



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

**Кафедра «Геотехника и экология в строительстве»**

**Г. А. Колпашников**

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

**Пособие**

**Минск  
БНТУ  
2017**

Г. А. Колпашников

## ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Пособие для студентов специальностей

- 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,  
1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»,  
1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»,  
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»,  
1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»,  
1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные  
машины и оборудование»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области строительства и архитектуры*

Минск  
БНТУ  
2017

УДК 624.131.1(075.8)

ББК 38.5я7

К61

**Рецензенты:**

кафедра «Динамическая геология» Белорусского государственного университета (зав. кафедрой, д-р геогр. наук, проф. *В. Н. Губин*);  
канд. геол.-минерал. наук, главный геолог РУП «Геосервис» *Ю. В. Заико*

**Колпашников, Г. А.**

К61 Инженерная геология : пособие для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью», 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены», 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / Г. А. Колпашников. – Минск: БНТУ, 2017. – 93 с.

ISBN 978-985-550-838-1.

В пособии рассматриваются общие вопросы о Земле, основы инженерной геологии, гидрогеологии и динамики подземных вод. Содержатся сведения об условиях залегания горных пород и их инженерно-геологических особенностях. Дается обоснование инженерно-геологического районирования территории Республики Беларусь.

Пособие может быть полезно геологам, гидротехникам, экологам, географам, почвоведом, горным инженерам и строителям.

**УДК 624.131.1(075.8)**

**ББК 38.5я7**

**ISBN 978-985-550-838-1**

© Колпашников Г. А., 2017

© Белорусский национальный  
технический университет, 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Представленный в данном пособии материал является сокращенным вариантом ранее опубликованного издания «Инженерная геология», допущенного Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов строительных специальностей учреждений, обеспечивающих получение высшего образования.

Пособие состоит из трех глав, которые соответствуют курсу инженерной геологии.

Первая глава содержит общие сведения о Земле как планете Солнечной системы. Вторая посвящена особенностям залегания горных пород и их инженерно-геологическим свойствам. Третья глава содержит сведения об инженерно-геологических условиях Республики Беларусь.

В пособии впервые представлены инженерно-геологические карты Беларуси и текстовый материал в объеме, необходимом для использования в учебном процессе. Ряд карт сопровождается геологическими разрезами, что способствует усвоению дисциплины. Значительное внимание уделено описанию опасных геологических процессов. Содержатся материалы для самостоятельной работы.

Пособие может быть использовано при наземном, подземном, гидротехническом, мелиоративном строительстве, а также при сооружении мостов, тоннелей, газопроводов, нефтепроводов.

# 1. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ – НАУКА О ЗЕМЛЕ

## 1.1. Связь инженерной геологии с другими науками

Под инженерной геологией в настоящее время следует понимать науку, изучающую земную кору как среду жизни и деятельности человека.

В инженерной геологии выделяют три основные инженерно-геологические дисциплины: *грунтоведение*, изучающее горные породы как грунты; *инженерную геодинамику*, которая изучает как естественные геологические, так и инженерно-геологические процессы и явления; *региональную инженерную геологию* – раздел инженерной геологии, изучающий закономерности пространственно-временной изменчивости инженерно-геологических условий в зависимости от истории развития земной коры и современных физико-географических условий. Инженерная геология имеет связь с другими науками (рис. 1.1).

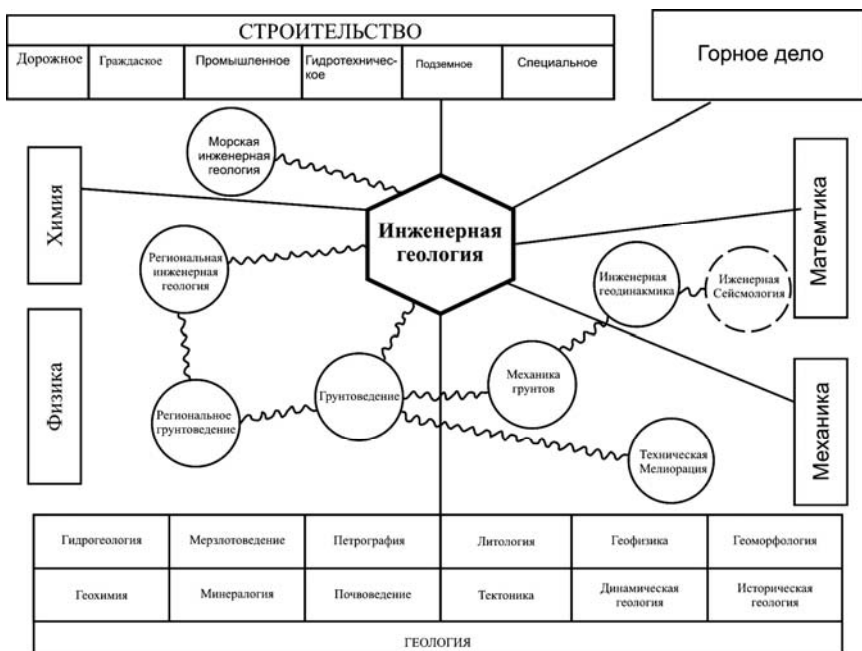


Рис. 1.1. Связь инженерной геологии с другими науками

## 1.2. Строение и состав Земли

Все тела Солнечной системы состоят из элементов периодической системы Менделеева. Все вещества имеют единое происхождение в небольшой промежуток времени. До недавнего времени, пока не был получен первый каменный материал с поверхности Луны, метеориты представляли собой единственный внеземной космический материал. С помощью радиологических исследований установлено, что большинство метеоритов имеет одинаковый возраст – 4,5–4,6 млрд лет. Это совпадает с современными оценками возраста Земли и Луны.

