного состава, переслаивающимися с терригенными морскими отложениями, терригенная, разрез которой слагают песчаники, алевролиты и аргиллиты.

В целом же для ранних каледонид региона более типичны вулканогенные толщи, а для поздних – мощные терригенные. Породы геосинклинальных формаций сложно дислоцированы, смяты в напряженные складки. Инженерно-геологические свойства слагаемых ими массивов в значительной степени зависят от выветрелости пород и их тектонической нарушенности.

Орогенные формации известны в регионе с конца среднего кембрия. Наиболее типичные орогенные формации распространены в Минусинских впадинах, Тувинской впадине, в Горном Алтае и на Салаире. Здесь повсеместно их разрез начинается вулканогенной или вулканогенно-осадочной толщей пород девонского возраста, представленной основными или кислыми эффузивами, часто чередующимися с конгломератами, песчаниками и алевролитами. В Минусинской, Тувинской, Кузнецкой впадинах, в Томь-Колыванской зоне докайнозойский разрез завершается терригенными угленосными формациями юры.

В заключение подчеркнем, что закономерности размещения геологических формаций, существенно разных по строению, степени метаморфизма и литификации, инженерно-геологическим особенностям, позволяют и в инженерно-геологических целях различать области байкальской, салаирской, каледонской, герцинской складчатости, наложенные и унаследованные палеозойские и мезозойские впадины.

Кайнозойские горные породы представлены комплексами скальных вулканогенных образований, сосредоточенных в восточной части Алтае-Саянского региона, и нескальных осадочных несцементированных грунтов, в составе которых по условиям залегания и инженерно-геологическим особенностям различают палеоген-неогеновые отложения, приуроченные главным образом к многочисленным межгорным впадинам, и четвертич-

ные накопления, неравномерно распределенные на всех элементах рельефа. Вулканогенный комплекс представлен туфогенно-осадочными и эффузивными породами. Эффузивы представлены в основном базальтами, образующими сплошные покровы и потоки. Мощность базальтов достигает 700 м, в направлении на запад и восток она снижается до нескольких десятков и первых метров.

Комплекс раннекайнозойских кор выветривания и продуктов их переотложения чаще всего датируется мел-палеоценом. Он устанавливается во всех частях Алтае-Саянского региона. В составе комплекса различают собственно коры выветривания и осадочные образования, сложенные продуктами перемыва и переотложения выветрелого материала.

Комплекс озерных, озерно-аллювиальных и болотных отложений в эоцен-олигоценовой части разреза представлен пачками алевритов с прослоями глин, песков и гумусированных глин с конкрециями лимонита, сменяющимися вверх по разрезу глинами, иногда песчанистыми или содержащими гальку. В нижнем-среднем миоцене формируются преимущественно озерные плотные карбонатные глины с прослоями и линзами мергелей и известняков, которые могут быть слабо гипсоносными, а иногда, в краевых частях впадин, замещаться песками, галечниками и конгломератами.

Комплекс четвертичных ледниковых отложений состоит в основном из морен средне- и верхнеплейстоценового возраста, в меньшей мере из морен голоценовых, камовых и озовых формирований. В составе морен преобладает грубообломочный материал – глыбы, щебни, валуны, галька, песок.

Комплекс плейстоценовых водно-ледниковых (флювиогляциальных, озерно-ледниковых отложений) близок по составу к моренам, отличаясь грубослоистым строением, меньшим содержанием глинистого материала и большим – песчаного.

Комплекс аллювиальных отложений плейстоценового, голоценового, а иногда и плиоценового возраста слагает речные террасы, реже принимает участие в строении равнин в межгорных впадинах. Это преимущественно песчано-галечные образования с прослоями суглинистого, реже глинистого, материалов.

Комплекс лёссовидных покровных суглинков плейстоценового возраста встречается только на севере Алтае-Саянской горной страны в пределах Салаирского, Кузнецкого и Минусинского регионов.

Комплекс склоновых и элювиальных отложений голоценового возраста представлен делювиальными, пролювиальными, делювиально-пролювиальными, осыпными, обвальными, элювиальными, солифлюкци-

онными и другими, в том числе и смешанными, типами образований. В их составе преобладают обломки, глыбы, щебень, в разных пропорциях сочетающиеся с полуокатанными и окатанными обломками, суглинками, дресвой и гравием, глиной.

**Гидрогеологические условия.** Алтае-Саянский инженерно-геологический регион по своему гидрогеологическому строению отвечает единой гидрогеологической складчатой области, представляющей собой сложную систему гидрогеологических, криогидрогеологических и криогеологических массивов с мелкими артезианскими и адартезианскими бассейнами.

Гидрогеологические массивы, сложенные осадочными и метаморфическими породами докайнозойского возраста и интрузивными породами, содержат трещинно-поровые воды зоны трещиноватости скальных пород, трещинно-карстовые воды в районах развития карбонатных разностей и трещинно-жильные воды зон тектонических нарушений.

Наиболее развиты по площади воды зоны приповерхностной трещиноватости, на большей части территории, имеющей мощность не более 100 м, но иногда достигающей 150 м и более. Глубина залегания трещинных вод изменяется от долей до 50–60 м.

Трещинно-карстовые воды широко распространены в Саяно-Сангиленском регионе и на Кузнецком Алатау в карбонатных толщах нижнего кембрия и верхнего протерозоя. В зависимости от рельефа местности и степени закарстованности пород трещинно-карстовые воды встречаются на глубине до 400 м и образуют различные и весьма неустойчивые во времени скопления в известняках, мраморах, доломитах. Дебит родников, достигающий 600 дм<sup>3</sup>/с, а иногда и более, может резко изменяться во времени.

Трещинно-жильные воды, приуроченные к зонам тектонических нарушений, часто выходят на поверхность в виде восходящих родников с дебитом до 5–10 дм<sup>3</sup>/с, а дебиты скважин достигают 50 дм<sup>3</sup>/с. От других типов вод отличаются минерализацией и солевым составом: встречаются гидрокарбонатные натриево-кальциевые и гидрокарбонатные натриевые, сульфатные натриевые, сульфатно-хлоридные натриевые, азотные кремнистые, сероводородные воды. Обычно это холодные, иногда термальные воды, пресные, солоноватые с минерализацией до 3 г/дм<sup>3</sup>, реже соленые. В них чаще, чем в других типах вод, встречаются агрессивные по отношению к бетону и металлам воды.

На территориях с прерывистым развитием многолетнемерзлых горных пород могут присутствовать участки как гидрогеологических, так и криогидрогеологических массивов со всеми присущими им особенностями. В криогидрогеологических массивах поровые и трещинные воды мо-

гут быть встречены только в сезонно-талом слое пород, в подрусловых и подозерных таликах, а также в таликах, приуроченных к интенсивно закарстованным участкам и зонам тектонических нарушений.

Воды сезонно-талого слоя имеют локальное распространение и незначительную мощность, питание их происходит за счет оттаивания многолетнемерзлых пород и атмосферных осадков, движение осуществляется по мерзлому водоупору вниз по склону нагрузка в виде источников и пластовых выходов у подножия склонов и террас.

Таликовые зоны – коллекторы подземных вод. Их питание происходит за счет атмосферных осадков и поверхностных вод, области питания, движения и разгрузки часто совпадают. С таликовыми зонами, приуроченными к закарстованным участкам тектонических нарушений, часто связаны крупнодебитные, а иногда и термальные источники.

Адартезианские бассейны приурочены к межгорным впадинам, в строении которых наряду с рыхлым покровом принимают участие отложения древних скальных пород. В них развиты как поровые и порово-пластовые, так и трещинно-пластовые и трещинные воды. Поровые и порово-пластовые воды приурочены к кайнозойским отложениям различного генезиса и возраста и по своим характеристикам не отличаются от таких же вод артезианских бассейнов. Трещинно-пластовые – приурочены преимущественно к мезозойским породам, в разрезе которых наиболее водообильны угленосные отложения, прослой гравелитов и конгломератов. Дебиты скважин в них достигают 4 дм<sup>3</sup>/с.

В долинах крупных рек водоносные горизонты мощностью 2–7 м приурочены к аллювиальным пескам и галечникам, глубина их залегания изменяется от 0,5–8 м на поймах до 5–12 м на низких террасах и до 15–30 м, а иногда и больше, на средневысоких и высоких террасах.

Подземные воды озерно-аллювиальных отложений приурочены к песчано-гравийно-галечниковым пачкам, залегающим на глубине 10–25 м или к прослоям и линзам песков, залегающим среди водоупорных пород на различной глубине. Часто они имеют спорадический характер, во многих случаях обводнены незначительно. Дебиты скважин, вскрывающих воды озерно-аллювиального комплекса, не превышают долей литра в секунду.

Подземные воды делювиально-пролювиальных и аллювиально-пролювиальных образований, слагающих предгорные шлейфы и конусы выноса, встречаются на глубине 5–50 м. Водоносность пород крайне неравномерна, преобладают слабОВОдоносные породы, но в отдельных случаях отмечаются выходы родников с дебитами до 5 дм<sup>3</sup>/с.

Важные инженерно-геологические особенности подземных вод Алтае-Саянского региона изучены недостаточно. Особенно плохо исследована агрессивность подземных вод. Имеются указания на изменения агрессивности грунтовых вод и верховодки в зависимости от сезона. Трещинные воды могут значительно осложнять проходку горных выработок при разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, а подземные воды межгорных впадин затруднить сооружение котлованов, карьеров и подземных горных выработок.

***Инженерно-геологические процессы и явления.*** Характер современных геологических процессов Алтае-Саянского региона определяется морфоструктурными особенностями территории, широким распространением скальных пород, залегающих непосредственно на дневной поверхности или под маломощным покровом обломочных образований, широким развитием многолетнемерзлых и сезонномерзлых пород, ландшафтно-климатическими особенностями и, в меньшей мере, современной тектонической активностью. В регионе развиты криогенные, гравитационные, эрозионные, эоловые, сейсмогенные, карстовые процессы, но относительная роль их в преобразовании рельефа, формировании отложений и воздействии на инженерные сооружения не одинакова, наиболее широко развиты разнообразные криогенные процессы. По масштабам возможных разовых разрушений на первом месте находятся сели, лавины и землетрясения.

В целом Алтае-Саянский регион относится к областям повышенной тектонической активности: землетрясения возможны на всей его территории. Здесь часты землетрясения различной силы, достигающие иногда 8–10 баллов. Наибольшая частота и мощность землетрясений приурочены к субширотной полосе, проходящей вдоль южной части территории. По мере продвижения на северо-восток частота и интенсивность землетрясений убывает. Наиболее опасны по частоте и силе возможных землетрясений зоны, примыкающие к глубинным разломам, и участки, расположенные на пересечении тектонических зон, возникших в каледонскую и герцинскую эпохи. Так, повышенной сейсмичностью характеризуется зона вдоль сброса Тырган, отделяющего Салаир от Кузнецкого прогиба. Основная масса эпицентров зафиксированных землетрясений образует сейсмические пояса: субмеридиональный, приуроченный к хребтам Цаган-Шибету и Шапшальскому, и северо-восточный, включающий хребты Горного Алтая, Танну-Ола, Куртушубинский и Восточный Саян. Первый пояс характеризуется более частыми и более слабыми землетрясениями. Прогнозы сейсмологов позволяют ожидать для наиболее активных сейсмогенных райо-



нов землетрясений 15-го энергетического класса с периодом повторения на площади 10 тыс. км<sup>2</sup> в 35–40 лет.

Криогенные процессы и явления, тесно связанные с слоем сезонного промерзания и оттаивания или с протаиванием многолетнемерзлых горных пород, наиболее активны в районах островного развития многолетнемерзлых пород, т. е. на площадях, где мерзлота неустойчива. Высотное положение рельефа – ведущий фактор, определяющий районы проявления криогенных процессов, по которому устанавливают их пояс развития. Верхняя граница пояса располагается примерно на уровне средне-многолетней снеговой границы, а положение нижней изменяется в разных районах и улавливается с трудом, так как с понижением высоты активность одних криогенных процессов снижается быстрее, других – медленнее, а третьи характерны только для сравнительно малых высот.

Условия развития и вид доминирующих криогенных процессов зависят также от крутизны горных склонов и наличия на них рыхлых образований. На самых крутых склонах, лишенных, как правило, рыхлого покрова, развиваются преимущественно морозное растрескивание и криогенное выветривание пород, на более пологих склонах с рыхлым покровом – курумы, солифлюкция, внутригрунтовый вынос. Плоскогорья, нагорные террасы, речные долины и межгорные впадины, закрытые чехлом рыхлых пород, представляют собой площади наиболее активного и многообразного проявления криогенных процессов, причем различия в их характере и интенсивности возникают в зависимости от наличия или отсутствия многолетнемерзлых пород, строения криолитозоны и приуроченности этих поверхностей к тому или иному высотному поясу. Для высокогорных плоскогорий характерны каменные полигоны, морозная сортировка, криогенное заболачивание, различные формы пучения. Для речных долин на первом месте – наледообразование, бугры пучения, термокарст, а иногда и термоэрозия. В высокорасположенных межгорных впадинах могут быть встречены практически все известные виды криогенных процессов; типичный пример – Чуйская впадина.

Лавины и сели наиболее характерны для высокогорных районов, но довольно часты и в среднегорье. Закономерна сравнительно низкая пораженность ими западных частей региона по сравнению с восточными: на Горном Алтае районы с высокой лавинной и селевой опасностью распространены ограниченно, а на Восточном Саяне их очень много. Основные очаги питания селей расположены в нивальной зоне, главным источником питания являются морены, а в среднегорье – и продукты выветривания коренных пород. В селевых потоках доля твердого материала составляет от 10–15 до 60–70 %, объем разового (в течение десятков минут) выноса в

низовья селевых русел составляет десятки и сотни тысяч кубических метров твердого материала.

Обвальнo-осыпные процессы наиболее характерны для высокогорных районов, делювиально-пролювиальные – типичны для средне- и низкогорья.

Мощности осыпей и обвалов зависят от состава пород, условий их залегания и характера рельефа. Наиболее активны склоновые процессы в зоне тектонических нарушений, особенно на узлах пересечения разломов. В долинах крупных рек в пределах межгорных впадин наряду с обвальнo-осыпными явлениями известны оползни.

Широко распространены карстовые явления, встречающиеся практически повсюду, где развиты карбонатные формации. Карстовые пещеры и воронки во многих случаях представляют собой докайнозойские образования: в некоторых из них найдены раннекайнозойские отложения. Это позволяет считать, что преобладающим развитием в Алтае-Саянском регионе пользуется древний карст, но развитие карстовых форм продолжается и в настоящее время: группы современных воронок и карстовых озер располагаются в верховьях р. Китоя, современное карстообразование отмечается на Горном Алтае, в Восточном Саяне. Широкое развитие мерзлоты в горных районах несколько снижает скорость выщелачивания карбонатных пород, но не прекращает процесса карстования.

Эоловые процессы наиболее широко развиты в межгорных впадинах: в Чуйской, Тувинской и Южно-Минусинской котловинах они приводят к выдуванию почв и пыльным бурям. Просадочные явления известны в лесовидных покровах Салаира, Томь-Колываньской возвышенности, Кузнецкой и Минусинской впадин. Во впадинах Горного Алтая развито засоление почв и грунтов.

В числе геологических процессов надо отметить современное оледенение: на территории Алтае-Саянского региона установлено более 1300 ледников общей площадью более 980 км<sup>2</sup>.

Помимо рассмотренных на территории Алтае-Саянского региона развиваются антропогенные процессы, особенно в районах интенсивной хозяйственной деятельности. Наиболее часты нарушения криогенной обстановки, приводящие к деградации или новообразованиям многолетнемерзлых пород и активизации всевозможных криогенных процессов и явлений. Наибольшие изменения на поверхности вызывают горные работы: проседания и провалы, породные отвалы и терриконы, хвостохранилища, разнос техногенных грунтов временными и постоянными водотоками. Строительные работы в горных районах (подрезка склонов дорожными выемками, вырубка растительности и т. д.) часто вызывают активизацию гра-

витационных процессов. По берегам водохранилищ и в зонах их воздействия происходит переформирование берегов, развиваются обвалы, осыпи и оползни, подтопляются и заболачиваются прилегающие долины.

***Опыт строительства и изменение инженерно-геологических условий в связи с различными видами строительства.*** Для Алтае-Саянского региона характерна крайне неравномерная освоенность его территории. Большую часть ее занимают труднодоступные залесенные горные районы, интенсивное хозяйственное освоение приурочено в основном к крупным межгорным впадинам (Кузнецкая, Минусинская) и котловинам Горного Алтая и Тувы.

Кузнецкая впадина в начале 20-х гг. была преимущественно сельскохозяйственным районом. Добыча каменного угля составляла всего 1,3 млн т и почти целиком была сосредоточена на Анжерском месторождении. В предгорьях Салаира и Кузнецкого Алатау действовало несколько мелких рудников. Сейчас Кузнецкий бассейн – важнейший промышленный район восточной части страны. Его основа – угольная промышленность. Огромные запасы энергетических углей позволили создать комплекс тепловых электростанций и на их базе – электрометаллургию, производство алюминия, ферросплавов, химическую промышленность.

Минусинская впадина – традиционный район высокоразвитого сельскохозяйственного производства юга Сибири. Сейчас в северной части впадины формируется Канско-Ачинский территориально-экономический комплекс. Интенсивное освоение вызвало увеличение строительства новых поселков, линий ЛЭП, дорог, что, в свою очередь, привело к изъятию из сельскохозяйственного производства плодородных земель. На юге Минусинской впадины формируется Саянский территориально-производственный комплекс, характеризующийся сравнительно высокой плотностью населения, множеством железных и автомобильных дорог, богатейшими гидроэнергетическими ресурсами, наличием плодородных земель и т. д. На базе дешевой электроэнергии Саяно-Шушенской ГЭС ведущее место в экономике будут занимать цветная металлургия, машиностроение и сельское хозяйство. Здесь создается промышленный комплекс в составе более 120 крупных предприятий и производств. Функционируют горнодобывающие предприятия. Саянский комплекс обладает большими возможностями для развития сельского хозяйства и в перспективе сможет стать одной из важных продовольственных баз Сибири, специализирующихся на производстве сельскохозяйственных продуктов для растущих индустриальных центров.

Интенсивное развитие горной промышленности, строительство крупнейших гидроэнергетических комплексов, новых городов и промышлен-

ных районов, увеличение площадей мелиорируемых земель, строительство дорог и т. д. в разнообразных инженерно-геологических условиях региона позволяют провести некоторое обобщение накопленного опыта строительства и анализ влияния инженерно-геологических факторов на принятие проектных решений, строительство и эксплуатацию различных объектов.

В разнообразных инженерно-геологических условиях региона основной задачей при проектировании и строительстве различных сооружений является правильная оценка этих условий и выбор оптимальных конструктивных решений по размещению и выбору типов фундаментов. При неглубоком залегании прочных грунтов (галечник) наиболее целесообразно в качестве фундаментов применение забивных свай (сплошного квадратного сечения, полых круглых) и монолитных столбчатых фундаментов. При подобном строении грунтовой толщи забивные свайные фундаменты имеют преимущество по всему диапазону рассматриваемых нагрузок. В настоящее время для жилых, общественных зданий, промышленных и сельскохозяйственных предприятий в галечниковых грунтах г. Красноярска предлагается применение фундаментов из коротких железобетонных свай взамен ленточных (при глубине заложения более 1,7 м). Размягчение грунта и разрушение связей между его частицами, образование вокруг сваи водяной пленки, значительно облегчающей погружение, свойственны пластичным глинистым грунтам. После прекращения забивки свай, в течение определенного времени структурные связи между частицами восстанавливаются и грунт упрочняется. Затруднять погружение свай могут твердые включения в насыпных грунтах, находящаяся под слоем насыпки сезонная мерзлота, линзы и слои крупнообломочных грунтов с пониженной влажностью.

Основным принципом строительства в условиях распространения лёссовых пород, обладающих просадочными свойствами, должен быть принцип строительства с недопущением замачивания грунтов под фундаментами при правильном использовании в фундаментостроении естественных инженерно-геологических условий территории и специфических особенностей грунтов каждого отдельного района.

Строительство на территории пойм и низких надпойменных террас часто бывает осложнено заболоченностью территории, рыхлым сложением и неоднородностью песчано-глинистых, галечниковых и торфяноилистых отложений. Так, в связи с сильной заболоченностью осложнено строительство и эксплуатация сооружений во многих населенных пунктах (Горно-Алтайск, Ленинск-Кузнецк и др.).

Один из неблагоприятных инженерно-геологических процессов, возникающих при строительстве различных инженерных сооружений, – суффозия. Суффозионные провалы особенно часто возникают вдоль трасс прокладываемых коммуникаций, особенно горячего водоснабжения. Часты случаи суффозионного выноса материала из-под зданий, что приводит к их деформации.

Добыча угля, железных и неметаллических руд и других полезных ископаемых ведется в регионе как открытым способом, так и подземными горными выработками. Открытым способом разрабатываются, главным образом, месторождения строительных материалов, частично месторождения полиметаллических и алюминиевых руд. Открытый способ разработки применяется при эксплуатации месторождений таких крупнейших угольных бассейнов, как КАТЭК и Кузбасс.

Ведение открытых горных работ часто осложняется повышенной водообильностью горных пород, в результате которой происходит снижение фактического угла наклона откосов карьеров, а также стимулируется развитие некоторых инженерно-геологических процессов.

При всех способах подземной отработки полезных ископаемых происходит нарушение естественного состояния массивов горных пород, что приводит к возникновению и развитию разнообразных инженерно-геологических процессов и явлений как в самой выработке, так и на поверхности горных отводов и даже за их пределами. Наиболее распространенные инженерно-геологические явления, сопровождающие подземную разработку угольных пластов Кузнецкого и Орловского бассейнов, – различные формы опускания и обрушения вмещающих пород в выработанное пространство. Эти явления имеют особое значение в очистных выработках, когда породы, залегающие над вынимаемым углем, оказываются подработанными одновременно на больших площадях.

При подземной разработке сплошная выемка полезного ископаемого из одного или одновременно нескольких горизонтов вызывает деформацию вышележащей толщи горных пород, возникновение инженерно-геологических процессов на поверхности горного отвода. Для Кузнецкого угольного бассейна эти процессы проявляются в проседании поверхности, образовании трещин, блоковом проседании по трещинам, провалах, выделении газа. Специфика возникновения и развития этих процессов во многом определяется условием залегания и глубиной обрабатываемых пород.

На значительном числе шахт Кузнецкого бассейна периодически фиксируются явления самовозгорания угля. Уголь и содержащие его примесь породы могут самовозгораться и находясь в отвалах. В Кузнецком

бассейне горящие или потухающие отвалы составляют более 60 % от их общего числа. Горение отвалов сопровождается так называемыми термическими оползнями, разрушением и перемещением горелых пород силой пара, образующегося из воды, попавшей с поверхности на горящие или раскаленные участки внутри отвала, образованием пустот выгорания и трещин, могущих служить причинами возникновения крупных оползней и выбросов. Горящие отвалы выделяют в окружающую атмосферу большое количество токсичных газов. Содержание окиси углерода на поверхности отвалов в Кузнецком бассейне, по некоторым данным, достигает 875, а сернистого газа и водорода – до 35 мг на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

Обобщая накопленный опыт по добыче полезных ископаемых, можно отметить, что с применением последних достижений горнодобывающей техники и при учете всех сложных и многообразных инженерно-геологических условий региона разработка месторождений полезных ископаемых может вестись достаточно эффективно как открытыми, так и подземными способами.

Алтае-Саянский регион характеризуется большими гидроэнергетическими ресурсами и значительными масштабами современного гидротехнического строительства. На Верхнем Енисее построены Красноярская и Саяно-Шушенская ГЭС и продолжается строительство Майнской ГЭС. На притоках верхнего течения р. Оби строится Крапивинская плотина, намечается строительство Катунской и Чемальской ГЭС. Крапивинский гидроузел имеет важное значение для охраны природной среды. Все эти объекты размещаются на магматических и метаморфических породах, в сложных тектонических условиях горноскладчатых областей и представляют собой ценный опыт инженерно-геологического обоснования гидроэнергетического строительства на скальных породах.

Опыт гидроэнергетического строительства в регионе еще раз подтверждает, что магматические и сильно метаморфизованные породы не обуславливают автоматически прочные и монолитные основания. Важнейшее практическое значение имеют здесь разрывные структуры, образовавшиеся под влиянием длительной тектонической истории региона. Однако сложные тектонические условия при определенной детальности инженерных изысканий и тесной связи последних с проектированием не являются препятствием для сооружения крупных ГЭС.

Крупнейшие водохранилища построенных гидроузлов – Красноярское и Саянское. Саяно-Шушенское водохранилище по сравнению с Красноярским характеризуется значительно меньшими затратами на перенесение населенных пунктов из зоны затопления. Под затопление здесь ушли в основном лесные угодья (57 %), в меньшей степени – сельскохо-

зяйственные. Для Красноярского водохранилища характерен очень высокий процент затопленных сельскохозяйственных угодий. Побережье Красноярского водохранилища характеризуется интенсивным освоением. Здесь расположено много населенных пунктов, вынесенных из зоны затопления, пристаней, баз отдыха, насосных станций и т. д. Значительные площади побережья заняты сельскохозяйственными угодьями. Поэтому большое значение имеет оценка устойчивости берегов и развитие неблагоприятных инженерно-геологических процессов.

В регионе построены крупные железнодорожные магистрали, автомобильные тракты, линии электропередач. Опыт их строительства и эксплуатации свидетельствует о значительных трудностях, обусловленных сложностью инженерно-геологических условий: большими пространствами, занятыми горными сооружениями, широким развитием лёссовых грунтов и др. В равнинной части дороги трассируются по пологим склонам водоразделов, террасам долин крупных рек, а в горной части – преимущественно по террасам и коренным склонам долин рек, при пересечении хребтов используются седловины, тоннели.

Сеть железных дорог региона представлена линиями: Ачинск-Абакан с ответвлением на Горячегорск; Новокузнецк-Абакан-Тайшет с ответвлением на Абазу; Транссибирской магистралью и др. Разнообразными и достаточно сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями строительства характеризуется железная дорога Абакан-Тайшет. Западный участок дороги проходит по всхолмленному району юго-восточной окраины Минусинской впадины. Здесь широко распространены пылеватые пески, супеси и пылеватые суглинки. Для района характерно выдувание пылеватых песков с откосов и основной площадки земляного полотна, оползание откосов насыпей, отсыпанных из суглинков и супесей, а также откосов глинистых выемок. Основные причины возникновения деформаций – отсутствие укрепления построенного земляного полотна, недостаточное уплотнение откосов насыпей при их отсыпке. После выполнения укрепительных работ большинство деформаций прекратилось.

На участках, образованных увлажненными пылеватыми глинами и суглинками, довольно широко развиты процессы морозного пучения. Наиболее результативный метод борьбы с пучением – устройство подушек из дренирующих грунтов. Так, в первые годы эксплуатации линии Абакан-Тайшет пучины образовались на протяжении 92 км. Устройство гравийно-песчаных подушек толщиной 1–1,2 м резко снижало число и высоту пучин, а часто и предотвращало их возникновение.

Опыт строительства и эксплуатации железных дорог в условиях Восточной Сибири показал, что выемки, сооружаемые в увлажненных пылеватых грунтах, должны проектироваться сразу с противопучинными гравийно-песчаными подушками, а откосы должны назначаться с устройством закуветных полок.

## 2.6. Забайкальская горно-складчатая система

*Ландшафтно-климатические условия.* Умеренно континентальный климат, местами резко континентальный. На его формирование оказывает влияние положение территории в поясе умеренных широт. Среднегодовая температура воздуха повсеместно отрицательна – минус 0,5–11°. Общее количество осадков уменьшается, в общем, с северо-запада на юго-восток – до Яблонового хребта, а восточнее, где начинает сказываться влияние Тихоокеанских муссонов, снова несколько возрастает. Количество осадков наибольшее (до 1000 мм) на обращенных к основному потоку воздушных масс западных и северо-западных склонах хребтов. На подветренных склонах влажность и количество осадков уменьшаются. В межгорных впадинах сумма осадков составляет 200–350 мм в год (наименьшие величины).

Высокая летняя температура и большие дефициты влажности обуславливают наибольшую в году испаряемость, достигающую в котловинах 130–140 мм, как правило, она в 2–4 раза превышает сумму выпадающих здесь осадков. Климат окружающих горных хребтов и плоскогорий отличается от климата котловин повышенной влажностью, обилием осадков и значительной мощностью снежного покрова, меньшей термической контрастностью сезонов, более мягким суточным ходом температуры и влажности.

Сложный поверхностный рельеф и неоднородность климата определяют большую пестроту современных ландшафтов Забайкалья. На его территории проявляется горизонтальная ландшафтная зональность, обусловленная обширностью территории и различием в соотношении тепла и влаги в различных ее частях, сочетающаяся в условиях горного сильно пересеченного рельефа с вертикальной поясностью. Здесь можно выделить три ландшафтные зоны. К северу, примерно от широты 52°, располагается зона тайги, южнее – лесостепи и степи. В каждой зоне намечается отчетливая вертикальная поясность. Ландшафтные различия на территории Забайкалья вызваны не только горизонтальной климатической зональностью, но и множеством других факторов и процессов, действующих одновременно. Среди них наибольшее значение имеют особенности морфоструктур, расположение их поперечно относительно движения воздуш-



ных масс, горно-котловинный характер рельефа, наличие многолетней мерзлоты и воздействие огромной водной массы оз. Байкала. Следует подчеркнуть, что каждому типу ландшафта свойствен свой тип литогенеза, мерзлотно-гидрогеологические и гидрохимические условия, характер и интенсивность проявления геологических процессов.

Многолетнемерзлые породы в Забайкалье распространены крайне неравномерно по площади и в разрезе. В большинстве случаев мощность сплошного покрова мерзлых пород составляет более 100–200 м при температуре на глубине нулевой годовой амплитуды ниже минус 1,5–2°. Самый мощный покров (более 800 м при температуре на глубине нулевой годовой амплитуды ниже –7°) имеют системы хребтов Кодара и Удокана. Многолетним промерзанием охвачены все элементы рельефа и генетические типы пород. Прерывистость криолитозоны наблюдается в долинах крупных рек и озер, у очагов разгрузки подземных вод.

Островное распространение многолетнемерзлых пород с отдельными островами мощностью менее 20–25 м при температуре на глубине нулевой годовой амплитуды выше –1°, занимающими около 10–20 % площади, наблюдается на двух разобщенных территориях. Они характеризуются обширными выположенными долинами и относительно теплым климатом: юго-западное побережье оз. Байкала и долина р. Селенги на западе и междуречье Онона и Аргуни на востоке.

В регионе наиболее распространены эпигенетические мерзлые толщи, свойственные повышенным формам рельефа. В межгорных понижениях и впадинах возможно образование полигенетических многолетнемерзлых пород с преобладанием толщ сингенетического генезиса во впадинах байкальского типа.

В Забайкалье широтная зональность и вертикальная поясность прослеживаются во всех наиболее характерных проявлениях мерзлой зоны. Однако региональное проявление широтной зональности и вертикальной поясности мерзлых пород нарушается такими аномальными явлениями, как оз. Байкал с его терморегулирующим влиянием на физико-географические условия прилегающей территории, прогретыми долинами р. Селенги, Аргуни и их крупных притоков, засушливыми степными равнинами юго-востока, а также многочисленными речными долинами и водоносными разломами.

Многолетнемерзлые породы байкальского типа распространены в одноименных тектонических впадинах. Максимальная мощность мерзлых пород достигает 100–350 м. Мерзлые породы этих впадин имеют эпигенетическое происхождение (в породах древнее плейстоцена), а в небольших прогибах, заполненных плейстоцен-голоценовыми осадками, – сингенети-

ческое. Для многолетнемерзлых пород забайкальского типа характерны более четкая и плавная зависимость от высотного и широтного положения местности.

Особенности распространения и формирования многолетнемерзлых и морозных пород в Забайкалье позволяют выделить на его территории геокриологические районы. Байкало-Становой район охватывает все Прибайкалье, Байкало-Патомское нагорье, хребты Становой и Джугджур и прилегающие с юга территории, имея значительную протяженность с юго-запада на северо-восток. Для района свойственно: обилие атмосферных осадков (в среднем 400–1000 мм в год); наиболее низкие среднегодовые температуры воздуха; большая глубина эрозионного вреза (500–1500 м и более); густая речная сеть; повышенная сейсмичность (от 8 до 10 баллов и более); наличие высокогорных массивов древних кристаллических пород и глубоких кайнозойских впадин байкальского типа и чрезвычайно разнообразные по условиям залегания многолетнемерзлые породы с большой мощностью и приуроченностью ее максимальных значений (300–1200 м и более) и минимальных температур (минус 1–12° и ниже) к водоразделам и склонам.

В целом для Байкало-Станового района характерна высокая тектоническая подвижность территории. Наличие в прошлом обширного оледенения, низкая среднегодовая температура воздуха и высокогорный рельеф приводят к образованию мерзлых пород очень большой мощности. Большое количество атмосферных осадков, огромная водная масса оз. Байкала и наличие впадин байкальского типа с большими ресурсами холодных и термальных вод, а также густая речная сеть, многочисленные глубинные разломы, водоносные, сейсмоактивные разломы формируют таликовые зоны.

Забайкальский район охватывает междуречье р. Селенги и Аргуни, Верхнее Приамурье и нижние склоны Станового хребта и имеет, в отличие от других районов, более высокую среднегодовую температуру воздуха (минус 0,5–6°), малое количество атмосферных осадков (в среднем 200–500 мм в год), соответственно самый малый снежный покров (5–24 см в год). Для Забайкальского района в целом благоприятными факторами образования мерзлых пород являются отрицательная среднегодовая температура воздуха, резкое проявление зимней температурной инверсии, затененность северных залесенных склонов, а для Селенгинского и Онон-Аргунского подрайонов – недостаточное количество атмосферных осадков при значительном испарении и малом снежном покрове. Благоприятные условия для развития и сохранения талых пород наблюдаются на прогретых солнцем склонах, выположенных водоразделах, в краевых

частях впадин забайкальского типа, содержащих пресные и солоноватые подземные воды.

**История геологического развития региона.** В геологическом строении Забайкалья принимают участие разновозрастные осадочные, вулканогенные и интрузивные (плутонические) образования, среди которых наиболее широко распространены гранитоиды. Здесь установлены геологические образования всех систем – от архея до голоцена включительно. Среди них площадь распространения осадочных пород, за исключением рыхлых отложений четвертичного возраста, незначительна и в целом не превышает 15–20 %. Доля осадочных пород увеличивается в направлении с северо-северо-запада на юг-юго-восток и к Сибирской платформе. В этих же направлениях, в общем, меняется степень метаморфизма и дислоцированности пород.

История Забайкалья включает в себя четыре разновозрастные складчатые области, геосинклинальное развитие которых завершилось в разное время: ранне-протерозойскую (Становую), позднепротерозойскую (Байкальскую), каледонскую (Селенгино-Яблоновую) и герцинскую (Монголо-Охотскую), последовательно сменяющих друг друга с северо-запада и севера на юг-юго-восток. Эти крупные геологические сегменты, в свою очередь, расчленяются на структуры второго и третьего порядка (структурно-формационные зоны), отличающиеся своим строением, набором геологических формаций, характером проявления магматизма, метаморфизма и др.

Начало четвертичного периода в Забайкалье явилось важным рубежом в развитии климата, ландшафта и осадконакопления. Отмечается прогрессивное похолодание и усиление континентального климата. Тектоническая обстановка в целом существенно не меняется.

Важнейшим событием в геологической истории Забайкалья было четвертичное оледенение. Оледенение носило горно-долинный характер и охватывало территорию площадью не менее 300 тыс. км<sup>2</sup>. При этом наиболее значительное оледенение было на северо-западных склонах высоких хребтов, стоявших на пути переноса влажных воздушных масс, что соответствует распределению и современных атмосферных осадков. В результате деятельности ледников горы приобрели более резкий альпийский облик, древние эрозионные долины были переработаны в типичные ледниковые долины-троги с характерной корытообразной формой.

Ниже снеговой границы, где оледенение отсутствовало, господствовали процессы, типичные для перигляциальных областей (морозное выветривание, солифлюкция). Ими были созданы обширные поля каменных россыпей, осыпей, курумов, гольцовые нагорные террасы и др. С особен-

ностями выветривания связано накопление огромных масс песков, составляющих основную часть разреза четвертичных отложений Забайкалья.

С окончанием накопления толщи песков и последующим врезанием завершается формирование главной террасы рек Забайкалья, имеющей наилучшую морфологическую выраженность.

Характерной особенностью перигляциальной области южного Забайкалья в позднем плейстоцене является образование лессовидных пород. Они представлены лессовидными супесями, реже суглинками мощностью 1–2, редко 8–12 м. Образовались они главным образом путем эпигенетического преобразования (облессования) мелкозема различного происхождения и залегают на речных террасах. В голоцене имела место новая вспышка вулканических извержений, оставившая кое-где, в том числе и в троговых долинах, потоки базальтовых лав и небольшие шлаковые вулканы.

В Забайкалье выделяются три группы регионально распространенных склонов и склоновых отложений: курумные (главным образом крупноглыбовые); склоны массового перемещения материала (крупнообломочные с глинистыми и песчаными образованиями) и делювиальные (преимущественно супесчаные и суглинистые). Разные генетические типы склоновых образований часто меняются как в пространстве, так и во времени, создавая склоны сложного типа, рыхлый покров которых выделяется под названием смешанных склоновых отложений.

Таким образом, на территории Забайкалья в кайнозойе исторически сменялись следующие типы выветривания и осадконакопления: гумидный теплый (палеоген – ранний плиоцен), семиаридный умеренно теплый (средний – поздний плиоцен), перигляциальный семиаридный холодный тип (плейстоцен) и умеренно местами резко континентальный (голоцен).

В геологическом строении регионов участвуют магматические, метаморфические и осадочные образования от архея до четвертичного возраста включительно, причем на всей их территории резко преобладают гранитоиды. Площадь, занимаемая метаморфическими и осадочными формациями, за исключением кайнозойских отложений, в Байкальском регионе составляет около 25–30 %.

### ***Особенности геоморфологического и тектонического строения.***

Геологическое развитие Забайкалья привело к формированию на его территории крупных неотектонических структур. Каждая из неоструктур отличается набором геологических формаций, устройством поверхности, составом и мощностями рыхлых кайнозойских отложений.