Удивительное совпадение возраста метеоритов с возрастом нашей планеты говорит о том, что время формирования Земли и метеоритов (или более крупных тел (астероидов), в состав которых они первоначально входили) относится к древней эпохе в истории Солнечной системы. Можно также допустить, что рождение планет нашей системы было событием одновременным (синхронным); точнее, образование планет происходило за относительно короткий интервал времени.

Земля является наиболее крупной из всех внутренних планет. В то же время она имеет большой спутник – Луну, по массе равную 1/81 массы Земли.

Земной шар сложен из оболочек, различных по плотности и составу, концентрически обволакивающих друг друга (рис. 1.2). Верхними оболочками Земли являются атмосфера и гидросфера. Атмосфера граничит с космическим пространством.

Твердое тело планеты состоит из трех главных оболочек: коры, мощной мантии и центрального ядра.

Поверхность твердого тела Земли имеет неровный характер. Горные вершины и хребты чередуются с обширными равнинами на материках. В свою очередь, материки представляют собой приподнятые над уровнем моря участки земной коры.

Под земной корой подразумеваем верхний слой твердого тела Земли, находящийся между поверхностью и так называемой сейсмической границей Мохоровичича. На ней отмечают резкий скачок в увеличении скоростей сейсмических волн, возникающих при сильных землетрясениях. Проходя через границу Мохоровичича, продольные

сейсмические волны с глубиной увеличивают свою скорость от 6,5 до 8 км/с, а поперечные – от 3,7 до 4,5 км/с.

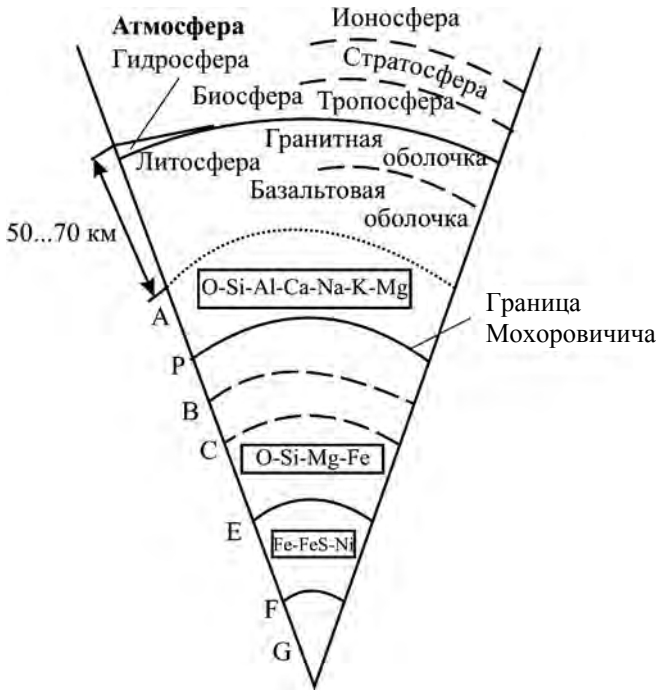


Рис. 1.2. Схема строения Земли:

*A* – земная кора (0–33 км, 2,7–3,0 т/м<sup>3</sup>); *B* – верхняя мантия (33–400 км, 3,32–3,65 т/м<sup>3</sup>); *C* – переходный слой (100–400 км, 3,65–4,65 т/м<sup>3</sup>); *P* – нижняя мантия (1000–2900 км, 4,68–5,69 т/м<sup>3</sup>); *E* – внешнее ядро (2900–5000 км, 9,4–11,5 т/м<sup>3</sup>); *F* – граница внешнего и внутреннего ядра (5000–5100 км, 11,5–12 т/м<sup>3</sup>); *G* – внутреннее ядро (5100–6371 км, 12,0–123 т/м<sup>3</sup>)

Нижняя граница земной коры, фиксируемая поверхностью Моховичича, находится на разной глубине. Под материками она достигает глубины 70 км, под океанами – 10 км. В среднем континентальная кора имеет мощность 35 км, океаническая – 5–10 км. Такая неодинаковая толщина земной коры в области разных полушарий связана с различием состава ее горных пород.

Океаническая кора сложена базальтовым материалом, континентальная – материалом, близким по составу к гранитам.

*Земная кора* – наиболее неоднородная оболочка Земли, сложенная различными минеральными ассоциациями. Она продукт геологического развития нашей планеты и динамически наиболее активный слой верхней части твердого тела Земли. Это арена деятельности геологических процессов с прямым и косвенным участием живого вещества планеты.

Земная кора имеет слоистое строение и состоит из трех компонентов горных пород: осадочных, образующих осадочный слой, или геосферу; метаморфических, образующих метаморфическую геосферу; магматических, образующих гранитную геосферу и подстилающий базальтовый слой (рис. 1.3). Все слои имеют прерывистое строение и местами некоторые отсутствуют. Так, в области Тихого океана полностью отсутствует гранитный слой. В пределах континентов, в области развития так называемых докембрийских щитов, иногда отсутствуют осадочные породы.

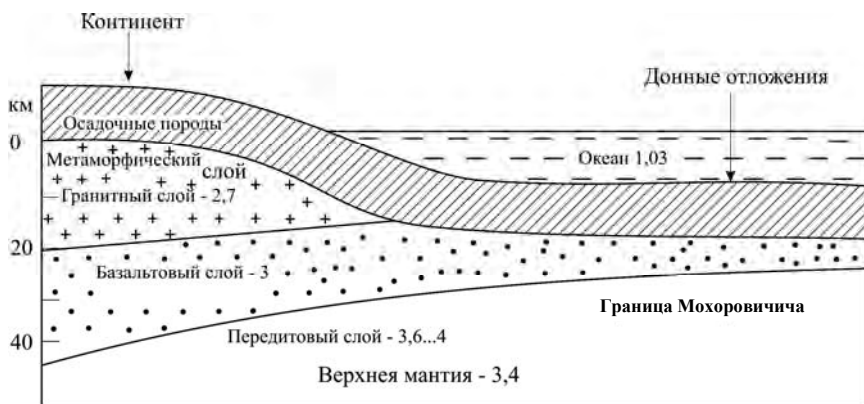


Рис. 1.3. Строение земной коры (с указанием плотностей материалов, т/м<sup>3</sup>)

Осадочные породы:

- а) песок, глина, известняк, песчаник – образуются за счет разрушения древних пород;
- б) мел, известняк, каменный и бурый уголь, торф – образуются за счет деятельности живых организмов;
- в) соли – возникают химическим путем в высыхающих водоемах.