На территории Забайкалья выделяются восемь крупных (положительных и отрицательных) морфоструктур. К положительным относятся Байкальское, Байкало-Патомское, Джугджуро-Становое, Даурское и Шилкин-

ско-Аргунское сводовые поднятия; отрицательными морфоструктурами являются Селенгино-Витимский синклинории, Агинская и Верхне-Амурская структурные зоны, представляющие собой обширные области относительно пониженного рельефа.

Байкальское сводовое поднятие протягивается в северо-восточном направлении от Восточного Саяна на западе до р. Олекмы на востоке на расстояние около 2000 км. В последние годы это поднятие кристаллического фундамента с впадинами именуется Байкальской рифтовой зоной. В геолого-тектоническом плане Байкальское сводовое поднятие относится к складчатой зоне байкалид.

Тектоническая активность Байкальской рифтовой зоны остается очень высокой и в настоящее время даже продолжает повышаться, о чем свидетельствуют землетрясения силой до 9–10 баллов. Сейсмоактивными являются глубинные разломы, отделяющие впадины от их горного обрамления. Разломы (сбросы) ограничивают рифтовые впадины с севера и северо-запада. Амплитуды краевых сбросов достигают 2500 м, местами – 4000–4500 м.

Сводовое поднятие хребтов Станового-Джугджур является непосредственным продолжением Байкальского поднятия. Это единство проявляется также в их высокой сейсмичности. Морфоструктура Станового – Джугджура представляется в виде массивного, не расчлененного впадинами асимметричного сводового поднятия, крылья которого осложнены сбросами и надвигами. Значительных размеров внутригорные впадины отсутствуют.

Байкало-Патомское поднятие в морфоструктурном отношении представляет ступенчатый свод, неравномерно понижающийся с юга на север. Центральная часть свода понижена и образует относительную депрессию северо-восточного простирания. В наиболее прогнутых его участках наблюдается повышенная мощность четвертичных отложений (80–100 м), на остальной территории она обычно не превышает 10–20 м. Байкало-Патомское поднятие приурочено к миогеосинклинальному поясу байкалид.

Даурское сводовое поднятие представляет северное окончание Хэнтей-Чикойского нагорья. Оно имеет вид массивного, лишенного крупных межгорных впадин широкого свода северо-восточного простирания, ограниченного зонами тектонических разломов. На меридиане Читы поднятие замыкается и далее на восток не продолжается. При погружении (морфологически это выражено в снижении абсолютных отметок с 2500 до 1100 м) одновременно наблюдается его сужение с 200 до 50 км.

Шилкинско-Аргунское сводовое поднятие занимает междуречье Шилки и Аргуни и представляет собой асимметричный свод северо-

восточного простирания, максимальные отметки которого (1400–1600 м) приурочены к его северо-западной части. Поднятие сформировалось на гетерогенном складчатом основании и охватывает в полном объеме или частично крупные палеозойские структуры Монголо-Охотского пояса: Приаргунский и Борщовочный антиклинории и разделяющий их Центральный Восточно-Забайкальский синклинорий с наложенным Восточно-Забайкальским мезозойским прогибом.

Наиболее крупным среди отрицательных морфоструктур Забайкалья является Селенгино-Витимский синклинорий. Он протягивается в северо-восточном направлении от верховьев р. Джиды до Станового хребта на расстояние более 1500 км при средней ширине 300 км. В морфоструктурном отношении синклинорий характеризуется чередованием линейно-вытянутых горст-антиклинальных хребтов и грабен-синклинальных впадин забайкальского типа. Соединяясь между собой по простиранию, впадины через невысокие седловидные перемычки практически сливаются в весьма протяженные (500–1000 км) узкие депрессии. Синклинорий наложен на геоструктурные области раннепротерозойской (становой), байкальской и каледонской складчатости.

Агинская отрицательная морфоструктура представляет собой обширную область пониженного рельефа на юге Восточного Забайкалья площадью около 200x180 км (Онон-Аргунское понижение). Впадины забайкальского типа расположены преимущественно в краевых частях морфоструктуры. Центральную часть ее занимает обширная денудационно-аккумулятивная равнина с Торейской и Средне-Ононской депрессиями. От впадин забайкальского типа они отличаются своей изометричностью и несколько повышенной мощностью кайнозойских отложений (100–150 м).

Верхне-Амурская отрицательная морфоструктура (Верхне-Амурское плато) приурочена к Верхне-Амурскому палеозойскому синклинорию и наложенному на него Ольдойскому мезозойскому прогибу. Нижний структурный ярус их сложен сложнодислоцированными отложениями среднепалеозойской терригенно-карбонатной формации, обнажающимися в северо-западной части морфоструктуры, верхний структурный ярус – менее дислоцированными породами мезозойской молассовой формации.

**Гидрогеологические условия региона.** Современные гидрогеологические условия Забайкальского региона взаимосвязаны и в значительной степени предопределены широким развитием здесь многолетнемерзлых пород. Они обуславливают формирование надмерзлотных, подмерзлотных и межмерзлотных вод. Неравномерное по площади и в разрезе распределение мерзлых пород создает и неравномерные условия водообмена в регионе. При островном распространении многолетнемерзлых пород

обычный водообмен между поверхностными и подземными водами почти не нарушается, и небольшие водонепроницаемые острова мерзлых пород не препятствуют фильтрации вод. Для территорий со значительной прерывистостью мерзлых пород особо существенное значение в питании подземных вод приобретает инфильтрация атмосферных осадков через талые породы в прибортовых частях впадин, на выположенных водоразделах и склонах южной экспозиции. При географически сплошном распространении многолетнемерзлых пород значительно сокращены площади возможного водообмена, отдельные очаги питания и разгрузки подземных вод приурочены к сквозным таликам (подозерным, подрусловым и обводненным зонам разломов).

В целом Забайкалье характеризуется повсеместным развитием пресных слабоминерализованных вод, содержащихся в довольно хорошо промытых зонах трещиноватости древних докембрийских, палеозойских и мезозойских кристаллических пород горных массивов и в водоносных комплексах четвертичных и мезокайнозойских отложений межгорных впадин. Во впадинах и речных долинах обводненные породы образуют выдержанные водоносные горизонты и комплексы, содержащие порово-пластовые и трещинно-пластовые воды. Водоупорные породы значительной мощности и протяженности, за исключением многолетнемерзлых, встречаются редко. Водоносная зона в метаморфических, эффузивных и интрузивных трещиноватых породах горных хребтов захватывает на всю мощность кору выветривания пород, а также часть пород, в которых развита региональная тектоническая трещиноватость. Мощность ее колеблется от 40 до 300 м. К ней приурочены трещинные и трещинно-жильные воды.

Глубина залегания напорных вод в долинах, межгорных впадинах и в горных массивах обычно значительна. Однако в областях транзита, особенно в областях и очагах разгрузки, их пьезометрическая поверхность находится очень близко к поверхности земли и даже выше ее, вызывая заболачивание местности, фонтанирование скважин, а при вскрытии напорных вод отдельными выработками – их затопление.

В долинах и тектонических впадинах линзы и горизонты напорных вод могут быть вскрыты практически на любой глубине, напорные же водоносные комплексы – ниже 50–100 м. Напор (криогенный, гидростатический) достигает 100–2 900 м. Области разгрузки напорных вод во впадинах приурочены в основном к долинам крупных рек, к участкам долин перед резким (иногда тектоническим) сужением впадин. В этих местах на обширных пространствах наблюдается заболоченность поверхности, особенно значительная в байкальских впадинах (Баргузинской, Верхне-

Ангарской, Тункинской и др.). Отдельные очаги разгрузки приурочены к тектоническим нарушениям, оконтуривающим сами впадины.

Водоносность пород зависит в основном от состава и условий залегания водовмещающих пород, их тектонической нарушенности, промерзженности и дренированности отдельных структур. Водоносные комплексы и водоносные зоны Забайкалья имеют часто мозаичное распространение по площади в связи со сложным геолого-тектоническим строением, сильно расчлененным рельефом и неоднородным промерзанием.

***Инженерно-геологические процессы и явления.*** Почти вся территория Забайкалья принадлежит к числу сейсмичных районов. Наиболее сейсмоактивной морфоструктурой является Байкальское сводовое поднятие, а в нем – пояс рифтовых впадин. Показателем повышенной сейсмичности этой зоны являются следы грандиозных сейсмических катастроф недавнего геологического прошлого, а также свыше 20 мощных землетрясений силой в 9–11 баллов, произошедших здесь с 1725 г. Ежегодно здесь регистрируется большое количество землетрясений меньшей силы.

В области распространения многолетнемерзлых пород, при определенном стечении инженерно-геологических факторов, балльность землетрясений повышается, и даже шестибалльные землетрясения могут вызвать деформации, соответствующие 7 и 8 баллам. При мощном деятельном слое, наличии в основании фундаментов пылевато-илистых переувлажненных грунтов, при протаивании многолетнемерзлых пород под сооружениями происходит опасное перенапряжение конструкций, и уже при относительно слабом сейсмическом воздействии могут происходить (и происходят) деформации и даже разрушения сооружений. Поскольку Забайкалье большей частью лежит в области распространения многолетнемерзлых пород и глубокого зимнего промерзания грунтов, то при проектировании сооружений необходимо предусматривать комплекс мероприятий – антисейсмических и антимерзлотных. Без учета влияния на сооружения мерзлотных явлений антисейсмические мероприятия могут стать бесполезными.

Современные эндогенные процессы в Забайкалье выражаются не только в высокой сейсмичности и разрывных дислокациях, но и медленных изгибовых деформациях. Отмечаются погружения днищ впадин, сопровождаемые интенсивным заболачиванием и развитием озер (Селенгинская, Баргузинская, Баунтовская, Намаракитская впадины и др.); зафиксированы признаки вертикальных движений береговой линии Байкала и т. п. Все это, наряду с усилением эрозионной деятельности рек и погребением обломочного материала, сносимого во впадины и долины,



указывает на активный и сложный характер современных эндогенных процессов.

Среди экзогенных процессов наиболее существенное значение для инженерно-геологической оценки территории имеют мерзлотные, гравитационные (оврагообразование), селевые явления и карст. Развитие многих из этих процессов предопределено выветриванием горных пород.

Активно протекающие процессы выветривания приводят в конечном итоге к образованию современной коры выветривания, характеризующейся в Забайкалье, в общем, довольно грубым составом. Мощность ее в зависимости от состава коренных пород и положения в рельефе изменяется от 0,5–1 до 5–20 м.

Карстовые явления на территории Забайкалья распространены, в общем, незначительно, так как растворимые карбонатные породы занимают незначительные площади (не более 5 % территории). Однако на отдельных участках карбонатные закарстованные породы в современном рельефе занимают довольно обширные поля и существенно осложняют инженерное их освоение. Основные площади распространения растворимых карбонатных пород (в десятки и сотни км<sup>2</sup>) и мощные их толщи (до 500 м и более) приурочены к отложениям среднего палеозоя, нижнего кембрия и рифея. Подчиненное значение имеют карбонатные породы в составе архея и нижнего протерозоя. Проявления карста установлены как среди неметаморфизованных, так и глубокометаморфизованных формаций.

**Опыт строительства на территории региона.** Основной объем строительства сосредоточен в районах, прилегающих к линии Забайкальской железной дороги. Северные горно-таежные районы, площадь которых превышает 1/3 территории, начинают осваивать в связи с прокладыванием БАМа. Строительство в условиях Забайкалья по сравнению с другими районами нашей страны, расположенными на тех же широтах, сопряжено с преодолением целого ряда трудностей, обусловленных природными особенностями (высокая сейсмичность, горные обвалы, снежные лавины, ливневые паводки и сели, глубокое сезонное промерзание грунтов и др.). Большая часть территории Забайкалья принадлежит к числу высокосейсмичных районов. Широкое распространение многолетнемерзлых пород на площадях, подверженных сейсмическим воздействиям, создает очень сложную обстановку для возведения сооружений и при землетрясениях малой балльности. Даже при правильном выборе принципа строительства на мерзлых грунтах нельзя недооценивать влияния повреждений от землетрясений.

Отсутствие эффективных и экономичных решений по использованию мерзлого основания и рациональных типов фундаментов, которые

бы обеспечили устойчивость зданий, до последнего времени не позволяют осуществить надежное строительство в Забайкалье. Изучение строительных объектов Забайкалья и выяснение причин деформаций свидетельствуют о том, что очень часто нарушение устойчивости сооружений происходит из-за недостаточного учета мерзлотно-геологических условий конкретных участков, неправильного выбора принципа строительства на мерзлоте, нарушения строительных норм и режима эксплуатации сооружений.

Строительство дорог и аэродромов сопровождается нарушением естественного водно-теплового режима пород и приводит к развитию различного рода деформаций и разрушений, которые требуют постоянного ремонта этих сооружений. Так, например, опыт строительства и эксплуатации автомобильных дорог с усовершенствованными покрытиями в Забайкалье показал, что срок их службы, как правило, не превышает 5–7 лет. Массовыми деформациями являются пучины. Анализ распространения пучин в Забайкалье показал, что этим опасным деформациям подвержены не только старые, но и недавно построенные дороги. Большее количество пучин тяготеет к выемкам и нулевым местам, что связано с повышенной влажностью пород в выемках. С увеличением высоты насыпей пораженность пучинами резко падает.

Распространенным видом деформаций земляного полотна, особенно на участках высокотемпературных мерзлых пород, является осадка. Осадка естественного основания приводит к необходимости их вторичной досыпки. Устранение и предупреждение деформаций насыпей Забайкальской железной дороги осуществляется с помощью осушения, вырезкой слабых грунтов оснований и отсыпкой насыпей увеличенной высоты для сохранения грунтов в мерзлом состоянии. Эти меры не всегда гарантируют устойчивость насыпей. Водоотводные каналы и лотки устраиваются, как правило, без учета создания необходимой зоны осушения оснований. Для устранения осадки и просадки применяются также уширенные и углубленные каналы, лотки, дренажи, поперечные прорезы, шлаковые бермы, глиняные перемычки и др. Более эффективное мероприятие для лечения земляного полотна – дренаж.

***Наземные сооружения и коммуникации.*** Наибольшее изменение теплового состояния пород происходит при строительстве зданий, промышленных сооружений и подземных коммуникаций, характеризующихся значительными тепловыделениями. Согласно техническим условиям проектирования оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах, в настоящее время принимается один из двух принципов использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований (см. предыдущие разделы).

Основным мероприятием по сохранению мерзлого состояния оснований является устройство холодных подполий с круглогодичной естественной, а в необходимых условиях – с принудительной вентиляцией. Выбор типа подполья и способа охлаждения производится на основе теплотехнического расчета с учетом опыта строительства. Наряду с мероприятиями, необходимыми для сохранения мерзлого состояния грунта в основании сооружений, должны быть также предусмотрены специальные мероприятия по инженерной подготовке территории, вертикальной планировке, прокладке инженерных сетей, расположению зданий и сооружений с мокрыми и горячими технологическими процессами.

Разработка месторождений полезных ископаемых в Забайкалье производится открытым и подземным способами. В зависимости от прочности и тектонической нарушенности пород применяются различные способы крепления. В устойчивых магматических породах выработки проходят практически без крепления. В зонах тектонических нарушений и в осадочных породах применяется деревянная распорная крепь. Сложные горно-геологические условия месторождений обуславливают широкое развитие различных инженерно-геологических процессов и явлений, из которых наиболее распространены сдвиги пород и образование мульд проседания на поверхности и вывалы.

*Динамика берегов оз. Байкала.* Берега оз. Байкала представлены денудационно-абразионными, абразионными и реже абразионно-аккумулятивными, аккумулятивными и биогенными типами берегов. Денудационно-абразионные берега, сложенные скальными породами, распространены по западному побережью оз. Байкал. Они сравнительно устойчивые. Абразионные берега, сложенные глинисто-песчаными, песчаными и песчано-галечниковыми отложениями, подвергающиеся интенсивному разрушению, распространены на юго-восточном и восточном побережье. После подъема уровня озера в связи с постройкой Иркутской ГЭС происходит переформирование берегов почти на всем протяжении. На денудационно-абразионных берегах происходит их подмыв и образование почти отвесных обрывов. Переформирование берегов продолжается и в настоящее время.

Байкальский регион в целом характеризуется горным, сильно пересеченным рельефом с ограниченным количеством пригодных для строительства площадок, высокой сейсмичностью, значительной активностью неблагоприятных геологических явлений (обвалов, лавин, селей и др.), широким распространением многолетней мерзлоты и болот, являющихся существенным препятствием для строительства.

Особо сложными условиями для строительства характеризуется Становое нагорье вследствие высокогорного рельефа, высокой сейсмической активности и сплошного развития многолетней мерзлоты мощностью до 1000–1200 м. Размещение строительных площадок здесь наиболее целесообразно в межгорных котловинах на площадях распространения плейстоценовых полигенетических песков, характеризующихся глубоким залеганием кровли многолетнемерзлых пород. Все более или менее крупные капитальные сооружения должны быть выведены из сейсмически опасных зон. При проведении и эксплуатации дорог одну из важнейших проблем в Становом нагорье представляет борьба с лавинами, горными обвалами, осыпями и мерзлотными явлениями.

## **2.7. Таймыро-Североземельская складчатая страна**

**Границы и экономико-географическая характеристика.** На крайнем севере Азиатского материка располагаются Таймырский полуостров и отделенные проливом Вилькицкого о-ва Североземельского архипелага. Полуостров представляет собой слабохолмистую равнину, и только на юге находится горный хребет Бырранга с высотами до 1,5 км. Трактовка геологического строения этого обширного региона, отделенного заболоченной Хатанга-Пясинской низменностью (мезозойским прогибом) от Сибирской платформы, все еще вызывает споры ввиду своеобразия разреза и плохой изученности. Таймыро-Североземельский регион состоит из двух складчатых систем. Первая из них представлена структурами архипелага Северной Земли, вторая – структурами Горного Таймыра и Таймырского мелководья. Южная граница его проводится по контакту складчатых формаций (архей – триас) с юрскими, меловыми и четвертичными осадками Лена-Енисейского прогиба. Северо-западная граница проходит по островам Комсомолец и Октябрьской революции, по контакту байкалид и каледонид со среднепалеозойскими отложениями чехла Баренцево-Карской платформы. Западная и восточная границы – по глубинным разломам, отделяющим структуры байкальского возраста от соседних геоструктурных областей.

В инженерно-геологическом отношении п-ов Таймыр практически не изучен. Исследования проводились лишь на строительных площадках Таймырского побережья, на прибрежных акваториях и островах в районе Диксона, в Приенисейской части и в Нордвикском районе.

**Климатическая характеристика региона.** Климат области резко континентальный, близкий к арктическому, с продолжительной зимой, сильными морозами и ветрами, коротким холодным и дождливым летом. Характерны частая и резкая смена погоды, неопределенность общеуста-

новленных сезонов. На формирование климата влияет наличие полярных дня и ночи. На широте г. Норильска и Дудинки полярный день длится 68 дней, полярная ночь – 45 дней. Период сумеречных, белых и солнечных дней занимает почти полгода.

Продолжительность периода с отрицательными температурами – 249 дней (8–9 мес.) со средней температурой – минус 18,3°C. Минимальная температура воздуха зафиксирована на отметке –57°C. Продолжительность безморозного периода – 116 дней со средней температурой +7,8°C. Положительная средняя месячная температура воздуха прослеживается с июня по сентябрь и редко превышает 15°C. Максимум температуры воздуха бывает в июле и августе, когда она поднимается до +32°C.

Наиболее частые сильные ветры наблюдаются весной и зимой; обычно они сопровождаются обильными осадками. Скорость ветра может достигать 45 м/с. В это время погоду оценивают по баллам жесткости – при температурах ниже –30°C каждый 1 м/с скорости ветра оценивается как два дополнительных градуса мороза. Преобладающими направлениями снегонесущих ветров в зимнее время являются юго-восточное, восточное и западное, а в летний период – северо-восточное и северное. Скорость ветра – от 4,5 до 15 м/с, нередко – 18–30 м/с, иногда – до 45 м/с.

Радиационный режим тесно связан с высотой солнца над горизонтом и продолжительностью дня, облачностью, состоянием атмосферы, характером подстилающей поверхности, продолжительностью её сезонных изменений и значительно влияет на формирование климата. Большая часть поступающей солнечной радиации отражается от подстилающей поверхности особенно в период устойчивого снежного покрова, альбедо которого составляет 70–80 %. Летом альбедо поверхности уменьшается до 15–17 %. Огромное количество лучистой энергии расходуется в это время на испарение и турбулентный теплообмен и только небольшая часть – на оттаивание мерзлых грунтов.

Существует особенность таймырской погоды – сильный мороз с сильным ветром или продолжительной пургой, которая при морозе ниже минус 40°C имеет черноватый цвет (черная пурга). Снег лежит 280 дней в году. По данным метеорологов число дней с осадками – 170. Показатель суровости природных условий составляет 4,93 балла по пятибалльной шкале. Годовая сумма осадков колеблется значительно в зависимости от метеорологических условий года.

**История геологического развития региона.** В глубоком докембрии земная кора на месте современной Таймырско-Североземельской складчатой цепи вступила в геосинклинальную стадию развития. К началу палеозоя в пределах Карского моря и северного Таймыра сформировался Бай-

кальский массив, окруженный геосинклинальными зонами, в которых шло накопление карбонатных и терригенных осадков. В конце силура Северная Земля испытала каледонский орогенез, превративший ее в складчатую систему. Эрогенный режим обусловил формирование глубоких межгорных впадин, заполнявшихся пресноводными молассами. Северный Таймыр и Северная Земля в результате каледонского орогенеза образовали «срединную зону» – зону ранней консолидации, в то время как южный Таймыр в течение герцинского тектонического этапа оставался геосинклиналью. Для южного Таймыра большое значение имела складчатость в конце среднего карбона, с которой связаны ликвидация морского режима в Таймырской геосинклинали и подъем складчатой области. К середине нижнего триаса Южнотаймырская геосинклиналь замкнулась, созданная ею складчатая область причленилась к зоне ранней консолидации северного Таймыра и Северной Земли.

В мезозойское время Таймырско-Североземельская складчатая область вступила в платформенную стадию развития. Она оказалась относительно устойчивой и жесткой; преобладающее развитие получили процессы эрозии и денудации. Отдельные мезокайнозойские впадины заполнялись мезозойскими угленосными осадками. Общая тенденция к поднятию, проявившаяся в конце кайнозоя, объясняет почти полное отсутствие морских осадков этого времени и обновление рельефа в начале четвертичного периода. Новейшая тектоника, придавшая рельефу Таймыра и Северной Земли современные черты, является унаследованной от более древней.

**Особенности геоморфологии региона.** Поверхность территории области представляет обширную низкую холмисто-увалистую равнину со средними высотами 100 м над уровнем моря, с разнообразным и сложным рельефом и повсеместно распространенными мерзлотными формами. Высоты водораздельных поверхностей равнины увеличиваются в обе стороны от долины Енисея. По мере удаления от Енисея они увеличиваются на левом берегу в среднем до 70–90 м, на правом – до 80–120 м. Вблизи долины рельеф характеризуется крутым обрывистым берегом с перепадом высот до 75 м. Далее от берега начинается мелкосопочная озерная тундра со спокойными формами рельефа. Понижения между холмами заняты слабоврезанными широкими речными долинами, многочисленными озерами и сильно заболочены. Многие из озерных котловин – термокарстового происхождения.

По всей тундре п-ова Таймыр распространена вечная мерзлота – многолетнемерзлые породы, которые находятся в условиях длительного существования нулевых и отрицательных температур. Причинами развития и распространения многолетнемерзлых пород являются несколько факто-

ров, среди которых главные – климатические: низкие температуры зимы, маломощный снежный покров, скоротечность теплого периода. Кроме того, на формирование многолетнемерзлых пород оказывают влияние механический состав пород, характер растительного покрова, а также геоморфологические условия. Совокупность всех факторов сформировала на территории п-ова Таймыр сплошной горизонт многолетнемерзлых пород толщиной 300–800 м.

**Гидрогеологические условия региона.** На территории области, кроме устьевого участка Енисея, выделяются самостоятельные бассейны крупных рек: Хатанги, Пясины и Таймыры. Протяженность Хатанги – 227 км, общая длина притоков менее 10 км – 5 588 км, площадь водосбора – 364 тыс. км<sup>2</sup>. Протяженность Пясины – 818 км, общая длина притоков менее 10 км – 48 297 км, площадь водосбора – 182 тыс. км<sup>2</sup>. Протяженность Таймыры – 187 км, общая длина притоков менее 10 км – 750 км, площадь водосбора – 124 тыс. км<sup>2</sup>.

Мерзлая зона на островах и п-ове Таймыр имеет сплошное распространение. Подземные воды по отношению к мерзлой зоне подразделяются на: надмерзлотные, межмерзлотные, подмерзлотные и внутримерзлотные. Надмерзлотные воды в виде небольших линз и временных грунтовых потоков существуют в летнее время. Наибольшим периодом существования характеризуются воды аллювиальных и прибрежно-морских песчано-галечных отложений. Воды преимущественно пресные. Лишь на прибрежных косах и пересыпях распространены воды морского типа. Надмерзлотные воды часто обладают выщелачивающей агрессивностью к бетону, в отдельных случаях – общекислотной. Межмерзлотные воды сквозных таликов под реками и озерами совершенно не изучены. Подмерзлотные воды в пределах региона не вскрывались.

На морском побережье, как это установлено для многих районов Арктики, на глубине от единиц до нескольких десятков метров могут быть распространены рассольные воды морского типа с отрицательной температурой, обладающие сульфатной, магниевой и общесолевой агрессивностью к бетону и высокой коррозионной активностью к цветным и черным металлам. Наибольшее содержание внутримерзлотных вод приблизительно до 18–20 % характерно для морских глин и суглинков. Наличие их обуславливает среднюю коррозионную активность грунтов к черным и цветным металлам. В незасоленных глинистых грунтах содержание внутримерзлотной влаги также достаточно велико, примерно 5–15 %. За счет миграции этих вод формируются подземные льды на верхней и нижней границах мерзлых четвертичных отложений.

*Структурная и инженерно-геологическая характеристика слагающих регион формаций и геолого-генетических комплексов пород.* На территории Таймыро-Североземельской складчатой области можно выделить следующие формации четвертичного возраста. *Формации материковых оледенений:* подгруппа глинистые крупнообломочные. Формации представлены глинами, суглинками, супесями, гальками с гравием, щебнем и валунами. Распространены островами практически по всей территории. Основная часть находится в центральной и южной частях. Это гляциальные отложения.

Подгруппа песчаные с крупнообломочными сложена песками, щебнем, валунами, гравием, галькой. Представлены в основном в южной части. Это флювиогляциальные отложения.

*Формации морских бореальных трансгрессий:* подгруппа песчаные с глинистыми. Сложены суглинками, песками, супесями, глинами, приурочены к береговым зонам. Подгруппа глинистые: глины, суглинки, супеси. Подгруппа глинистые с песчаными: глины, суглинки, супеси, пески, песчаники. Эти формации приурочены преимущественно к речным долинам.

*Формации речных долин:* подгруппа песчаные с глинистыми и крупнообломочные. Представлены песками, глинами, суглинками с гравием, галькой, щебнем.

На территории области также встречаются формации дочетвертичного возраста.

*Формации терригенные и терригенно-карбонатные:* Подгруппа глинистые, обломочные, карбонатные: глины, песчаники, конгломераты, известняки, алевролиты, аргиллиты. Распространены на островах Северная Земля и в центральной части Таймырского полуострова.

*Формации интрузивные:* Подгруппа магматические излившиеся. Наблюдаются в северной части региона.

Таким образом, структуру Таймыро-Североземельской складчато-покровной области образуют резко отличные друг от друга комплексы пород. Осадочные образования Южно-Таймырской зоны формировались в условиях шельфа Сибирской платформы. Центральная Таймырская зона имеет аккреционную природу и представлена дорифейскими гнейсовыми, рифейскими карбонатными блоками шельфовой окраины, рифейским островодужными и офиолитовыми блоками; спаянными к концу рифея – в венде и перекрытыми венд-раннекарбонатовыми осадочными комплексами пассивной континентальной окраины Сибири, фациально отличными от одновозрастных осадков Южно-Таймырской зоны. Северо-Таймырская зона сложена поздно-докембрийскими метатерригенными



породами и палеозойскими отложениями, маркирующими пассивную окраину Карского континента.

*Инженерно-геологические процессы и явления региона.* Из современных геологических процессов, протекающих в пределах аккумулятивных равнин, наибольшее инженерно-геологическое значение имеет термокарст, морозобойное растрескивание, морозное пучение, солифлюкция, заболачивание. В результате термокарста происходит проседание фунтов с образованием термокарстовых озер, котловин оседания и некоторых других мезоформ рельефа. Системы морозобойных трещин образуют полигоны с длиной сторон, достигающих сотен метров. Вытаивание ледовых клиньев приводит к формированию байджерахов высотой 1–6 м. Образование многолетних бугров пучения высотой до 1,5 м отмечается на заболоченных поверхностях и на дне спущенных озер, речных поймах и других участках с повышенным увлажнением. Солифлюкция выражается в медленном течении сезонно-талого слоя на пологонаклонных поверхностях без нарушения сплошности почвенного слоя. На склонах крутизной 4–5° за теплый период года грунты деятельного слоя смещаются на расстоянии до 30–40 см. На более крутых склонах отмечаются солифлюкционные оползни и оплывание грунтов. Скорость оплывания грунтов достигает 10 м/сек. Скорость отступления берегов, сложенных сильно льдистыми четвертичными отложениями, под действием термообразии достигает 15–20 м в год. На отдельных же участках берега одновременно происходит образование прибрежных аккумулятивных форм: пляжей и пересыпей.

В горных районах наибольшее инженерно-геологическое значение имеют лавины и гравитационные процессы, за счет которых образуются насыпи, конусы выноса, каменные потоки.

Из современных геологических процессов, влияющих на инженерно-геологическую оценку территории покровного оледенения, важнейшим является движение льдов. Льды куполов малоподвижны, а лишённые трещин края куполов и щитов во внутренних районах островов практически неподвижны. Скорости движения ледников значительны.

Землетрясения, эпицентры которых фиксировались главным образом на материковом склоне и в современных грабенах – проливах, обуславливают среднюю сейсмичность Северной Земли, равную 6 баллам. Однако с учетом того, что данные области с поверхности сложены или плотными скальными породами, или твердомерзлыми грунтами, по прочности не уступающими скальным, балльность в пределах рассматриваемых областей при сейсмическом микрорайонировании может быть снижена до 5. В связи с этим всю Таймыро-Североземельскую сушу практически можно рассматривать как асейсмичную зону.

**Опыт строительства и эксплуатации инженерно-геологических сооружений.** Хозяйственное освоение территории региона слабое. В целом геологическая изученность округа остается самой низкой в России: на большую (75 %) часть его территории отсутствует современная геологическая основа масштаба 1:200 000; не закончено составление и издание государственных карт первого поколения масштаба 1:1 000 000; большинство выявленных месторождений (проявлений) полезных ископаемых только опосредованно, характеризуется крайне низкой степенью геологической изученности или разведано с составлением технико-экономических обоснований, но в эксплуатацию не введено.

Область отличается уникальным географическим расположением с точки зрения транспортных маршрутов. Вблизи северной границы округа проходит трасса Северного морского пути – одна из крупнейших транспортных артерий мира, обладающая огромным потенциалом развития. Одновременно округ находится на пересечении трансполярных воздушных трасс. При этом ни автомобильные, ни железные дороги не связывают Таймыр с остальным миром. Добраться сюда можно только на самолете и по воде – в период летней навигации, которая длится около 3 мес., ходят речные суда по Енисею, а все оставшееся время работают ледоколы.

Опыт строительства накоплен, главным образом, по району порта Диксон путем эпизодических наблюдений за состоянием зданий и других инженерных сооружений. При этом установлено, что большинство зданий, построенных без учета мерзлоты, фундаменты которых не опираются на скальные породы, подвергались деформациям вплоть до разрушительных. Просадки произошли также под дорожными и аэродромными насыпями из песчаных и крупнообломочных отложений. При высоте насыпей 0,6–0,8 м величина просадок составляет 0,25–0,30 м. Величина просадок существенно снижается при добавлении опилок и торфа. Низконапорные земляные плотины, работающие в режиме таяние – замерзания, в течение непродолжительного времени подвергаются полному разрушению.

Особо следует отметить опыт, накопленный при освоении строительных площадок в тундре. Тракторные и вездеходные колеи при движении транспорта в условиях бездорожья со временем превращаются в промоины. На склонах водоразделов промоины трансформируются в овраги. Периодический сток талых вод приводит к росту оврагов, некоторые из которых достигают размеров более 1 км.

Полезные ископаемые Таймыра и Северной Земли находятся в стадии изучения. Проведенные в последние годы исследования позволяют считать эту территорию перспективной в отношении рудных и нерудных полезных ископаемых. Большая часть из них расположена в практически не

освоенных, малозаселенных районах с отсутствующей или слабо развитой инфраструктурой. Относительная недоступность, низкая потребность во многих видах сырья не позволили до настоящего времени вовлечь их в эксплуатацию.

## 2.8. Тихоокеанская геосинклинальная область

### *Границы и экономико-географическая характеристика региона.*

Территория северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса включает как материковую и островную сушу, так и дно окраинных морей Тихого океана. В Евразии этот пояс соответствует Дальнему Востоку, охватываемому около одной четвертой территории России, к востоку от р. Лены, Алдана и Зеи. С севера и востока его омывают моря: Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, Берингово, Охотское и Японское.

Дальний Восток включает восточную часть республики Саха (Якутия), Магаданскую область с Чукотским автономным округом, Камчатскую область с Корякским автономным округом, Сахалинскую область, южную часть Хабаровского края и Приморский край, в экономическом отношении образующие Дальневосточный экономический район.

Природные условия Дальнего Востока характеризуются исключительной контрастностью и неоднородностью, обусловленной его положением на окраине Азиатского материка, большой протяженностью с юга на север (от 42° до 70° с. ш.), сочетанием преимущественно горного рельефа с редкими разобщенными, но достаточно обширными равнинами.

Наиболее освоенная часть Дальнего Востока – бассейн р. Амура и морское побережье. Здесь расположены основные промышленные центры, связанные с сетью дорог, и сельскохозяйственные районы. Дальний Восток характеризуется отдаленностью от основных, наиболее обжитых и развитых регионов страны, а также окраинностью и ограниченностью контактов с единственным соседом – Восточной Сибирью.

Приграничное положение и незамерзающие морские порты создают благоприятные условия для сотрудничества со странами Азиатского и Тихоокеанского региона. Транссибирская и Байкало-Амурская железнодорожные магистрали формируют базу для международных транзитных перевозок.

Вследствие суровости климата и удаленности территории Республика Саха и Магаданская область заселены очень редко. Освоение этих районов имеет очаговый характер. Более плотно заселены Хабаровский край и Амурская область.

Дальний Восток обладает богатейшими лесными и животными ресурсами. Леса на Дальнем Востоке покрывают около 260 млн га территории региона.

Большая часть Камчатки занята редкостойными лесами из каменной берёзы и лиственницы, а по склонам гор произрастают заросли кедрового стланика с ольхой и лишайниками. Для Северного Сахалина характерны редкостойные лиственничные леса, а для Южного – непроходимые заросли бамбука и елово-пихтовая тайга на Курильских островах, в Приморье и Приамурье, где лето тёплое и влажное, произрастают хвойно-широколиственные леса.

Промысловую ценность в дальневосточных морях имеют тюлень, нерпа, белуха. У западных берегов полуострова Камчатка ведется лов крабов. В Приамурье и в Приморье встречаются северные и южные виды животных. Здесь обитают такие сибирские виды, как северный олень, лось, соболь, белка и такие южные, как амурский тигр, пятнистый олень, чёрный медведь, енотовидная собака. Для Курильских островов характерны: нерпа, морской котик и калан.

Разнообразны рыбные ресурсы дальневосточных морей. Важнейшими рыбодобывающими районами являются акватории Камчатки, Охотского побережья, Амурский лиман, побережья Южного Сахалина и Приморья. На первом месте по значению стоят проходные лососевые рыбы – кета, горбуша, нерка, чавыча. На нерест они идут в Амур, в реки Охотского побережья, Камчатки и Сахалина.

Дальний Восток отличается производством цветных металлов, алмазов, слюды, добычей рыбы и морепродуктов, лесной и целлюлозно-бумажной промышленностью, судоремонтном и пушным промыслом. В сельскохозяйственном производстве Дальневосточный регион специализируется на выращивании сои и оленеводстве. Все отрасли рыночной специализации основаны на использовании местных природных богатств. Дальний Восток играет важную роль в морских и внешнеторговых связях России. На экспорт Дальний Восток поставляет каменный уголь, лес, пушнину, рыбу и т. д.

Большое значение для развития региона имеют запасы полезных ископаемых: крупные запасы железной руды, угля (более 15 млрд т, Ленский и Зырянский угольные бассейны), нефти (9,6 млрд т), природного газа (14 трлн м<sup>3</sup>), древесины и гидротехнических ресурсов. В пределах 200-мильной зоны регион располагает морской и океанической акваторией площадью 1,5 млн км<sup>2</sup>. По прогнозным оценкам недра шельфа дальневосточных морей содержат 29 млрд т углеводородов. На Дальнем Востоке добывается свыше 60 % рыбы и морепродуктов России.

Выявлены на территории региона нефтегазоносные провинции: на Сахалине, Камчатке, Чукотке, в Магаданской области, но разрабатываются пока только месторождения нефти Оха и Тунгор на севере Сахалина. Нефть высокого качества, но ее не хватает для удовлетворения потребностей региона.

Располагает Дальний Восток и запасами нерудного сырья: мергелем, известняками, огнеупорными глинами, кварцевыми песками, а также серой, графитом, слюдой.

*Ландшафтно-климатическая характеристика региона.* Природные условия Дальнего Востока имеют неповторимое своеобразие. Расположение региона в пределах подвижного Тихоокеанского пояса мезокайнозойской складчатости, характер и направленность новейших движений обусловили создание различных морфоструктур, нашедших свое отражение в общем характере рельефа. На формирование и расположение ландшафтов оказывает влияние множество факторов: географическая зональность, рельеф и прибрежное расположение региона.