Магматические породы возникли в процессе кристаллизации магмы (алюмосиликатный расплав) при  $t = 500\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$ . К ним



относятся граниты (серый, розовый; состав: полевой шпат, кварц, слюда) и их разновидности.

*Верхняя мантия* – силикаты (оливин, пироксен, гранаты).

*Нижняя мантия* – минералы высокой плотности. Наиболее распространенный минерал в составе мантии – оксид кремния.

*Ядро Земли* – внутренняя область, глубже 2900 км.

*Внешнее ядро Земли* – жидкое (большое). Оно не пропускает поперечных сейсмических волн. Силы сцепления между ядром и нижней мантией отсутствуют.

В свете современных данных геофизики и физики высоких давлений, а также данных космохимии, допускается, что ядро Земли в основном сложено жидким железом с примесью никеля.

*Внутреннее ядро Земли* (свыше глубины 5000 км) является наиболее неизученным объектом. Не исключено, что оно имеет тот же состав, что и внешнее ядро, но находится в твердом состоянии.

Из сказанного можно сделать выводы:

1) земля имеет слоистое зональное строение. Она состоит из земной коры, силикатно-окисной оболочки – мантии и жидкого металлического ядра;

2) основные свойства Земли свидетельствуют о том, что ядро находится в жидком состоянии, и только железо – один из наиболее распространенных металлов с примесью некоторых легких элементов (вероятно, серы) – способно обеспечить эти свойства;

3) в верхних своих горизонтах Земля имеет асимметричное строение, охватывающее кору и верхнюю мантию. Океаническое полушарие в пределах верхней мантии менее дифференцировано, чем противоположное континентальное.

### 1.3. Радиоактивность Земли

Самопроизвольный распад неустойчивых атомов отражает историю создания Земли в далеком космическом прошлом, когда происходило образование различных атомов химических элементов как устойчивых, так и неустойчивых.

Современная радиоактивность Земли связана главным образом с присутствием радиоактивных изотопов:  $U^{238}$ ,  $U^{235}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$ .

При радиоактивном распаде выделяется тепловая энергия. Следовательно, в системе вещества в присутствии радиоактивных

элементов происходит непрерывное выделение теплоты, в результате чего повышается температура тела. Таким телом является Земля как в целом, так и в отдельных своих частях. Радиоактивность – один из факторов, определяющих большой круговорот вещества в земной коре и реализацию полного геохимического цикла (рис. 1.4). Кора Земли значительно в меньшей степени радиоактивна, чем мантия.

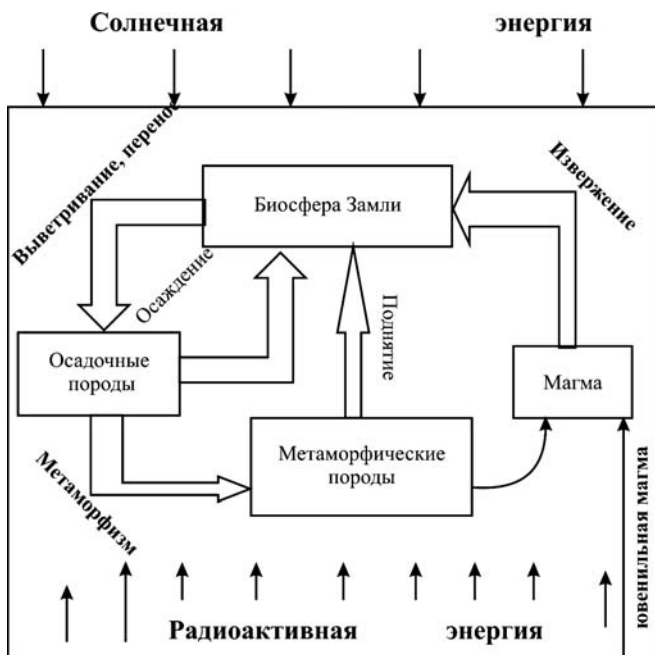


Рис. 1.4. Круговорот веществ (полный)

Разными исследователями выявлено, что радиоактивная Земля генерирует до  $10 \cdot 10^{20}$  кал в год радиогенной теплоты.

Земля путем теплопроводности и излучения непрерывно отдает свою теплоту в мировое пространство.

В настоящее время геотермическими измерениями разной густоты покрыта вся поверхность Земли, включая дно океанов. Оказалось, что величина тепловых потоков на единицу поверхности одинакова как на континентах, так и на дне океанов. Однако в области океанов радиоактивные элементы сосредоточены глубоко.

Установлено, что температура в мантии под океанами превышает на 100 °С температуру под континентами до глубины 700 км. Радиоактивность играет ведущую роль в современном тепловом балансе нашей планеты и выступает как мощный энергетический фактор, способный повышать температуру ее недр.