Климат – один из важнейших факторов, определяющих направление формирования инженерно-геологических свойств пород. Положение территории на восточной окраине материка обуславливает муссонный климат со свойственной для него сезонной сменой перемещения воздушных масс. Север Дальнего Востока отличается суровыми климатическими условиями и характеризуется сильным взаимодействием циклонов и антициклонов.

Термический режим характеризуется длительным морозным периодом и коротким безморозным периодом с невысокими температурами. Среднегодовые температуры повсюду отрицательные: от  $-4$  до  $-17^{\circ}$ . Средняя температура января на значительной части территории не превышает  $-20^{\circ}$ , а в бассейнах р. Яны, Колымы, Индигирки не превышает  $-36^{\circ}$ . Устойчивые морозы продолжаются с января по май, создают большие запасы холода в мерзлых грунтах, препятствующие летнему глубокому протаиванию.

Осадки и их распределение в пределах севера Дальнего Востока определяются характером атмосферной циркуляции и горным рельефом, создающим преграды влагонесущим потокам. Общее количество осадков колеблется от 200–400 мм (внутренние зоны) до 700–900 мм (прибрежные районы).

Климат Камчатки можно рассматривать как переходный между муссонным климатом приморских районов Северо-Востока и океаническим Курильских островов. В целом климат Камчатки довольно суровый с продолжительной зимой и коротким прохладным дождливым летом. Средне-

годовая температура воздуха на Камчатке изменяется от  $-4^{\circ}$  на севере до  $0^{\circ}$  на юге. Преобладает пасмурная погода. Восточное побережье теплее западного за счет более высоких зимних температур. Осадки распределены неравномерно. На юге Камчатки сумма осадков в 2–3 раза превышает среднюю годовую сумму испарения, что вызывает избыточную увлажненность.

Климат Курильских островов морской муссонного типа характеризуется сравнительно теплой с частыми оттепелями зимой и прохладным сырым летом с продолжительными дождями от нескольких суток. Среднегодовая температура воздуха не падает ниже  $0^{\circ}$  и изменяется от  $+1,2^{\circ}$  (на северных островах) до  $+5,5^{\circ}$  (на южных). Количество выпадающих осадков до 1000–1500 мм в год, максимум попадает на август-ноябрь. Наиболее интенсивные осадки наблюдаются на южных островах.

Юг Дальнего Востока относится к умеренной области дальневосточного муссонного климата.

**Особенности рельефа и геоморфологии региона.** Характеризуется сложным сочетанием крупных горных массивов, разделенных равнинами разнообразных размеров и очертаний. Разнообразие рельефа определяет и различие инженерно-геологических условий. В пределах Дальнего Востока различают 5 основных генетических групп горного рельефа, отличающихся обликом, высотой, расчлененностью.

1. Экзарационные альпинотипные горы. Занимают небольшие площади в наиболее высоких центральных частях отдельных хребтов (Верхоянского, Черского) и нагорий (Корякского, Омолонского). Рельеф их отличается обилием крутых склонов, острых вершин, зубчатых гребней, узких ущелеобразных долин. Абсолютные высоты гор – 1500–2500 м.

2. Эрозионные горы. Характеризуются узкими острыми гребнями, крутыми склонами. Они часто и глубоко расчленены V-образными и трапецеидальными склонами (центральная часть Сихотэ-Алиня).

3. Эрозионно-денудационные. Это низкие и средневысотные горы на севере, приуроченные к пониженным частям горных массивов. Для них характерны уплощенные вершины. Абсолютные высоты гор колеблются от 500 до 1200 м.

4. Денудационно-эрозионные (холмистые, платообразные). Это наиболее освоенная часть территории.

5. Вулканические горы и нагорья (Камчатка, центральная часть Срединного хребта, Корякское нагорье, на Курильских островах). Это сочетание вулканических хребтов с вершинами, сильно разрушенными ледником. Абсолютные отметки вулканов – 2700–4800 м.

Горные ландшафты занимают большую часть территории, характеризуются сложным мозаичным распространением. Значительную часть их территории занимают горы с тундровым спектром растительности; осевые части хребтов заняты каменистыми лишайниковыми тундрами. Открытые пространства и большие амплитуды температур способствуют интенсивному морозному выветриванию. Строительство в горах осложняется склоновыми процессами.

Равнинные ландшафты представляют наибольший интерес при оценке ведущегося и возможного строительства. Равнины характеризуются небольшими абсолютными высотами (до 200–500 м). Среди равнинных ландшафтов юга Дальнего Востока наиболее широко развиты аккумулятивные озерные и аллювиально-озерные равнины. Сильная заболоченность с торфонакоплением, развитие с поверхности глинистых грунтов мягкопластичной и текучей консистенции с низкой несущей способностью требуют проведения сложнейших мелиоративных работ при освоении этих территорий.

Для суши региона характерно преимущественное развитие горного рельефа со средними высотами до 1000 м. Только Восточная Камчатка с ее крупными вулканами выделяется значительно большими абсолютными высотами (вулканы Ключевская сопка – 4850 м; Камень – 4617 м; Плоский – 4300 м). В Курило-Камчатской области находятся наибольшие глубины северо-западной части Тихого океана, приуроченные к Курило-Камчатской впадине (глубина «Витязя» – 10 542 м). Таким образом, существенное превышение суши над дном океана указывает на значительную интенсивность неотектонических движений. К западу происходит уменьшение градиентов новейших тектонических движений и ослабление вулканических явлений неоген-четвертичного времени. В соответствии с этим уменьшаются абсолютные высоты горных гряд и сокращается роль вулканогенных форм в современном рельефе.

В бассейне р. Индигирки и Колымы крупные гранитные батолиты, выступающие в форме массивов в хребтах системы Черского и в хребте Сунтар-Хаята, поднимаются до 3000 м. Почти такие же высоты наблюдаются к водораздельной части Верхоянского хребта и в Центрально-Корякском нагорье. Для Станового хребта, Джугджура, Сихотэ-Алиня и других максимальными являются отметки около 2000 м.

Важной особенностью горных стран является развитие в большинстве из них реликтов древних поверхностей выравнивания. Современный горный рельеф возник в результате расчленения разновозрастных поверхностей выравнивания, сохранившихся обычно в виде небольших участков

среди глубоко расчлененного горного рельефа, но иногда образующих обширные пологоволнистые поверхности водоразделов.

Горы и нагорья на складчатом основании по степени выраженности в современном рельефе древних складчатых структур и по роли древних поверхностей выравнивания подразделяются на следующие типы: а) с узкими гребнями хребтов и отчетливо выраженным в рельефе планом древних складчатых структур; встречаются сравнительно редко (хребты Верхоянский и Сетте-Дабан); б) с узкими гребнями хребтов, слабо развитыми древними поверхностями выравнивания и отчетливо выраженным в рельефе планом древних складчатых структур; развиты очень широко на Северо-Востоке, юге Дальнего Востока, на Камчатке и Сахалине (хр. Черского, Срединный хребет на Камчатке, Западно-Сахалинские горы, часть Восточного Забайкалья, западный склон Сихотэ-Алиня); в) с резкими гребнями водоразделов и слабо выраженным в рельефе планом древних складчатых структур (Чукотский п-ов, северное побережье Охотского моря, восточный склон Сихотэ-Алиня); г) с широко развитыми на водоразделах древними поверхностями выравнивания и отчетливо выраженным в рельефе планом древних складчатых структур (средняя часть Сихотэ-Алиня, горные гряды Нижнего Приамурья и Западного Приохотья); д) с широко развитыми на водоразделах древними поверхностями выравнивания и слабо выраженным рельефом планом древних складчатых структур.

Характерной особенностью гор на складчатом основании является отражение в их морфологии элементов древней складчатости. Она отчетливо проявляется при унаследованном развитии новейших структур по отношению к древним.

Горы на древнем кристаллическом основании могут быть подразделены на следующие типы: а) с узкими гребнями водоразделов и слабо развитыми древними поверхностями выравнивания (некоторые горные гряды Забайкалья, Становой хребет, приводораздельные участки хр. Джугджур, на востоке Чукотского п-ова); б) массивные, с широко развитыми на водоразделах древними поверхностями выравнивания (горы Восточного Забайкалья); в) горные массивы без правильной ориентировки хребтов со слабо выраженными в рельефе элементами древних структур (горы Восточного Забайкалья в бассейне р. Олекмы и др.).

Важными, а для некоторых горных районов чрезвычайно характерными элементами рельефа являются межгорные впадины, особенно широко распространенные в Забайкалье и в бассейне р. Индигирки. По особенностям геологического строения они подразделяются на аккумулятивные, плоские и волнистые, выполненные мощными толщами кайнозойских отложений, преимущественно аллювиальными и пролювиаль-



ными, и денудационные, плоско-увалистые с маломощным покровом кайнозойских отложений.

Вулканические горы, нагорья и плато являются характерными элементами рельефа рассматриваемой территории, но распространены они неравномерно, преимущественно по окраине материка на Камчатке, Курильских о-вах, в Корякском нагорье, на Сихотэ-Алине и значительно реже в бассейне Среднего Амура. На Северо-востоке, в бассейнах р. Яны, Индигирки и Колымы, известны редкие и небольшие проявления молодого, выраженного в современном рельефе вулканизма.

Вулканические нагорья наиболее типичны для Камчатки и Курильских о-вов. Они состоят из приподнятых платообразных цоколей, над которыми на высоту в несколько тысяч метров воздымаются конусы стратовулканов. В средней и северной частях Срединного хребта Камчатки расположены обширные древние вулканические нагорья. Лавовые плато здесь расчленены, и значительная часть их уничтожена; потухшие вулканические конусы разрушены денудацией. Для восточной вулканической области Камчатки характерен современный вулканизм. Именно здесь находятся все наиболее значительные действующие вулканы полуострова.

В результате древних оледенений распространены троговые долины, цирки, кары, конечноморенные и холмистоморенные ландшафты с ледниковыми озерами, они в огромном количестве встречаются в Верхоянском хребте и хр. Черского, в Верхнеколымском нагорье. При максимальном распространении верхнечетвертичного оледенения долинные ледники спускались на шельф Чукотского и Берингова морей, образовав фиорды Чукотского полуострова и побережья Корякского нагорья, а также затопленные аккумулятивные ледниковые формы.

На территории распространены также ледники. Наиболее разнообразны типы ледников на Камчатке. Здесь встречаются звездообразные, кальдерные, сложные, простые долинные ледники и др. В остальных горных районах в различных соотношениях развиты долинные и каровые ледники. В южной части Дальнего Востока современных ледников нет.

На долю равнинного рельефа приходится сравнительно небольшая часть площади суши. Среди аккумулятивных равнин преобладают озерно-аллювиальные равнины, особенно широко развитые на севере (Колымская, Приморская и Абыйская низменности). Они расположены в пределах погруженных частей Колымского срединного массива и южной части Яно-Чукотской синклинальной зоны. Рельеф низменностей усложняется термокарстовыми микроформами – воронками, небольшими озерами и плоскими западинами. При усилении термокарстовых процессов появляются озерные ванны более крупных размеров.

Морские террасированные равнины на побережье Чукотки и северо-западном побережье Анадырского залива занимают прибрежную полосу шириною до 50 км.

Ледниковые (моренные и флювиогляциальные) равнины образуют сравнительно большие площади вдоль западного склона Верхоянского хребта и в низовьях р. Анадыря. Небольшими участками они встречаются во внутренних районах Камчатки, в межгорных впадинах верховьев р. Индигирки. Они образованы ледниками подножий, возникавшими при слиянии долинных ледников, выходящих из гор на предгорные равнины.

Предгорные наклонные аллювиально-пролювиальные равнины встречаются на юге Верхне-Зейской депрессии, а в южных районах Восточного Забайкалья, в долине Амура, по периферии некоторых межгорных впадин в бассейне р. Индигирки. Структурно-денудационные равнины и плато занимают в рельефе северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса значительное пространство. Среди них выделяются плоско-волнистые, иногда горизонтальные на ненарушенных осадочных отложениях равнины.

Столовые ступенчатые плато с абсолютной отметкой 1300–1400 м чрезвычайно характерны для Охотско-Чукотской зоны. Ими образована широкая полоса (до 200–250 км), вытянутая от Гижигинской губы на северо-восток к Анадырскому хребту. Они сформировались на горизонтальных верхнемеловых – палеогеновых вулканических покровах, образованных лавами и туфами.

Денудационные (аструктурные) равнины или древние поверхности денудационного выравнивания (пенеплены) являются характерными элементами рельефа горных стран. С их развитием связана выравненность вершин хр. Сихотэ-Алинь и других горных поднятий.

Речная сеть Тихоокеанского пояса относится к бассейнам Северного Ледовитого и Тихого океанов. Восточно-Сибирское, Чукотское, Берингово-Охотское и Японское моря являются базисами эрозии р. Яны, Индигирки. Колымы. Анадыря, Пенжины, Уды, Амура и многих других рек. Реки, впадающие в Восточно-Сибирское море, имеют огромные, хорошо сформированные и разветвленные бассейны. К морю долины их расширяются, переходя в озерно-аллювиальные равнины.

Реки бассейна Тихого океана характеризуются чертами молодости: они имеют сравнительно небольшие, слабо разветвленные бассейны, стремительное течение и часто прямолинейные долины. Вследствие этого линия главного водораздела рек Северного Ледовитого и Тихого океанов проходит вблизи северного побережья Охотского моря.

Черты молодости рек Тихоокеанского бассейна, вероятнее всего, объясняются молодостью окраинных морей Тихого океана, возникших в своих современных очертаниях в послеледниковое время, в результате послеледниковой трансгрессии, регионального опускания, а в некоторых случаях и вследствие образования молодых тектонических разрывов.

Берега Берингова, Охотского и Японского морей преимущественно скалистые, абразионные. По отношению к тектоническим структурам берега делятся на продольные и поперечные. Для тихоокеанских морен характерно преобладание продольных берегов (северо-западный берег Японского моря, северо-западный берег Охотского моря, западный берег Камчатки и др.). Для них типичны прямолинейность и отсутствие крупных бухт и заливов. Поперечный берег развит на юге Приморья.

Северо-западная часть Тихого океана характеризуется сложным и разнообразным рельефом. Здесь выделяются равнинные и горные элементы рельефа. Среди равнин различаются: а) затопленные субаэральные равнины, сохранившие первичный наземный облик; б) абразионно-аккумулятивные поверхности волнового выравнивания; в) равнины и пологие склоны неволновой аккумуляции и денудации; г) аккумулятивные равнины, образующие днища котловин и желобов. Горы подразделяются на тектонические и вулканические.

В рельефе Восточно-Сибирского, Чукотского и северной части Берингова моря широко распространены аккумулятивные и абразионно-аккумулятивные равнины. Затопленные озерно-аллювиальные равнины, сохранившие первичный облик, занимают большую часть дна Восточно-Сибирского моря. Характерным элементом донного рельефа северной и восточной частей Охотского моря являются равнины и пологие склоны неволновой аккумуляции и денудации, за пределами которых расположены котловина и три желоба.

Вулканические нагорья и плато, а также некоторые вулканические конусы являются характерным элементом подводного рельефа. Большая часть вулканических форм сосредоточена в районе Курильских островов, преимущественно со стороны моря.

***История геологического развития региона.*** Дальний Восток в широком понимании этого названия охватывает большую территорию страны. Он включает мезозойды Северо-Востока России, Приамурья и Сихотэ-Алиня, значительную часть Восточно-Азиатского вулканогенного пояса и мезозойско-кайнозойские складчатые системы Сахалина, Камчатки, Корякского нагорья и Курильских островов. Последние вместе с Восточной Камчаткой и глубоководными котловинами и желобами часто относят к современной геосинклинали. Вся эта территория вместе с краевыми мо-

рями (Беринговым, Охотским и Японским) принадлежит северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса.

В раннем докембрии сформировались структуры архейд и ранних протерозоид, сохранившиеся в фундаменте Восточно-Чукотского, Охотского, Омолонского, Буреинского и Ханкайского массивов. В раннем палеозое было завершено формирование структур поздних байкалид. В среднем палеозое на больших пространствах шли напряженные и мощные геосинклинальные опускания, что почти полностью исключает наличие на рассматриваемой территории каледонских структур. В позднем палеозое осуществлялась тектоническая перестройка довольно крупных регионов юга Востока России. В мезозое продолжалось после некоторого перерыва геосинклинальное или близкое к нему по типу пригибание в Сихотэ-Алинской, Верхояно-Колымской, Чукотской системах, завершившееся в средней – поздней юре и в мелу формированием складчатых сооружений, охвативших значительные пространства северо-восточной Азии. Важнейшее значение имел мезозойский магматизм. Кайнозой характеризовался образованием островных дуг, составляющих пример гигантских преобразований верхней мантии, четко выраженный на поверхности тектоносферы.

Верхоянско-Чукотская складчатая область создана киммерийской складчатостью (позднекиммерийской, или колымской, конец юры – середина мела). Вдоль юго-восточной окраины этой области протягивается Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, который в южной части Дальнего Востока переходит в Приморский вулканогенный пояс, отделяющий мезозойские структуры Приамурья и центральной части Сихотэ-Алиня. Ларамийской складчатостью создана и Корякская область.

Горные сооружения Сахалина и Камчатки возникли в результате тихоокеанской складчатости, проявившейся в олигоцене и в основном в неоген-четвертичное время, т. е. находятся на орогенном этапе развития. Это – наиболее молодые складчатые и вулканические горы России. Курильские острова еще не завершили геосинклинального развития; это современные островные дуги с расположенным рядом с глубоководным желобом, четко фиксирующие зону субдукции Тихоокеанской литосферной плиты. Обширные площади здесь занимает океаническая земная кора. Собственно для островных дуг характерна ранняя стадия формирования материковой земной коры.

О продолжающейся тектонической активности, особенно по восточной окраине этого пояса, свидетельствует интенсивная вулканическая дея-

тельность, большая амплитуда четвертичных поднятий и высокая сейсмичность региона. В плейстоцене на геоморфологический облик территории существенное влияние оказали горное оледенение и трансгрессии окраинных морей.

Четвертичные отложения представлены преимущественно континентальными осадками (аллювиальные, озерные, озерно-аллювиальные, ледниковые и водно-ледниковые), выполняющими межгорные котловины, долины рек и обширные равнины. В горах особенно широко развиты отложения склонового ряда. На побережье континентальные отложения сменяются морскими, ледниково-морскими и аллювиально-морскими (дельтовыми) осадками.

**Гидрогеологическая характеристика региона.** Подземные воды Дальнего Востока в процессе длительной истории развития претерпели значительные изменения. Тектоническая активизация в послегеосинклинальном периоде вызвала сильную дислоцированность пород и уничтожила их первичную литогенетическую трещиноватость. Преобладание вертикальных неотектонических движений обусловило преимущественно хорошую проницаемость гидрогеологических структур.

В пределах Дальнего Востока условно выделяются две качественно отличные в гидрогеологическом отношении области, характеризующиеся специфическими условиями формирования и распространения подземных вод. Первая область охватывает в основном территорию Северо-Востока и характеризуется преобладающим распространением многолетнемерзлых горных пород. Вторая – охватывает Камчатку, Курильские о-ва и большую часть юга Дальнего Востока, включая Сахалин.

На территории Северо-Востока распространены надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды. Надмерзлотные воды по условиям залегания относятся к грунтовым. Это воды сезонно-талого слоя и воды надмерзлотных таликов. Воды сезонно-талого слоя распространены повсеместно в теплый период года в различных по генезису четвертичных отложениях и в зоне выветривания коренных пород. Выделяют несколько поясов. Первый пояс охватывает водоразделы в зоне климата арктической пустыни и арктической тундры. Водовмещающими являются элювиально-делювиальные крупнообломочные образования. Мощность слоя до 4–5 м. Питание подземных вод осуществляется за счет таяния снежных покровов и ледников, инфильтрации осадков и конденсации паров из воздуха. Длительность существования вод совпадает с продолжительностью периода питания и не превышает 2,5–3 месяцев. Общая минерализация не превышает 0,04 г/дм<sup>3</sup>. Состав гидрокарбонатный и хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый; рН – слабокислая;

температура воды не превышает 1–2°C; отмечается углекислотная агрессивность по отношению к бетону.

Второй пояс захватывает горные склоны; водоносный слой заключен в элювиально-делювиальных крупнообломочных образованиях с песчаным, супесчаным заполнителем. Мощность его изменяется от 0,5 до 6,0 м, питание подземных вод осуществляется за счет притока воды из верхнего пояса, инфильтрации дождевых осадков и конденсации паров из воздуха. Состав хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый; общая минерализация – 0,04–0,08 г/дм<sup>3</sup>; рН – слабокислая; отмечаются воды углекислой, иногда сульфатной агрессивностью по отношению к бетону. Летом они вызывают заболачивание выположенных участков, склонов, солифлюкционные процессы и соскальзывание грунта по мерзлотному основанию. В начале зимы у подножий склонов образуются бугры пучения, наледи.

Третий пояс охватывает приподошвенные части склонов и днища долин поверхностных водотоков. Водовмещающими являются аллювиального, делювиального, ледникового и пролювиального происхождения, состоящие из галечников, щебня, песков с прослоями суглинков, супесей, глин. Коэффициенты фильтрации пород – 50–60 м/сут; мощность слоя к концу летнего периода – до 1–2 м. Питание подземных вод осуществляется за счет таяния снежных покровов и ледников, инфильтрации осадков и притока воды из верхних горизонтов. Длительность периода питания составляет 3 месяца; на побережье Восточно-Сибирского моря – 5 месяцев. Общая минерализация не превышает 0,04–0,10 г/дм<sup>3</sup>. Состав хлоридно-гидрокарбонатный смешанный по катионам; рН – слабокислая, нейтральная; отмечается общекислотная, углекислая и сульфатная агрессивность по отношению к бетону.

Четвертый пояс охватывает низины и впадины. Водовмещающими являются аллювиально-делювиальные, ледниковые, водно-ледниковые, озерные и морские, преимущественно крупнообломочные образования. Коэффициенты фильтрации не превышают 10 м/сут. Мощность водоносного слоя к концу летнего периода – до 1–4 м. Длительность существования горизонта совпадает с продолжительностью периода питания и не превышает 4 месяцев. Общая минерализация не превышает 0,06–0,15 г/дм<sup>3</sup>. Состав гидрокарбонатный натриевый; рН – слабокислая; отмечается общекислотная и углекислотная агрессивность по отношению к бетону.

Надмерзлотные воды таликов включают воды таликов подозерных, речных долин, конусов выноса, предгорий и плоскогорий. Воды таликов речных долин приурочены к песчано-гравийно-галечниковым аллюви-

альным отложениям и к трещиноватым коренным породам зоны выветривания.

*Межмерзлотные воды.* Это воды сквозных и реликтовых таликов и межмерзлотных горизонтов. Воды хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые или натриевые. Минерализация до 3 г/дм<sup>3</sup>, нейтральные или слабощелочные с углекислотной агрессивностью. Подмерзлотные воды – гидрокарбонатные с минерализацией до 3 г/дм<sup>3</sup> и сульфатной или магниевой агрессивностью.

Подземные воды юга Дальнего Востока и Камчатки – болотные, грунтовые, артезианские и трещинно-жильные. Болотные воды заключены в обводненных торфяниках мощностью 1,5–3 м. Следствием периодического переувлажнения грунтов является широкое распространение верховодки, через 1–1,5 месяца после окончания сезона дождей верховодка, как правило, исчезает. Весной и в начале лета происходит формирование верховодки на сезонно-мерзлых грунтах. В этом случае она исчезает при оттаивании мерзлоты в июле-августе. Следствием периодического появления верховодки в зоне аэрации является обводнение строительных площадок. Это приводит к систематическому подтапливанию цокольных этажей зданий, просачиванию верховодки в подвальные и полуподвальные помещения.

Артезианские воды вскрываются при разведке и эксплуатации угольных и нефтяных месторождений. Воды, приуроченные к терригенным и вулканогенным породам, преимущественно инфильтрационного генезиса. Их химический состав формируется за счет выщелачивания солей из вмещающих пород, катионного обмена, диффузионного перемещения ионов. Преобладают пресные и слабосоленоватые воды гидрокарбонатного натриевого и натриево-кальциевого состава. Сильносоленоватые воды распространены на Камчатке. Их минерализация – до 15 г/дм<sup>3</sup>, состав хлоридный натриевый. На Сахалине эти воды повышенной минерализации (35 г/дм<sup>3</sup>).

Трещинно-жильные воды локализуются в зонах повышенной тектонической активности. Они носят напорный характер, образуют родники дебитом 5 л/с. По генезису – преимущественно инфильтрационные. Минерализация не превышает 1 г/дм<sup>3</sup>. Воды гидрокарбонатного кальциево-натриево-кальциевого или магниево-кальциевого состава. Благодаря высокой температуре и наличию специфических компонентов (кремниевой кислоты, углекислоты, сероводорода, йода, мышьяка и др.) трещинно-жильные воды часто обладают целебными свойствами и используются в бальнеологии.

*Инженерно-геологические процессы и явления региона.* Комплекс современных геологических процессов и явлений Дальнего Востока отличается большим разнообразием. Ландшафтно-климатическая зональность обуславливает общую зональность современных процессов и их различную интенсивность. На Северо-Востоке преобладают физическое выветривание и процессы, обусловленные наличием многолетней мерзлоты (термокарст, термоабразия, солифлюкция и др.); на юге Дальнего Востока – заболачивание, эрозия. На Камчатке и Курильских островах развиты процессы, связанные с современным вулканизмом, повышенной сейсмичностью и воздействием цунами.

**Физическое выветривание.** В условиях резко континентального и сурового климата Северо-Востока и в гольцовой зоне юга Дальнего Востока интенсивное разрушение пород и глубокое проникновение поверхностной трещиноватости происходят в результате морозного выветривания. По данным Э. Э. Титова (1972), устойчивость горных пород к физическому выветриванию выражается следующим рядом по мере уменьшения способности противостоять агентам выветривания: 1) магматические породы (граниты, гранодиориты, диориты, андезиты, базальты, диабазы); 2) метаморфические породы (гнейсы, роговики); 3) осадочные породы (песчаники, мергели, доломиты, конгломераты, граувакки, глинистые сланцы).

Склоновые процессы наиболее активно протекают в горах Северо-Востока, лишенных хорошо развитого почвенного покрова и растительности. На юге Дальнего Востока задернованность и залесенность склонов существенно затормаживают, а иногда и прерывают их развитие.

Осыпание – наиболее активно и широко развитый процесс, распространенный на значительной части склонов Северо-востока и в верхнем поясе гор юга Дальнего Востока.

В зоне распространения многолетнемерзлых пород широко развиты курумы шириной 20–50 м, длиной 100–300 м и крутизной 18–30°. Мощность обломочного материала в курумах редко превышает 3 м. Курумы обычно располагаются в ложбинообразных понижениях. Морфологические признаки свидетельствуют о высокой подвижности материала курумов не только вниз по склону, но и в вертикальном разрезе.

Оползневые процессы на большей части описываемой территории имеют ограниченное распространение. На юге Дальнего Востока наиболее крупные оползни приурочены к краевым частям базальтовых и андезитобазальтовых покровов.

К своеобразным склоновым процессам относятся снежные лавины, формированию которых способствуют повышенные снегозапасы, интенсивный перенос снега ветром, сильно расчлененный рельеф и большая



крутизна склонов. Сход лавин наблюдается чаще всего в период больших метелей при сильном ветре.

В комплексе склоновых процессов особое место принадлежит солифлюкционному процессу, являющемуся основным агентом денудации в пределах низкогорий и плоскогорий. В районах островного распространения многолетнемерзлых пород солифлюкция развита слабо.

Криогенные процессы, развитые в зоне многолетнемерзлых пород, отличаются большим разнообразием. Одна группа процессов связана с ростом многолетней мерзлоты (подземные и жильные льды, пучение, наледеобразование и др.), другая – с ее деградацией (термокарст). Наиболее широко криогенные процессы развиты в пределах обширных низменностей и межгорных впадин, сложенных рыхлыми высокольдистыми породами.

Среди подземных льдов на рассматриваемой территории выделяются повторно-жильные, инъекционные, термокарстово-пещерные и погребенные.

Пучение, являющееся одним из распространенных мерзлотных процессов, развито не только в зоне многолетнемерзлых пород, но и в зоне глубокого сезонного промерзания. Наиболее интенсивно пучению подвержены тонкодисперсные и торфяные отложения, в местах скопления влаги.

Наледи наибольшего развития достигают в горных районах Северо-Востока, расположенных в зоне сплошной многолетней мерзлоты. Выделяются многолетние и сезонные наледи. Последние встречаются и вне области многолетнемерзлых пород, где они появляются в октябрь-ноябре, а сходят в апреле-мае. Наледи приурочены к долинам малых рек и притоков.

Термокарстовые процессы широко развиты на поверхности Яно-Индибирской, Колымской, Ванкаремской, Чаунской, Анадырской и других низменностей, в межгорных котловинах и речных долинах Северо-Востока, где в аллювиальных отложениях залегают повторно-жильные льды. Возникновение и развитие термокарста происходит при нарушении растительного покрова, уменьшении или увеличении влажности пород. Наиболее частой причиной возникновения термокарста являются морозобойное растрескивание и эрозия, которые нарушают дерновый покров, способствуют увеличению глубины протаивания и вскрытию глубоких льдистых горизонтов. Развитие термокарстового процесса происходит также из-за нарушения человеком естественных условий.

Эрозионные процессы в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород протекают своеобразно и проявляются в форме интен-

сивной боковой эрозии при весьма незначительной глубинной эрозии. Этим, вероятно, объясняется тот факт, что реки Северо-Востока с незначительными по размерам водотоками текут в чрезвычайно широких плоскостных долинах. Разрушению берегов способствуют процессы термоабразии и солифлюкционного оплывания.

Делювиальному смыву, протекающему в условиях Северо-Востока в тесной связи с солифлюкционными процессами, способствуют: высокий коэффициент стока, грубый механический состав коллювия, высокая его пористость, наличие водоупора (вечная мерзлота) и разреженный растительный покров.

Процессы заболачивания характерны для плоскоравнинных пространств всей территории Дальнего Востока. В области развития многолетнемерзлых пород причиной заболачивания являются: избыточное увлажнение, незначительные уклоны и близкое залегание подошвы сезонно-талого слоя.

Карст на территории Дальнего Востока не имеет широкого развития из-за незначительного распространения карстующихся карбонатных пород. На Северо-Востоке карст развит слабо. Незначительное количество поверхностных карстовых форм – карстовых воронок, небольших пещер, суходолов встречается в районах развития карбонатных пород протерозойского возраста.

Расположение региона в пределах Тихоокеанского тектонического пояса обуславливает высокую сейсмичность территории. Наиболее активной в этом отношении является область «живущей» геосинклинали – Камчатка и Курильские острова, которые отличаются высокой энергией и частотой происходящих здесь землетрясений. Основная масса эпицентров протягивается полосой вдоль Тихоокеанского побережья.

Большой ущерб и разрушения причиняет вызванная землетрясениями гигантская приливная волна – цунами. Фокусируясь некоторыми формами прибрежного подводного и надводного рельефа, цунами обрушиваются на тихоокеанский берег Камчатки и Курил. Они нередко достигают высоты 20 м и обладают колоссальной энергией.

Вулканизм весьма активно проявляется в пределах Камчатки и Курильских островов, где слабые извержения наблюдаются почти ежегодно (сильные – один раз в несколько лет, а катастрофические – не более одного раза в 50–60 лет).

*Опыт строительства и изменение инженерно-геологических условий в связи с различными видами строительства.* В пределах Тихоокеанского складчатого пояса четко выделяются 3 зоны: I – зона сплошного распространения многолетнемерзлых низкотемпературных по-

род с температурой меньше  $-2,5^{\circ}$  и устойчивым температурным режимом; II – зона островного распространения многолетнемерзлых высокотемпературных пород с температурой от нуля до  $-2,5^{\circ}$  и неустойчивым температурным режимом; III – зона глубокого (до 3 м и более) сезонного промерзания пород.

Обеспечение устойчивости различных объектов достигается правильным выбором использования грунтов в зависимости от геолого-мерзлотных условий. Грунты основания могут использоваться в мерзлом состоянии, в течение всего периода эксплуатации, а также в оттаивающем и оттаявшем состоянии. В первом случае необходимость сохранения в мерзлом состоянии сильнольдистых грунтов вызывается значительной их просадочностью при оттаивании. В твердомерзлом состоянии они практически несжимаемы под нагрузкой от сооружений, а при оттаивании превращаются в пльвун и почти полностью теряют несущую способность. Данной проблемы не возникает при строительстве неотапливаемых зданий и сооружений; если строятся здания и сооружения с тепловыделением, то проблема решается путем проветривания подполий, слабая вентилируемость которых может являться причиной деформации сооружений.

Широко используются свайные фундаменты. В настоящее время применяется два способа погружения свай в мерзлые грунты: 1) предварительное пропаривание мерзлых грунтов; 2) погружение свай в предварительно пробуренные скважины, применяемые практически для всех видов грунтов.

При строительстве зданий и сооружений на оттаивающих основаниях следует предусматривать необходимые конструктивные усиления фундаментов и стен, исключающие опасные деформации при неравномерной осадке основания. Для улучшения свойств основания льдонасыщенные грунты часто заменяют на определенную глубину ниже подошвы фундаментов талыми песчаными или крупнообломочными грунтами.

В пределах второй зоны (Амурская область, Хабаровский край, Охотское приморье Магаданской области и часть Корякского национального округа) трудность проведения инженерно-геологических изысканий, проектирования и строительства обуславливается большой пестротой мерзлотно-грунтовых условий. Многолетнемерзлые породы приурочены в основном к заболоченным участкам низменностей и межгорных впадин, к северным склонам гор и к участкам ветрового сноса. Талые грунты, независимо от их гранулометрического состава, характеризуются значительной степенью поверхностного увлажнения.

Строительство по принципу сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов основания на большей части территории второй зоны неприемлемо.

Сравнительно небольшое число промышленных и гражданских зданий построено с предварительным оттаиванием грунтов основания. Это обусловлено тем, что при оттаивании грунтов за счет инсоляции, парооттайки и электрооттайки строители сталкиваются с трудностями. В случае инсоляции солнечного тепла оказывается недостаточно; парооттайка влечет нежелательно увлажнение грунтов, а электрооттайка малоэффективна, поскольку оттаивание почти не распространяется на глубину и ограничивается самым верхним слоем грунта.

Более целесообразным и прогрессивным оказалось строительство по принципу допущения оттаивания мерзлых грунтов основания в процессе эксплуатации зданий и сооружений. Устойчивость их обеспечивалась конструктивными мероприятиями (армирование фундаментов и стен, применение железобетонных каркасов и др.).

Большинство зданий и сооружений, построенных в зоне островного распространения многолетнемерзлых грунтов, успешно эксплуатируется в течение многих лет и не испытывает заметных деформаций. Эти здания построены, как правило, на свайных фундаментах, опирающихся на талые грунты.

Строительство в зоне глубокого сезонного промерзания. На равнинных территориях рассматриваемой зоны преобладающими грунтами оснований возводимых зданий и сооружений являются обладающие достаточно большой несущей способностью суглинки, супеси, глины, характеризующиеся в основном устойчивой структурой. Несмотря на это возможны деформации малоэтажных зданий и легких сооружений из-за нарушения их устойчивости; основными причинами являются пучение песчано-глинистых грунтов и пучение совместно с осадкой. В связи с этим на строительных площадках, где глинистые пучинистые грунты подстилаются водопроницаемыми грунтами, еще в 60-х гг. стали применяться столбчатые фундаменты с дренирующими прослойками. Отвод воды из прослоек осуществляется в слои водопроницаемого грунта, подстилающего суглинистые грунты основания. Величина пучения таких фундаментов не превышает 10 мм, в то время как на площадках строительства с аналогичными инженерно-геологическими условиями при применении фундаментов других типов малоэтажные здания в зимний период подвержены морозному выпучиванию, подвалы их затапливаются водой.

Наименьшие нарушения природного сложения грунтов застраиваемых площадок происходят при применении свайных фундаментов для бесподвальных зданий. На объектах, возведенных на свайных фундаментах, ни в одном случае не отмечены неравномерные осадки, в то время как деформации зданий на ленточных фундаментах не единичны. Применение

свайных фундаментов позволяет успешно решать важную проблему борьбы с пучением, но не исчерпывает ее полностью. Из-за опасности выпучивания малозагруженных свайных опор приходится применять сваи почти вдвое большей длины, чем это требуется, учитывая только несущую способность грунтов основания.

На восточном побережье Камчатки в результате землетрясений здания и сооружения подвергаются различным повреждениям, которые зависят от инженерно-геологических и гидрогеологических условий, объемно-планировочных работ и конструктивных решений, качества строительства и проектирования. При одинаковых геологических, гидрогеологических и других условиях здания, имеющие большее заглубление, имели меньшие повреждения.

При строительстве на скальных грунтах устойчивость зданий максимальная. Крупнопанельные здания, строящиеся в различных грунтовых условиях, достаточно сейсмостойки. Многоэтажные здания, сооруженные на неблагоприятных в сейсмическом отношении грунтах, но с применением свайного основания или монолитной железобетонной плиты, переносят землетрясение вполне удовлетворительно.

Линейное строительство дорог в I-й зоне. На льдистых мелкодисперсных грунтах строительство осуществляется с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов в основании насыпи. На слабольшедистых валунно-гравийно-галечниковых грунтах строительство дорог ведется с допущением оттаивания грунтов в основании насыпи, так как мерзлое состояние таких грунтов мало или почти не оказывает влияния на устойчивость земляного полотна.

Опыт строительства и эксплуатации дорог, построенных с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов основания, показывает, что при достаточной высоте насыпи с пологими откосами под земляным полотном формируется новое положение границы многолетнемерзлых грунтов: ее конфигурация в определенной мере повторяет очертание поперечного профиля насыпи в сглаженной форме. Создается так называемая мерзлотная полка, которая имеет небольшой уклон в стороны от насыпи. Это обеспечивает подземный водоотвод надмерзлотных вод и увеличивает устойчивость земляного полотна.

Другим средством защиты грунтов от протаивания является теплоизоляционная мохо-торфяная подушка начальной толщины 60–70 см.

При строительстве дорог во II-й зоне, характеризующейся выпадением ливневых дождей, наиболее приемлем метод прогнозирования глубины протаивания и величины осадки высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов основания насыпи с учетом отепляющего воздействия

надмерзлотных (поверхностных) вод, так как строительство насыпей высотой более 4–5 м для сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов основания очень дорого, оттаивание перед постройкой с помощью снятия растительного слоя и частичного выторфовывания дорого и малоэффективно.