Главные составные сферы Земли и Мирового океана относятся к летучим веществам. Они появились на планете в результате ее химической дифференциации. По имеющимся данным, пары воды и газы атмосферы возникли в недрах Земли и поднялись на ее поверхность в результате внутреннего разогрева совместно с наиболее легкоплавкими веществами мантии в процессе вулканической деятельности. Сегодня считают, что воды, находящиеся на поверхности материков и в океанах, есть результат адсорбции гидратированных силикатов как скрытых носителей этого важного летучего вещества. Все глубинные газы Земли, поступающие на поверхность, в большинстве случаев подвергаются резкому изменению и переходят в другие соединения. Основной вулканический газ конденсируется в виде жидкой воды, пополняя гидросферу. Следующий по распространению вулканический компонент – углекислый газ – быстро потребляется фотосинтезом зеленых растений, а также растворяется в воде, образуя в гидросфере сложную карбонатную систему, из которой углекислый газ извлекается при образовании карбонатных пород – известняков и доломитов.

Воды Земли образуют единое целое и создают водную оболочку – гидросферу. Важное значение имеет способность воды находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. Внушительна способность воды растворять в себе многие вещества. Природные воды всегда являются в той или иной степени минерализованными, и их можно рассматривать как природные растворы разных степеней концентрации. Так, даже наиболее «чистые» дождевые воды содержат 10–50 мг/л растворенных веществ.

Большая часть воды гидросферы сосредоточена в Мировом океане (86,5 %), значительно меньшая – это воды озер, болот, рек и подземные воды осадочной толщи земной коры.

Верхняя граница гидросферы определяется уровнем поверхности открытых водоемов. Нижняя граница гидросферы не определена и, вероятно, в глубинах земной коры соответствует температурному

уровню свыше 400 °С, при котором вся вода находится в состоянии газа (критическая температура воды).

Воды Мирового океана занимают две трети поверхности Земли. Общая масса воды –  $1420 \cdot 10^{15}$  т, средняя глубина – 3,8 км. Океаническая вода представляет собой уникальный раствор, содержащий в среднем 3,6 % растворенных веществ. Их сумма называется соленостью.

Главные компоненты, определяющие соленость морской воды:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{K}^+$ . Но больше всего  $\text{Na} > 10$  г/кг. Немаловажную роль в воде играют также  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ , связанные с атмосферой и живыми организмами.

Верхнюю границу атмосферы точно установить нельзя. Плотность воздуха с высотой постепенно убывает.

Выделяют тропосферу (до 17 км), стратосферу (до 55 км) и ионосферу. Выше 80 км находится разреженная газовая оболочка. На высоте 100 км образуется слой молекул озона с максимальной концентрацией их на высоте около 20 км.

## 1.4. Горные породы и минералы

Важнейшие породообразующие минералы представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

### Классификация породообразующих минералов

Класс	Описание	Представители
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Самородные элементы	Металлы и неметаллы. Состоят из одного или двух химических элементов	Сера, графит
Сернистые соединения (сульфиды)	Соединения элементов с серой. Металлический блеск, большая плотность, имеют окрашенную черту	Пирит, халькопирит
Галоидные соединения	Галоидные соли (соли водородных кислот). Имеют вкус, неметаллический блеск, среднюю твердость, растворяются в воде	Галит, сильвин, флюорит

Окончание табл. 1.1

1	2	3
Карбонаты	Соли угольной кислоты. Вступают в реакцию с соляной кислотой. Имеют среднюю твердость, неметаллический блеск	Кальцит, доломит, арагонит
Сульфаты	Соли серной кислоты. Имеют характерную светлую окраску, невысокую твердость, стеклянный блеск, хорошо растворяются в воде	Гипс, ангидрит
Фосфаты	Соли фосфорной кислоты. Характеризуются неметаллическим блеском, пестрой окраской, отсутствием спайности, хрупкостью	Апатит
Оксиды и гидрооксиды (рис. 1.5)	Соединения элементов с кислородом и гидроксильной группой. Класс делится на две группы. В первую входят оксиды и гидрооксиды кремния, а во вторую оксиды и гидрооксиды металлов (железа, хрома, марганца). Минералы первой группы характеризуются высокой твердостью, отсутствием спайности, бесцветной чертой. Минералы второй группы имеют большую плотность, металлический блеск, цветную черту	Кварц, халцедон, корунд, опал, гематит, магнетит, лимонит
Силикаты	Соли кремниевых и алюмосиликатных кислот. Они подразделяются: 1) на алюмосиликаты: полевые шпаты, плагиоклазы, фельдшпатиты, слюды; 2) метасиликаты: пироксены, амфиболы; 3) ортосиликаты; 4) вторичные силикаты; 5) глинистые минералы	Ортоклаз, альбит, олигоклиз, лабрадор, анортит, нефелин, лейцит, биотит, мусковит, авгит, роговая обманка, оливин, тальк, серпентин, каолинит, монтмориллонит, гидрослюда

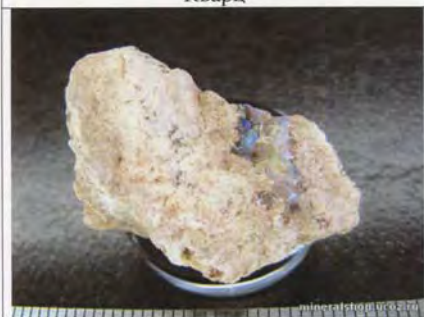
Окислы и гидроокислы



Кварц



Халцедон



Опал



Гематит



Лимонит



Магнетит

Рис. 1.5. Минералы

Изучение минералов по внешним признакам заключается в определении цвета, цвета черты, твердости (шкала Мооса), блеска, спайности, излома, плотности и их формы.

## *Общие принципы изучения и классификации горных пород в инженерной геологии*

Горные породы как грунты образовались в разные этапы истории Земли (рис. 1.6) и изучаются петрографией.