Серьезную опасность как при строительстве новых дорог, так и при эксплуатации в третьей зоне создают наледи. Эффективных мер по борьбе с наледями пока нет.

Опыт строительства насыпей железнодорожного полотна на наледных участках показывает, что во избежание наледных процессов насыпь должна пропускать подземные воды. Для этого на насыпи необходимо устраивать водопропускные трубы, лотки или небольшие мосты. Однако эти сооружения, как правило, нарушают естественные гидрогеологические условия местности, тем самым способствуя развитию наледных процессов. Фильтрующие насыпи, построенные из материала, легко пропускающего воду, не только не нарушают естественного состояния грунтов, но и служат теплоизолятором, уменьшая глубину промерзания грунта. Наледи в них никогда не образуются.

В качестве основания опор мостов в первой зоне используются как коренные породы (в случае их неглубокого залегания), так и рыхлые отложения. Последние могут находиться в мерзлом и талом (обводненном) состоянии. Наблюдение за эксплуатацией мостов, построенных на свайных фундаментах по принципу допущения оттаивания грунтов основания, показывает, что на самом деле оттаивания не происходит. Температура мерзлых грунтов основания, наоборот, понижается, так как на сравнительно небольшом участке мостового перехода при возведении фундаментов для мостовых опор погружается значительное количество свай, обладающих большей теплопроводностью, чем окружающие грунты. Количество холода, поступающего в грунты основания через сваи при длительном периоде с отрицательными температурами воздуха, значительно превышает количество тепла, поступающего в грунт в теплый период. Поэтому в грунтовом основании формируется отрицательный баланс. После строительства мостов и других сооружений на этих участках возникают наледи, которые до строительства не наблюдались, что свидетельствует также о быстром промерзании подрусловых потоков. Опыт эксплуатации мостов, построенных на так называемом «оттаивающем» основании, показывает, что все мосты при правильных гидравлическом и конструктивном расчетах не испытывают заметных деформаций.

## 2.9. Горные сооружения Альпийской складчатой зоны (Кавказ)

### *Границы, экономика и географическая характеристика региона.*

Территория Кавказа ограничена с севера Русской платформой, с юга – Иранской платформой, с запада – Черноморской глубоководной впадиной, с востока – Каспийской впадиной и занимает площадь порядка 0,5 млн км<sup>2</sup>.

Наряду с богатыми гидроэнергетическими ресурсами на Кавказе имеются месторождения нефти, газа, каменного угля, железа, марганца, меди, свинца, цинка, редких металлов, а также нерудных полезных ископаемых: барита, бентонитовых глин, диатомита, талька, стройматериалов, мрамора и др.; здесь насчитывается более 300 минеральных источников.

На Кавказе получили широкое развитие нефтехимическая и химическая промышленность, металлургия и машиностроение, пищевая и легкая промышленность, зерновое земледелие, разведение винограда и субтропических культур. Бальнеологические курорты Северного Кавказа и Закавказья и климатические курорты Черноморского побережья получили всемирное признание.

Территория Кавказа характеризуется свойственными горно-складчатым областям исключительно сложными инженерно-геологическими условиями, предопределенными большим разнообразием геологических формаций от допалеозоя до четвертичного времени, их интенсивной тектонической нарушенностью, многообразием геоморфологических форм, активной неотектоникой и современной сейсмотектоникой и резкой сменой климатических ландшафтов. С историей геологического развития основных геоструктурных единиц и перечисленными природными факторами тесно связаны условия осадконакопления, процессы литификации, тектогенеза, метаморфизма, гипергенеза горных пород и характер циркуляции подземных вод, формирующие региональные инженерно-геологические условия, сложный фон которых обусловлен наличием на территории Кавказа почти всех геологических типов пород – от скальных (метаморфических и интрузивных) до особо слабых лессов, болотных глеевых глин и современных илов на шельфе Черного, Каспийского и Азовского морей.

*Инженерно-геологические процессы и явления региона.* На Кавказе широко развиты все современные геологические процессы (за исключением вечной мерзлоты): оползни, обвалы, сели, сейсмогеологические деформации, карст, просадки, эрозия, абразия морских берегов и другие, приносящие значительный ущерб народному хозяйству и осложняющие процесс планомерного освоения больших территорий.

*Структурно-формационные зоны.* Кавказский горно-складчатый регион на современном этапе развития состоит из четырех структурно-формационных зон (Милановский, Хаин, 1963).

I. Зона Предкавказских передовых (краевых) прогибов на севере граничит с эпигерцинской Предкавказской платформой, а на юге – с мегантиклинорием Большого Кавказа. Зона включает три прогиба: Индоло-Кубанский, Терский и Кусаро-Дивичинский, выполненные мощными третичными образованиями молассовой формации, которые перекрыты довольно мощным покровом четвертичных аллювиальных, морских и континентальных (лессовых) формаций.

II. Мегантиклинорий Большого Кавказа – сложное горное сооружение, осевая зона которого в наиболее приподнятом сегменте – антиклинорий Главного хребта – сложена нижнепалеозойской метаморфической формацией, прорванной интрузиями палеозойских гранитоидов.

Роль северного крыла мегантиклинория Большого Кавказа играет Лабино-Малкинская моноклинал, представленная морскими терригенной и карбонатной формациями мезозоя. Лабино-Малкинская моноклинал сочленяется с антиклинорием Главного хребта посредством Тырны-Ауз-Пшекишской шовной зоны, сложенной сильномятыми пестроцветными терригенными образованиями палеозоя, а также аргиллитами и аспидными сланцами юры. В восточной части Кавказа роль северного крыла антиклинория играет зона известнякового Дагестана (юра, мел).

С юга к геоантиклинали Главного хребта примыкает Сванетская зона геосинклинали Южного склона, сложенная мощной сильномятой толщей среднего палеозоя и мезозоя. На юге Сванетская зона сменяется Абхазо-Рачинской, выполненной мощными свитами, – сланцевой лейаса и порфиритовой байоса, испытавшими складчатость в предверхнеюрское время. К западу и востоку Сванетская зона расширяется, переходя во флишевые прогибы северо-западного и восточного (Местиа-Тианетская зона) Кавказа.

В восточной части мегантиклинория Большого Кавказа осевое положение занимает зона Центрального сланцевого поднятия Большого Кавказа, сложенная мощными терригенными толщами нижней и средней юры, смятыми в изоклиналиные складки. Роль периклиналиных зон играют на западе Таманская и на востоке Апшероно-Кобыстанская зоны поперечных погружений, выполненные мощными толщами терригенных образований неогена.

Четвертичные отложения в пределах мегантиклинория Большого Кавказа распространены локально и представлены ледниковыми, флювиогляциальными, вулканическими, пролювиальными и делювиальными об-



разованиями, мощность которых значительно возрастает в молодых внутривулканических эрозионно-тектонических котловинах.

III. Закавказская межгорная зона представлена сочетанием межгорных прогибов и впадин и разделяющих их приподнятых срединных массивов. Наиболее приподнят Дзирульский массив, сложенный метаморфической формацией палеозоя, герцинскими и юрскими гранитоидами и резко сокращенным разрезом мезокайнозойских отложений. С севера и северо-запада к нему примыкает Окрибско-Сачхерская зона предверхнеюрской консолидации, выполненная вулканогенной и терригенной средней юрой и карбонатным мелом. К западу от срединного массива расположен Западно-Грузинский межгорный прогиб, включающий Гурия-Имеретинскую, Абхазско-Менгрельскую и Рача-Лечхумскую зоны, сложенные мощными морскими терригенными и молассовыми формациями кайнозоя, собранными в складки покровного типа. Осевая часть этого прогиба представлена Колхидской впадиной, покрытой мощной толщей третичных моласс, четвертичных, морских, аллювиальных и болотных отложений.

К востоку от Дзирульского массива расположен обширный Куринский межгорный прогиб, постепенно погружающийся с запада на восток и состоящий из Карталинской депрессии и Алазанской впадины, сложенных мощной молассовой формацией плиоцена, покрытой аллювиально-пролювиальными отложениями обширных четвертичных террас. Восточная часть межгорного прогиба замыкается Нижнекуринской впадиной, погруженной в Прикаспийской зоне за антропоген более чем на 1 км, сложенной мощными верхнетретичными и четвертичными морскими и континентальными отложениями.

IV. Мегантиклинорий Малого Кавказа, в отличие от мегантиклинория Большого Кавказа, не имеет хорошо выраженного осевого поднятия. В северной части структурно и морфологически четко прослеживается Аджаро-Триалетская зона, представляющая собой веерообразный антиклинорий, возникший на месте геосинклинального прогиба, сложенного мощными вулканогенно-карбонатными отложениями верхнего мела, флишево-вулканогенным нижним и средним палеогеном и терригенным верхним эоценом.

В структурном плане Малого Кавказа выделяется Сомхето-Карабахский антиклинорий с выступами палеозойского фундамента – Локским и Храмским массивами и перекрывающими их маломощными терригенными отложениями лейаса и мощными вулканогенно-осадочными толщами юры и мела. Севанский синклинорий выполнен мощными вулканогенно-осадочными отложениями палеогена, неогена, а в Севанской впадине – и антропогена. Мисхано-Зангезурский антиклинорий, примыкающий к Се-

ванскому синклинию с юго-запада, сложен метаморфической формой нижнего палеозоя, на которой залегают верхнедевонские осадочные отложения.

Указанные структуры Малого Кавказа в значительной части перекрыты Армяно-Ахалкалакским вулканическим щитом, представленным мощными континентальными эффузивами позднеогеново-четвертичного возраста.

Араксинский межгорный прогиб, обрамляющий горное сооружение Малого Кавказа с юго-востока, выполнен мощными миоценовыми и плиоценовыми молассаами, перекрытыми четвертичными континентальными отложениями, чередующимися с лавовыми потоками. К Малому Кавказу относят и Тальшскую складчатую зону (брахиантиклинорий), сложенную мощными вулканогенно-терригенными комплексами палеогена.

Шельф Черного, Каспийского и Азовского морей является морским продолжением указанных структурно-формационных зон Кавказа. Шельфовая зона характеризуется блоковым строением с ярко выраженной дифференцированной неотектоникой, обусловившей резко различные условия литогенеза в опущенных и приподнятых блоках, образующих шельфовые ступени.

*Основные закономерности строения рельефа и ландшафтно-климатическая зональность, геоморфологические особенности региона.* В молодых горно-складчатых странах, наиболее типичным примером которых служит Кавказ, наблюдается зависимость морфоструктур рельефа от геологического развития тектонических структур в позднеорогенную стадию. Климатическая зональность, обусловленная значительным колебанием абсолютных отметок от –28 м (урез Каспия) до 5 000 м и более (Главный Кавказ), способствовала формированию большой гаммы ландшафтов: от вечных снегов и ледников Большого Кавказа до субтропиков Причерноморья и полупустынь Кура-Араксинской низменности с соответствующими им морфоструктурами рельефа, почвенно-растительным покровом, современными геолого-генетическими комплексами отложений и геологическими процессами.

На территории Кавказа выделяются четыре геоморфологические провинции, совпадающие с основными структурно-формационными зонами.

1. Предкавказье представляет собой равнину шириной до 300 км и длиной 800 км, протянувшуюся от Азовского моря до Каспийского. В пределах этой провинции выделяются геоморфологические области: Керченско-Таманская грядово-холмистая область, Западно-Кубанская наклонная аллювиально-пролювиальная равнина (дельта Кубани и ее террасы) с абсолютными высотами до 100 м, Восточно-Кубанская и Минера-

ловодская наклонные аккумулятивные и денудационные равнины и островные горы (лакколиты), Терско-Кумская наклонная равнина с абсолютными отметками от  $-28$  до  $100$  м, разделенная Терским и Кабардино-Сунженским хребтами с прямым тектоническим рельефом и абсолютными отметками  $700-900$  м. В восточной части Предкавказской равнины выделяется Кусаро-Дивичинская аккумулятивно-денудационная наклонная равнина.

Для обширных территорий Северо-Кавказской равнины характерен климат умеренно теплых полупустынь и сухих степей. Среднегодовая температура воздуха  $+10 - +12^{\circ}$ , в жаркие месяцы (июль)  $+19 - +23^{\circ}$ , в январе  $-1,3 - -4,9^{\circ}$ . Годовой баланс увлажнения в восточной части равнины (Кизляр, Прикумск) отрицательный ( $0,4-0,5$ ), к западу (Краснодар) несколько увеличивается ( $0,7$ ). Аридно-континентальные условия способствовали отложению мощных толщ лессов и лессовидных суглинков, что нашло отражение в ландшафте в виде блюдец и других форм «лессового» карста.

Для низкогорных зон Предкавказья ( $300-1\ 000$  м) характерен умеренно теплый климат. Здесь отмечается избыточное увлажнение ( $1,0-1,5$ ). Количество осадков  $500-650$  мм. Зима мягкая, с неустойчивым снежным покровом, лето умеренно жаркое, среднегодовая температура плюс  $9-10^{\circ}$ .

2. Большой Кавказ – это мощная горная провинция, образованная высоко- (до  $5\ 000$  м), средне- и низкогорными линейными хребтами с тектоническим блоковым и эрозионно-денудационным рельефом. В пределах Большого Кавказа выделяется ряд областей. Северо-Западный, или Причерноморский Кавказ, – относительно узкая ( $30-60$  км) система из нескольких взаимно параллельных хребтов высотой в восточной части до  $1$  км, а к северо-западу постепенно снижающихся и на Таманском полуострове представленных лишь низкими грязевыми сопками. Рельеф, развитый на субстрате флишевых пород мезокайнозоя, имеет очертания и не носит следов современного оледенения.

3. Закавказская депрессия срединным Сурамским (Дзирульским) плосковершинным хребтом ( $1-1,5$  км), служащим водоразделом между Каспийским и Черноморским бассейнами, разделяется на две части: Рионскую (Колхидскую) низменность на западе и Куринскую впадину (низменность) на востоке. Рионская низменность представляет собой аллювиально-морскую равнину с абсолютными высотами  $0-10$  м, а в осевой интенсивно погружающейся части Колхидской впадины локальные углубления характеризуются отрицательными отметками ( $-1-2$  м). В краевых частях низменности, в зоне Гурийского и Абхазско-Менгрельского предгорных прогибов, развит холмистый рельеф на субстрате глинисто-

песчанистых отложений третичной системы. Среди этого рельефа выделяется Южно-Менгрельская известняковая гряда (200–500 м), приуроченная к брахиантиклиналям Аведати, Эки, Урта и другим, развитым вдоль активного и в настоящее время Менгрельского глубинного разлома.

**Общие закономерности гидрогеологических условий региона.** Глубина залегания уровня грунтовых вод Предкавказья варьирует в широких пределах – от 0 до 30 м. На террасах рек она достигает 2–10 м, увеличиваясь от нижних к верхним, а в поймах не превышает 2 м; на наклонных предгорных равнинах колеблется от 30 м в верхних частях до нуля в области выклинивания; на делювиальных склонах – от 15 до 1 м; в дельтах рек и приморской части составляет 0–5 м. Грунтовые воды многих районов Северного Кавказа обладают сульфатной и углекислой агрессивностью в условиях естественного режима. Повышенная сульфатность характерна для слабОВОДОБИЛЬНЫХ высокоминерализованных грунтовых вод соленосных палеоген-неогеновых глин.

Существенную опасность для строительства представляет подтопление, возникающее при широких масштабах ирригационных мероприятий на Северном Кавказе на фоне общего повышения уровня грунтовых вод в результате орошения.

Главный Кавказский хребет является водоразделом подземного стока, направленного от центральной наиболее приподнятой его части к северу – в сторону предгорных прогибов Северного Кавказа, к югу – в сторону Закавказского межгорного прогиба (Грузинско-Азербайджанская глыба), а также в зоны северо-западного и юго-восточного погружения мегантиклинория Большого Кавказа. В наиболее высокогорной части выделяется область грунтовых (трещинных) вод кристаллического субстрата Большого Кавказа, которой свойственны ультрапресные подземные воды, циркулирующие в трещинах элювиальной зоны кристаллических пород. В зависимости от времени года грунтовые воды этой области характеризуются резкими колебаниями расхода и температуры; естественные их ресурсы, рассчитанные по гидрографу, составляют 34 м<sup>3</sup>/с. Помимо пресных вод в зонах молодых разломов и четвертичного вулканизма широко развиты агрессивные углекислые воды («нарзаны»). В зонах гипергенеза кристаллических пород встречаются воды с сульфатной агрессивностью.

**Опыт строительства в регионе.** Сооружение взаимосвязанных Шаорского и Ткибульского гидроузлов, расположенных в сложных условиях высокогорных карстовых массивов с общим перепадом высот более 1 км, и опыт многолетней их эксплуатации подтвердили возможность строительства гидротехнических сооружений в карстовых районах Грузии. Благодаря правильной оценке инженерно-геологических условий,

прогнозированию степени активизации карста на основе детального структурно-литологического анализа и изучения режима взаимосвязи поверхностных и подземных карстовых вод удалось показать, что даже в областях с активным проявлением карста можно выбрать благоприятные участки и принимать конструктивные меры против влияния этого геологического процесса на устойчивость сооружений и водоудерживающую способность горных водохранилищ.

На Кавказе широко развито ирригационное и мелиоративное строительство. Многие десятки тысяч гектаров заболоченных и засушливых земель уже освоены и с успехом используются для выращивания различных сельскохозяйственных культур.

Проектирование и строительство населенных пунктов, отдельных зданий, сооружений, промышленных и хозяйственных объектов предопределили накопление значительного опыта инженерно-геологических исследований. За последние годы значительно реконструированы города и расширены их границы; построены новые населенные пункты; увеличена этажность зданий и сооружений и усовершенствованы строительные конструкции. Все это определило качественно новые задачи инженерно-геологической службы.

При решении задач городского строительства инженерно-геологические исследования проводят в основном по двум направлениям: 1) исследования, связанные с реконструкцией существующих застроек; 2) исследования примыкающих к городу заселенных территорий. Особое значение с инженерно-геологической точки зрения придается вопросам реконструкции, так как в связи с увеличением этажности зданий следует учитывать и решать задачи возможного воздействия на грунты основания расположенных вокруг старых зданий и сооружений. Застройка свободных площадей также имеет свою особенность. В пределах перспективной застройки развита густая сеть сильно пересеченного погребенного рельефа, представляющего собой размытую поверхность коренных пород. Резкое различие в мощностях покровных отложений определяет необходимость точного картирования погребенного рельефа. Это необходимо как для наземного, так и для подземного строительства.

Для ряда городов Северного Кавказа основной проблемой является строительство и эксплуатация зданий на лессовых породах. Просадки лессовых пород в городах Грозном, Буденновске, Георгиевске, Малгобеке и других привели к значительным деформациям крупных сооружений. Для обеспечения нормальных условий строительства и эксплуатации разработаны и применяются следующие меры борьбы с просадочностью.

Метод поверхностного уплотнения лессовых пород тяжелыми трамбовками дает хорошие результаты при небольшой мощности просадочной толщи (до 3–5 м). Он успешно применен при подготовке оснований Изобильненского сахарного завода. Здесь объемная масса лессовидных суглинков в слое мощностью 2,5–3,0 м возросла с 1,35–1,50 до 1,70–1,75 г/см<sup>3</sup>. Поверхностное трамбование широко применяется при уплотнении лессовых пород при возведении промышленных сооружений в Ставрополе.