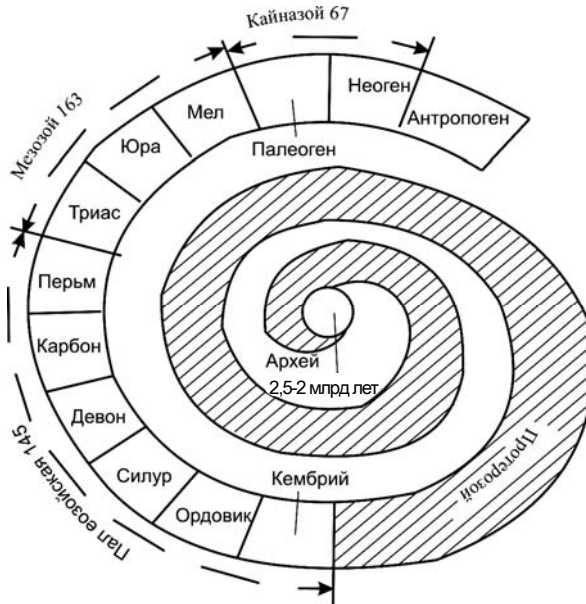


Рис. 1.6. Шкала геологического времени

В инженерной геологии горные породы оцениваются:

- а) по прочности;
- б) деформируемости;
- в) устойчивости;
- г) водопроницаемости.

В исследовании горных пород существуют следующие направления:

1) изучение всего разреза горных пород в деталях в пределах активной зоны под сооружением или в сфере его влияния;

2) выделение в разрезе всех разновидностей пород, существенно отличающихся по своим петрографическим признакам и строительным качествам, независимо от их мощности и распространенности. Особенно должны быть выделены слабые разновидности пород;

3) изучение физического состояния и физико-механических свойств горных пород;

4) изучение пород в их естественном состоянии (при естественном сложении и влажности);

5) изучение состава, состояния и свойств пород под влиянием сооружений и прогноз этих изменений;

б) широкое применение специальных лабораторных и полевых методов исследования свойств горных пород.

Известно около 1000 видов горных пород. В основу их классификации положен генезис (происхождение):

– формирование – строение, состав, свойства;

– структура – размер, форма минералов;

– текстура – расположение минералов.

Выделяют три генетические группы: магматические, осадочные, метаморфические.

Описание производится по схеме:

а) цвет, минералогический и петрографический состав;

б) структура, текстура, условия образования, формы залегания;

в) распространение;

г) основные физико-механические свойства, их использование:

– глубинные (интрузивные);

– жильные;

– излившиеся (эффузивные);

– вулканические.

### *Магматические горные породы*

Кристаллизация магмы происходит при температуре 500–800 °С. Выделяют несколько видов.

*Глубинные (интрузивные)* породы имеют яснокристаллическое строение (целиком состоят из кристаллов).

Различают:

– крупнозернистые (более 5 мм);

– среднезернистые (2–5 мм);

– мелкозернистые (менее 2 мм).

Для *жильных* пород характерно полнокристаллическое строение (кристаллизация происходит без дифференциации вещества магмы).



*Излившиеся (эффузивные)* породы образуются на поверхности при низких давлениях и температурах, быстром охлаждении и дегазации. Это аморфная стекловидная масса. Излившиеся породы являются неполнокристаллическими.

*Вулканические* породы (вулканические стекла, высокопористые породы, специфические рыхлые породы) образуются при извержении магмы на материках и в океанах.

Важнейшее свойство породы – ее химический состав, формирующий минералогический состав и вид. Используют также данные о содержании в них двуоксида кремния  $\text{SiO}_2$  (в % к массе), входящего как в виде свободного окисла кремния (кварц), так и в составе других силикатов.

Классификация магматических горных пород представлена в табл. 1.2.

Таблица 1.2

### Магматические горные породы

Породы	Главные минералы
Ультракислые породы (более 75 % $\text{SiO}_2$ ): пегматит (жильные); обсидиан, пемза (вулканические)	Ортоклаз, кварц, биотит
Кислые (65–75 $\text{SiO}_2$ ): гранит (глубинные); кварцевый порфир (излившиеся); липарит (излившиеся); туф, пепел (вулканические)	Ортоклаз, кварц, слюда, роговая обманка
Средние (55–65 % $\text{SiO}_2$ ): сиенит (глубинные); диорит (глубинные); порфирит, андезит, трахит и аналоги (излившиеся)	Ортоклаз, слюда, роговая обманка
Основные (45–55 % $\text{SiO}_2$ ): габбро или лабрадорит (глубинные); диабаз, базальт (излившиеся)	Основной плагиоклаз (лабрадор), авгит, иногда оливин
Ультраосновные (менее 45 % $\text{SiO}_2$ ): пироксенит, перидотит, дунит (глубинные); лава, обсидиан, пемза (породы непостоянного состава)	Авгит, оливин, роговая обманка, рудные минералы

Минералогический состав от ультракислых до ультраосновных изменяется: постепенно исчезает кварц, затем полевые шпаты; содержание темноцветных минералов (роговая обманка, авгит) возрастает.

С уменьшением  $\text{SiO}_2$  окраска изменяется от светлой до темной, повышается плотность породы, лучше поддается полировке.

*Осадочные* породы разделяются:

1) на обломочные горные породы, в состав которых входят:

а) рыхлые (несцементированные) – валуны, галька, гравий, глыбы, щебень, дресва, глинистые породы;

б) сцементированные – конгломерат, гравелит, брекчия, песчаник (кварцевый, 90 % кварца);

2) химические осадки:

а) галоиды (каменная соль);

б) сульфаты (гипс, ангидрит);

в) карбонаты (известковый туф, оолитовый известняк, доломит);

3) биохимические (органогенные) породы:

а) известковистые (известняк, мел, мергель);

б) кремнистые (диатомит, трепел, опока);

в) углеродистые (торф, каменный уголь).

*Метаморфические* горные породы имеют кристаллическую структуру. Текстура – наиболее надежный микроскопический признак их определения. Различают следующие виды текстуры:

– сланцевая – удлиненные или таблитчатые минералы, которые располагаются своими длинными сторонами взаимно параллельно;

– полосчатая или ленточная – чередуются полосы разного минералогического состава и цвета;

– складчатая – плоскости сланцеватости и полосы смяты в мелкие складки;

– массивная – аналогична текстуре магматических пород.

Типы метаморфизма:

1) контактовый (например, известняки переходят в мраморы).

Строение кристаллическое, сахаровидное, массивное, слабослоистое;

2) глубинный (региональный) – совместное воздействие температуры, высокого давления и флюидов, протекает на больших глубинах. Строение кристаллическое, сланцевое, полосчатое, плотное. Анизотропия свойств;

3) динамометаморфизм – вызывается высоким давлением при горообразовании, тектонических процессах. Образуются мощные зоны смятия, сложные складки.

Глубинному (региональному) и динамометаморфизму подвержены гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты, яшмы, мраморы, филлиты, глинистые сланцы; контактовому – роговики, скарны, мраморы.

### 1.5. Тектонические явления и процесс

Под тектоническими явлениями подразумевают всякого рода перемещения материала земной коры, вызванные внутренними (эндогенными) силами, возникающими в недрах Земли. Такого рода перемещения земной коры, приводящие к ее деформации и изменению строения, именуются тектоническими движениями.

Различают два основных вида тектонических движений.

1) *Радиальные перемещения* – это поднятия и опускания (погружения) отдельных участков земной коры. Они захватывают в первую очередь наиболее жесткие участки земной коры, которыми являются континентальные глыбы или платформы (жесткие плиты).

При определенных условиях поднятия приводят к выводу тех или иных участков платформы из-под уровня моря. Так происходит отступление (регрессия) моря и создание нового пространства суши (рис. 1.7, 1.8). Опускания и подъемы платформ взаимно чередуются во времени. Обычно они протекают медленно и поэтому иногда называются вековыми колебаниями.

2) *Тангенциальные перемещения* в отличие от радиальных вызваны в первую очередь горизонтальными движениями тех или иных участков земной коры по касательной к поверхности земного шара. Тангенциальные перемещения обычно связывают с растяжением или сжатием земной коры (в первом случае – разрывы (разрывные движения), во втором – смятие).

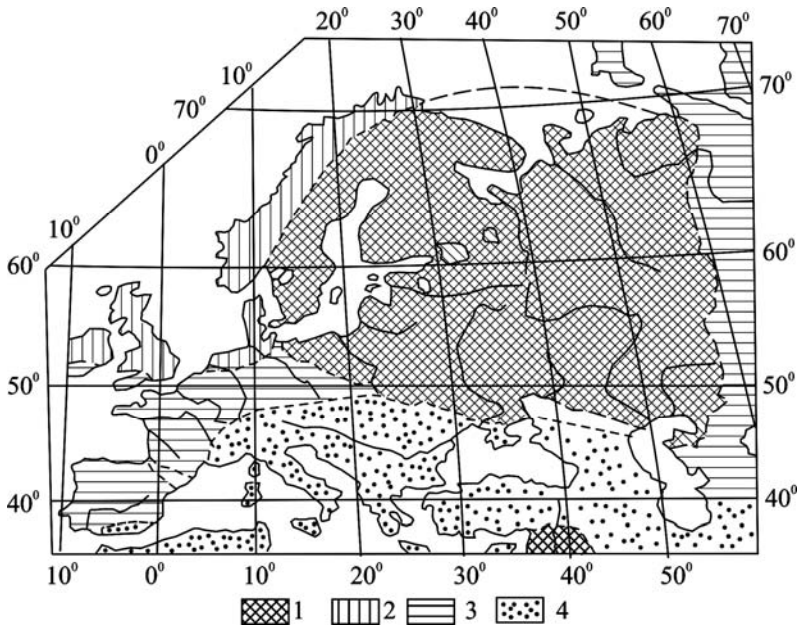


Рис. 1.7. Платформы Европы:

1 – области, ставшие платформой 500 млн лет назад; 2 – то же, 300 млн лет назад;  
 3 – то же, 150 млн лет назад; 4 – наиболее молодые геосинклинали, существующие до настоящего времени

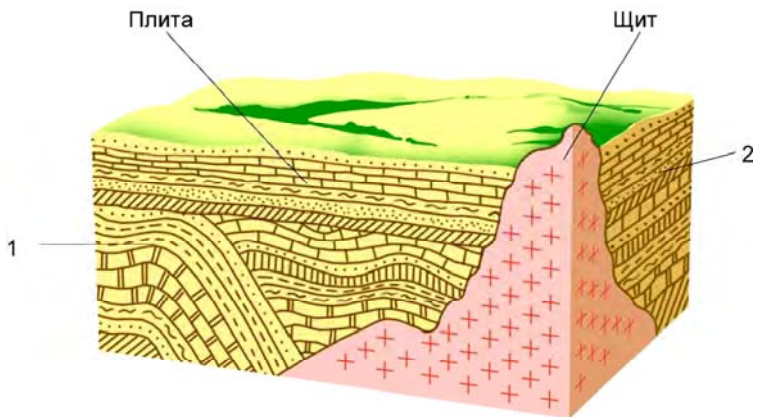


Рис. 1.8. Схема строения платформы:

1 – складчатые образования (фундамент); 2 – осадочная толща

Смятие земной коры ведет к складкообразованию. В силу этого тангенциальные перемещения нередко именуется *складчатыми движениями*, ведущими к возникновению складчатых горных систем в земной коре, поэтому этот вид тектонического движения еще называется *орогеническим* (в переводе с греч. «*орогенез*» обозначает «*горообразование*»). Складкообразование находит свое выражение в первую очередь в областях развития геосинклинальных полей как наиболее слабых и податливых зон земной коры.