**Метод поверхностного замачивания.** Для полной ликвидации просадочности необходимо длительное время (3–8 месяцев) и равномерное промачивание всей просадочной толщи, что на практике обеспечить очень трудно. Поэтому предварительное замачивание лессовых пород стало применяться с последующим уплотнением верхнего слоя грунта тяжелыми трамбовками или с устройством послойно уплотненного земляного экрана мощностью 2,0–2,5 м. Этот метод подготовки основания на просадочных породах применяется в восточных районах Ставропольского края и в Республике Чечне. Кроме того, используются методы устройства свайных оснований как на всю мощность лессовой толщи, так и только верхней части. Это висячие сваи, силикатизация, обжиг лессовых грунтов через скважины и получение обожженных свай, имеющих необходимую несущую способность. В Грозном был применен способ предварительного замачивания с использованием энергии взрыва, что обеспечило необходимое уплотнение лессовых грунтов. Было осуществлено также площадное термическое закрепление грунта для основания крупного сооружения площадью 3000 м<sup>2</sup>. Обжигу подвергалась толща просадочного лессового грунта мощностью 9 м, залегающая на глубине 6–7 м. Продолжительность обжига составила 577–976 ч, после чего лесс полностью утратил просадочные свойства и превратился в полускальную породу. Во всех случаях выбор надежного способа ликвидации просадочности обеспечивался на основе детальных инженерно-геологических исследований и определения степени просадочности лессовых пород на конкретных объектах.

В Краснодаре и его окрестностях наблюдаются деформации зданий, вызванные набуханием и усадкой покровных глинистых грунтов в зоне переменной увлажненности в зависимости от атмосферных осадков. В результате проявляется значительное давление набухания, что часто служит причиной деформации малоэтажных зданий.

Особое значение приобретает инженерно-геологическая оценка условий строительства для Дагестана, в частности, для Махачкалы, расположенной в сейсмически активной области. Территория города характеризуется разнообразием инженерно-геологических условий и частой сменой

литологического состава пород. Глины сарматского возраста, повсеместно распространенные в пределах города, имеют общую мощность несколько сотен метров. Четвертичные отложения хазарской, хвалынской и новокаспийской террас перекрывают сарматские отложения и имеют мощность до 25 м. Уровень грунтовых вод в пределах города высокий. Сейсмическая интенсивность для основной части территории Махачкалы равна 7 баллам. На карте сейсмического микрорайонирования города выделены 4 района с различной степенью сейсмической активности, требующие индивидуального подхода к проектированию и проведению антисейсмических мероприятий. В зависимости от вида оснований и несущей конструкции для строительства рекомендованы как наиболее сейсмостойкие следующие типы строений:

а) здания с несущими кирпичными, каменными, крупноблочными, крупнопанельными стенами, стенами из монолитного бетона, железобетона и сборные здания из объемных железобетонных элементов;

б) каркасные здания с диафрагмами жесткости или заполнением панелей каркаса, участвующих в восприятии сейсмических сил;

в) каркасные здания с навесными панелями, мало включающимися в работу каркаса при действии сейсмических сил.

Первая группа зданий, как правило, отличается наибольшей жесткостью, последняя – наименьшей.

Значительные трудности возникают в условиях г. Махачкалы при устройстве фундаментов сооружений в четвертичных грунтах со слабой несущей способностью, при наличии грунтовых вод с высоким уровнем и агрессивностью. Применение фундаментов из сборных железобетонных и бетонных блоков экономически не выгодно, поэтому рекомендованы и в последнее время внедряются свайные фундаменты, которые играют ведущую роль в конструкциях зданий, возводимых в сейсмических районах.

Уникальным примером опыта строительства в районах, интенсивно пораженных оползнями, является Большой Сочи. На его территории, занимающей площадь 200 км<sup>2</sup>, развито более 5000 оползней, причем большинство из них ежегодно активизируется. Мамайский оползень на морском склоне в междуречье Агура-Хоста, включая Ахунский оползень, по площади достигает нескольких квадратных километров с глубиной захвата 10–20 м и более. Значительное их количество зафиксировано в береговой полосе Центрального и Хостинского районов г. Большой Сочи, где развито свыше 330 оползней, поражающих в годы максимальной активизации до 40 % территории их развития.

Постройка галереи закрытого типа и другие меры оказались бесполезными. Поэтому выполненный комплекс берегоукрепительных и проти-

воползневых мероприятий (подпорные и волноотбойные стены с застенным дренажом, тетраподы, гидросмыв сползающих пород, регулирование поверхностного водостока, посадка деревьев, железобетонная галерея закрытого типа с массивными порталами) позволил приостановить развитие оползней в нижней части склона вдоль трассы железной дороги. Однако в верхней части склона наблюдаются частые оползневые деформации полотна автодороги, поэтому дальнейшее освоение Мамайского косогора будет производиться только после приостановки всех оползней участка.

Опыт строительства и возросшие материально-технические возможности позволили перейти в последние годы к сооружению на оползневых склонах зданий повышенной этажности, рассчитанных на 8-балльную сейсмичность. При возведении этих зданий в качестве фундаментов широко используются монолитные железобетонные плиты и буронабивные сваи, как правило, применяемые в комплексе с противооползневыми (подпорные стены, дренаж, регулирование стока) и берегоукрепительными (волноломы, буны, рисбермы, траверсы, тетраподы) сооружениями.

Дорожное строительство на Кавказе, имеющее столетнюю историю, связано с решением задач проектирования в сложных условиях сильно пересеченного горного рельефа при интенсивном развитии разнообразных геологических процессов: оползней, обвалов, осыпей, снежных лавин, селей, речной эрозии и морской абразии.

Анализ опыта дорожного строительства производится в соответствии с определенными геолого-геоморфологическими условиями: а) предгорная область с терригенно-осадочными отложениями и мощным делювиальным чехлом; б) горные участки с развитием скальных эффузивно-осадочных пород; в) горные участки с интенсивным развитием процессов выветривания в древних кристаллических породах.

Наиболее характерным примером участка первого типа является полоса Черноморского побережья от Сухуми до Туапсе длиной до 300 км, где борьба с оползнями вдоль железной и автомобильной дорог ведется с начала текущего столетия. Основные осложнения в процессе строительства и эксплуатации дорог вызваны развитием нескольких крупных групп оползней побережья – Петропавловской, Новоафонской и Сухумской, приуроченных к глинистым отложениям майкопской свиты и их делювию, а также оползней Большого Сочи и приморской полосы Сочи-Туапсе, приуроченных к терригенно-карбонатному флишу палеогена и покрывающему его глинистому и глинисто-щебнистому делювию.

Линейная пораженность оползней на этих участках достигает 50 %, что во многом определяется абразией берегового склона. Здесь выделяются два типа оползней: неглубокие оползни пластического течения, глав-



ным образом в глинистом делювии, и глубокие оползни скольжения – с захватом коренных пород, с подводной разгрузкой языков оползня на дне моря. Борьба с неглубокими пластическими оползнями осуществляется довольно успешно облегченными подпорными стенками и агролесомелиорацией склонов. В случае оползней второго типа мероприятия по отводу вод, планировке склонов и их агролесомелиорации комбинируются с активными мерами защиты от абразии: устройством бун, волноломов, траверсов с отсыпкой искусственных пляжей, которые противодействуют энергии волн, защищая берег от размыва, а также пригружают языковую часть оползней, что осуществлено на ряде Сухумских и Новоафонских оползней и близ Сочи.

Как показали морские инженерно-геологические исследования, большинство оползней с подводной разгрузкой выклинивается на отметках – 4–6 м. Эти глубины моря вполне доступны для заложения берегозащитных сооружений современных конструкций, и в случае отсыпки галечно-гравийного материала они обеспечат устойчивость береговой зоны моря. Трудности и большие затраты в процессе эксплуатации вызваны недостаточным инженерно-геологическим обоснованием и отставанием защитных мероприятий по укреплению откосов и насыпей от строительства и сдачи в эксплуатацию полотна железной и автомобильной дорог.

В результате вскрытия и увеличения крутизны древнеоползневых склонов, сложенных быстро выветривающимися аргиллитами и глинами, последние уже через 1–2 года теряют устойчивость, формируя новые очаги оползней и обвалов, иногда очень крупных. Этому способствует постоянная вибрация от движущегося транспорта, а также разуплотнение пород под воздействием буровзрывных работ. Примерами образования оползней в результате подсечек склонов выемками являются: оползневой участок – 33–35-й километр железной дороги Туапсе – Адлер, а также откосы автомобильной дороги Новороссийск – Батуми на участке Михайловского и Ишатского перевалов. Здесь отставание строительства сравнительно простого комплекса защитных сооружений (подпорные стенки и водосливные каналы) всего на два года привело к потере глубинной устойчивости нагорного низового откосов шоссе, полотно которого неоднократно срывалось вниз по склону на десятки метров, и осуществляемые уже больше десятилетия противооползневые мероприятия к надежной стабилизации склонов не привели.

Хозяйственная деятельность человека особенно ярко отражается на изменении природных условий береговой зоны Кавказского побережья Черного, Азовского и Каспийского морей, где из-за недостаточно продуманного строительства морских гидротехнических сооружений происхо-

дит усиление абразионной деятельности и сокращение ценной береговой зоны вследствие недоучета геологических условий и физико-механических свойств донных отложений и влияния береговых оградительных сооружений на динамику береговой зоны смежных участков. Так, после строительства Батумского, Очамчирского, Сухумского и Сочинского портов наблюдалось резкое изменение режима динамики береговой зоны. Это привело к значительным размывам приморской территории, сопровождающимся разрушением сооружений, построенных в этой полосе.

Анализ методов борьбы с размывами берегов Черноморского побережья Кавказа показал, что как пассивные берегоукрепительные стены, так и активные методы берегозащиты (буны, волноломы, траверсы) не могут стабилизировать береговую зону. Гарантией этого может быть лишь восстановление естественных контуров пляжей. Кроме того, сооружения, построенные на береговой зоне моря, нарушают естественные природные условия и часто не могут противостоять разрушительной силе штормовых волн. Особенно это относится к волноотбойным стенам.

### 3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Цель практических занятий – закрепление и расширение теоретических знаний, полученных на лекциях и при самостоятельной работе, приобретение навыков и умений обработки результатов исследований.

#### ***Часть 1. Инженерно-геологическая характеристика геологических формаций платформенного и геосинклинального типов***

На основе анализа стратиграфической колонки одного из регионов России дать инженерно-геологическую характеристику геологических формаций двух тектонических структур – платформенного и геосинклинального типов.

Анализ стратиграфической колонки производится по следующему плану:

– по геологической и тектонической картам России определить географическое, геологическое положение района, тип и название геологической структуры;

– определить класс формаций: геосинклинальный, платформенный, орогенный; описать признаки, по которым определен класс;

– описать стратиграфический объем каждой формации, состав слагающих ее пород, выделить геолого-генетические комплексы;

– описать условия осадконакопления и дать инженерно-геологическую характеристику каждой формации, выделенной в колонке.

Необходимые материалы:

– стратиграфическая колонка, на которой выделены формации;

– геологическая карта РФ;

– тектоническая карта РФ.

– пояснительная записка к Государственной инженерно-геологической карте СССР масштаба 1:2 500 000 1972 г. и последующих годов выпуска.

#### ***Часть 2. Инженерно-геологическое заключение для одного из регионов России***

Используя набор карт: тектоническую, геоморфологическую, новейшей тектоники, четвертичных отложений, гидрогеологическую, инженерно-геологическую и литературные источники, написать инженерно-геологическое заключение для одного из регионов.

Источники информации в сети Интернет: портал «Геология» проект «Электронная Земля». На этом веб-сайте расположено несколько проектов по геодинамике, геохимии, металлогении и электронной картографии. Бо-

лее подробно смотрите в разделе карты <http://earth.jbcc.ru/>. Интерактивные геодинамическая и геологическая карты России.

Сайт Института геоэкологии РАН. База знаний: карты <http://www.hge.spbu.ru/mapgis/>. Представлены обзорные тематические карты и интерактивные ГИС системы.

Для выполнения задания используется интерактивное представление карт из «Атласа гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР» / под ред. М.В.Чуринова. Гл. упр. геодезии и картографии при Совете министров СССР. М., 1983.

Состав интерактивного Атласа: оглавление, аннотация к атласу и записка.

1. Карта основных элементов водного баланса и водных ресурсов СССР. Масштаб 1:7 500 000.

2. Карта естественных ресурсов подземных вод СССР (подземного стока зоны интенсивного водообмена). Масштаб 1:7 500 000.

3. Карта зоны аэрации СССР. Масштаб 1:5 000 000:

а) условные обозначения к карте зоны аэрации СССР.

б) колонки-разрезы к карте зоны аэрации СССР.

4. Генетические типы водообмена грунтовых вод через зону аэрации на территории СССР. Масштаб 1:15 000 000.

5. Гидрогеологическая карта СССР. Грунтовые воды. Масштаб 1:5 000 000.

6. Гидрогеологическая карта СССР. Напорные воды. Масштаб 1:5 000 000:

а) условные обозначения к гидрогеологической карте СССР масштаба 1:5 000 000 (грунтовые и напорные воды).

б) список гидрогеологических колонок по бассейнам подземных вод.

в) колонки к гидрогеологической карте СССР.

7. Схема гидрогеологического районирования СССР. Масштаб 1:15 000 000.

8. Карта гидродинамической структуры СССР (верхний гидродинамический этаж). Масштаб 1:7 500 000.

9. Карта гидродинамической структуры СССР (нижний гидродинамический этаж). Масштаб 1:7 500 000.

10. Схема распространения региональных водоупоров на территории СССР. Масштаб 1:15 000 000.

11. Схема районирования территории СССР по условиям формирования режима грунтовых вод. Масштаб 1:15 000 000.

12. Карта гидрогеохимической структуры СССР. Масштаб 1:7 500 000.

13. Схема типизации элементов гидрогеохимической структуры СССР. Масштаб 1:15 000 000.

14. Газогидрогеохимическая карта зоны гипергенеза территории СССР. Масштаб 1:7 500 000.

15. Газогидрогеохимическая карта зоны катагенеза территории СССР. Масштаб 1:7 500 000.

16. Схема типизации газогидрогеохимических условий территории СССР. Масштаб 1:15 000 000.

17. Карта гидрогеотермической структуры СССР. Масштаб 1:7 500 000

18. Схема типизации гидрогеологических структур СССР по геотермическим показателям. Масштаб 1:15 000 000

19. Карта модулей эксплуатационных ресурсов пресных и солоноватых подземных вод СССР. Масштаб 1:7 500 000.

20. Карта-схема распространения и использования минеральных (лечебных) вод СССР. Масштаб 1:15 000 000.

21. Карта-схема ресурсов и перспектив использования термальных вод СССР. Масштаб 1:15 000 000.

22. Карта-схема перспектив использования промышленных подземных вод СССР. Масштаб 1:15 000 000.

23. Инженерно-геологическая карта СССР. 1. Стратиграфо-генетические комплексы и инженерно-геологические группы горных пород. Масштаб 1:7 500 000.

24. Инженерно-геологическая карта СССР. 2. Характер структурных связей, состояние горных пород и районирование. 1:7 500 000.

25. Карта современных геологических процессов и условий их развития на территории СССР. Масштаб 1:7 500 000.

26. Рельеф СССР. Масштаб 1:7 500 000.

*Примерный перечень регионов, рекомендуемых для изучения:*

1. Западно-Сибирская плита (ее северная или южная часть).

2. Алтай (горный или рудный).

3. Русская платформа.

4. Алтае-Саянская горная страна.

5. Кавказ.

6. Крым.

7. Карпаты.

8. Сибирская платформа.

9. Прибайкалье.

10. Забайкалье.

11. Урал.
12. Камчатка.
13. Сахалин.
14. Дальний Восток (северная или южная часть).
15. Туранская плита.
16. Казахстан.

*Порядок выполнения задания:*

1. Установить и охарактеризовать тип геологической структуры: геологические формации, состав пород, их генезис и возраст, геоморфологию, подземные воды, физико-геологические процессы.

2. Составить и обосновать схему инженерно-геологического районирования региона. В качестве основы для такой схемы можно использовать любую геологическую, в том числе безмасштабную, карту-схему. На ней выделить: инженерно-геологический регион 1-го и других порядков, области и районы.

3. Проанализировать полученный материал и охарактеризовать выделенные таксонометрические единицы.

4. Составить инженерно-геологическое заключение, т. е. дать оценку одного из видов строительства (промышленного, гражданского, дорожно-го, шахтного, гидротехнического, мелиоративного и т. д.).

5. Дать прогноз изменения инженерно-геологических условий после освоения территории.

Работа выполняется в виде краткой записки объемом 8–10 с., которая прилагается к схеме районирования. В записке выделить следующие разделы:

- границы региона;
- ландшафтно-климатические условия (климат, рельеф, гидрология);
- структурная и инженерно-геологическая характеристика слагающих регион формаций и геологических комплексов пород;
- гидрогеологические условия региона;
- главные геологические процессы и региональные закономерности их развития и распространения;
- опыт строительства и изменение инженерно-геологических условий в связи с различными видами строительства.

## Список литературы

Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР / под ред. М. В. Чуринова; Гл. упр. геодезии и картографии при Совете министров СССР. М., 1983.

*Захаров М. С.* Картографический метод в региональных инженерно-геологических исследованиях: учеб. пособие / С.-Петербург. горный ин-т. СПб., 1997.

Инженерная геология СССР. Т. 1. Русская платформа / под ред. И. С. Комарова. М.: Изд-во МГУ, 1978.

Инженерная геология СССР. Т. 2. Западная Сибирь / под ред. Е. М. Сергеева. М.: Изд-во МГУ, 1976.

Инженерная геология СССР. Т. 3. Восточная Сибирь / под ред. Г. А. Голодковской. М.: Изд-во МГУ, 1977.

Инженерная геология СССР. Т. 4. Дальний Восток / под ред. Е. К. Чаковского. М.: Изд-во МГУ, 1977.

Инженерная геология СССР. Т. 5. Алтай. Урал / под ред. Е. В. Трепещова, И. В. Попова, Г. М. Терешкова. М.: Изд-во МГУ, 1978.

Инженерная геология СССР. Т. 8. Кавказ. Крым. Карпаты / под ред. И. М. Буачидзе, К. И. Джандшгава, М. В. Чуринова. М.: Изд-во МГУ, 1978.

Инженерная геология СССР. Урал, Таймыр и Казахская складчатая страна / под ред. И. А. Печеркина, С. Г. Дубейского, В. П. Бочкарева. М.: Недра, 1990.

*Кирюхин В. А. Норова Л. П.* Региональная инженерная геология (теоретические основы): учеб. пособие. С.-Петербург. горный ин-т (технический университет). СПб., 2004.

*Учебное издание*

**Коноплев Александр Владимирович**  
**Ковалёва Татьяна Геннадьевна**

## **РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

Учебное пособие

Редактор *Л. Л. Савенкова*  
Корректор *А. В. Цветкова*  
Компьютерная верстка *А. В. Коноплева, Т. Г. Ковалёвой*

---

Подписано в печать 15.11.2016. Формат 60×84/16  
Усл. печ. л. 11,16. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_

---

Издательский центр  
Пермского государственного  
национального исследовательского университета.  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография ПГНИУ.  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15