В области континентальных платформ толща осадочных пород нигде не достигает такой мощности, как в складчатых горных системах. На платформе мощность этой толщи редко превышает 1–2 км. В то же время в горных областях она достигает в некоторых местах 20–30 км. Это объясняется тем, что геосинклинали в течение длительного геологического времени являлись местом прогибания земной коры, в котором происходило накопление мощных толщ осадков.

Расположение геосинклинали и ее площадь на поверхности Земли с течением времени изменялись. Наиболее молодые геосинклинали (по геологическому возрасту), существующие до настоящего времени и представляющие своеобразные пояса разломов земной коры, опоясывают во взаимосвязанных направлениях земной шар.

Тектонические явления находят свое выражение на протяжении всей геологической истории Земли. Проявляются они и в настоящее время. В пределах затопленной части суши неоднократно извлекались обломки орудий первобытного человека. Это свидетельствует о том, что затопление древней суши морем произошло в недалеком геологическом прошлом.

## **1.6. Вулканическая деятельность**

Наиболее наглядным свидетельством происходящих время от времени в земной коре процессов служит вулканическая деятельность – извержение существующих вулканов, и более редкое явление – образование новых вулканов. В ходе археологических раскопок, начатых в 1748 г., были обнаружены здания и улицы древнего города Геркуланума, трагическая гибель которого в результате извержения Везувия в 79 г. н. э. ныне известна всему миру. Во время сильного извержения вулкана Монтань-Пеле (Мон-Пеле) в 1902 г. был полностью разрушен город Сен-Пьер. Другой гигантской катастрофой стал взрыв вулкана

Кракатау, расположенного в Зондском проливе между островами Суматра и Ява. Широко известно, что Гавайские острова представляют собой размытые вершины вулканов, поднимающихся из глубин Тихого океана. Это подтверждает и умеренная активность еще действующих там кратеров. Таким образом, влияние извержений на расположенные поблизости города проявляется с особой силой.

Известно также немало районов, где горячая вода и сопутствующие газы, в том числе водяной пар, вырываются из недр на поверхность Земли по трещинам или в виде горячих источников. В качестве примера можно упомянуть столицу Исландии – Рейкьявик, где слабые проявления вулканической деятельности служат народу.

### **1.7. Активные разломы земной коры**

Разрывные нарушения можно обнаружить в любых коренных породах, обнажающихся на поверхности. Разрывы свидетельствуют о напряжениях, которым подвергались породы в геологическом прошлом. Напряжения вызвали столь значительные деформации, что произошло разрушение твердого материала и последующее смещение отдельных участков по плоскостям сбросов или сдвигов. Величина относительного смещения по разрыву может достигать размеров от нескольких миллиметров до нескольких километров. Разрывы наблюдаются и в почвенном слое, но амплитуды смещений в этих случаях почти всегда незначительны, а нарушения возникли с геологической точки зрения совсем недавно. В тех случаях, когда разрывы встречаются в горных выработках, особенно в тоннелях, нужны особые меры безопасности.

Наиболее известен и особенно интенсивно изучается активный разлом Сан-Андреас в Калифорнии – главный разлом крупной системы разрывов прибрежной равнины. Его протяженность на суше составляет почти 1000 км. Разлом проникает в глубь Земли более чем на 32 км. Горизонтальное смещение по плоскости разлома, как полагают ученые, достигает 550 км. Точные измерения показали, что смещение продолжается и сейчас со скоростью около 5 см в год.

### **1.8. Землетрясения**

Землетрясения, возникающие в связи с напряжениями в земной коре, относятся к числу наиболее опасных и разрушительных

геологических явлений, которые изменяют поверхность Земли и приводят к многочисленным человеческим жертвам. Землетрясения в Перу 31 мая 1970 г. повлекло гибель 50 тыс. человек. Катастрофическое по числу жертв землетрясение произошло в 1955 г. в Лиссабоне, когда была полностью разрушена столица Португалии. Землетрясение на Сицилии в 1908 г. стоило жизни 75 тыс. человек, а во время землетрясения в 1923 г. в Японии погибло 140 тыс. жителей. Наиболее сильному землетрясению подвергся Токио, где ущерб от него составил около 3 млрд долларов. По некоторым данным, в Китае за последние 3000 лет произошло более 10 тыс. землетрясений.

Упрощенная характеристика землетрясений разной балльности представлена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

### Шкала землетрясений

Балл	Характер землетрясений	Масштабы разрушений
1–4	Слабые	Не вызывают разрушений
5–7	Сильные	Разрушают верхние постройки
8	Разрушения	Падают фабричные трубы, частично разрушаются прочные здания
9	Опустошительные	Разрушается большинство зданий, появляются трещины на поверхности
10	Уничтожающие	Разрушаются мосты, трубопроводы, появляются оползни
11	Катастрофы	Разрушение всех сооружений, изменение ландшафтов
12	Сильные катастрофы	Большие изменения рельефа местности на обширном пространстве

В настоящее время в области геосинклиналей, а иногда и платформ, продолжают возникать землетрясения, временами носящие характер катастроф (районы Греции, Японии, Камчатки, юга бывшего СССР).

## 1.9. Денудация, ее проявление и значение в преобразовании земной коры

Вся поверхность Земного шара подразделяется на области аккумуляции и денудации. *Аккумуляция* имеет место в области накопления новых толщ осадочных пород как результат переноса и осаждения продуктов разрушения горных пород. С *денудацией* связаны зоны интенсивного разрушения ранее возникших структурных форм земной поверхности и слагающих их горных пород. Данному явлению подвергается прежде всего суша, когда ее разрушение идет под совокупным воздействием процессов, именуемых денудацией.

Выделяются следующие виды денудационных процессов:

- а) *выветривание* (физическое, химическое и биологическое);
- б) *коррозия и дефляция* (разрушение под действием ветра);
- в) *эрозия* (размыв породы текучими поверхностными водами);
- г) *абразия* (процесс, связанный с разрушающей и размывающей деятельностью моря);
- д) *эжарация* (разрушающая деятельность движущихся ледников).

Все денудационные процессы проявляются в верхних слоях земной коры и носят название *экзогенных геологических процессов*. Степень их воздействия на горные породы определяется прочностью пород, а также интенсивностью и длительностью самого воздействия.

Все горные породы – магматические, осадочные и метаморфические – в определенных условиях могут быть разрушены. Наиболее интенсивно процесс разрушения развивается в осадочных породах, как наименее стойких и прочных.

*Эндогенные силы* проявляют себя в тектонике и вулканизме, что приводит к изменению рельефа земной поверхности и его усложнению.

В результате денудации долины рек расширяются и углубляются, горы выколачиваются и рискуют исчезнуть, превратившись в равнинную поверхность. Так образуется пенепплен – предельная равнина. Таким образом, в формировании рельефа принимают участие как экзогенные, так и эндогенные силы, что приводит к существенному изменению поверхности. Наука, изучающая формы рельефа и их происхождение, называется *геоморфологией*. Денудация ведет к непрерывному накоплению продуктов разрушения горных пород, которые являются исходным материалом для накопления в новых условиях толщ осадочных пород. Под воздействием экзогенных



агентов – ветра, атмосферной или текучей воды, а также под влиянием силы тяжести, идет непрерывный снос рыхлых продуктов разрушения горных пород. Таким образом, можно говорить о том, что денудационные процессы проявляют себя в разрушении горных пород, образовании новых форм рельефа, непрерывном накоплении продуктов разрушения, их переносе в места нового отложения.

### ***Выветривание, формы его проявления и продукты выветривания***

Разрушение горных пород на месте их залегания под действием колебаний температуры, замерзания и оттаивания воды в трещинах, а также из-за деятельности различных организмов носит название *выветривания*. При этом идет интенсивное образование продуктов разрушения. Под действием выветривания горные породы теряют прочность и устойчивость, что имеет большое значение для оценки инженерно-геологических и строительных свойств грунтов. Процесс выветривания сопровождается нарушением в породах структурных связей, в том числе обусловленных и цементацией, а также связан с химическими превращениями, растворением и выносом солей и всегда – с разуплотнением породы. Совокупность процессов, приводящих к изменению горных пород в результате выветривания, носит название *гипергенеза*.

Выделяют следующие виды выветривания:

- а) физическое, или механическое;
- б) химическое;
- в) биологическое, или органическое.

Под влиянием процессов *физического выветривания* трещиноватость в породах увеличивается. Трещины расширяются, появляются новые. В развитии этого процесса существенную роль играет температура. Напряжение в массиве горных пород возникает в связи с ее резкими суточными колебаниями. Например, в высокогорных областях южных районов в зимнее время при температуре  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  каменные массы на солнце нагреваются до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более. Ночью при резком охлаждении пород происходит их сжатие, что и приводит к образованию и развитию трещин. Этот процесс наиболее интенсивно проявляется в верхней зоне, находящейся под воздействием резких изменений температур.

В развитии трещин существенную роль играет вода. Проникая в трещины и замерзая в них, она создает колоссальное боковое давление. Также формирование связывают с давлением на их стенки корней растений, набухающих при росте, а также при раскачивании высоких деревьев ветром.

Образующиеся при выветривании скалистых пород глыбы, крупные обломки, щебень и дресва или остаются на месте, или смещаются вниз по склону, создавая обвалы и осыпи. Благодаря своей (часто малой) устойчивости осыпи нередко создают большие трудности при прокладке горных дорог.

Физическое выветривание обычно сопровождается химическим и биологическим.

*Химическое выветривание* горных пород возникает в основном под воздействием газов, находящихся в атмосфере, а также воды с растворенными в ней солями и газами (главным образом кислорода и углекислого газа) и одновременно продуктов разложения органических веществ. Особенно интенсивно поддаются такому выветриванию хорошо растворимые в воде химические осадочные породы (каменная соль и т. д.), а также карбонатные породы (например, известняки и доломиты).

Это обусловлено относительно малой химической устойчивостью данных пород.

Из магматических пород, выведенных в связи с теми или иными условиями на дневную поверхность, наименее стойкими к процессам выветривания оказываются породы глубинного происхождения (граниты, диориты и т. д.).

Химическое выветривание особенно интенсивно проявляется в условиях влажного и теплого климата.

Процесс *биологического (органического) выветривания* весьма разнообразен. Существенную роль в нем играют микроорганизмы и растительность. Растительность воздействует на горные породы как механически (распирающая роль растущих корней), так и химически (кислотами, выделяемыми корневой системой). В этом отношении особенно активны лишайники и мхи, способные разъесть поверхность даже самых твердых пород.

В результате длительного воздействия процессов выветривания на поверхностные горизонты земной коры создается так называемая *кора выветривания*, сложенная уже из относительно устойчивых (в физико-

химическом отношении) для данных условий продуктов выветривания горных пород. По времени образования различают современную кору выветривания (элювий) и созданную процессами выветривания предшествующих геологических эпох (древняя кора выветривания). Мощность второй может достигать 100–400 м (Северный Урал).

### ***Коррозия и дефляция***

Геологическая деятельность ветра проявляется:

- 1) в дальнейшем разрушении массивов горных пород, подвергающихся процессам выветривания (коррозия);
- 2) выдувании и развевании образующихся продуктов разрушения горных пород (дефляция);
- 3) переносе по воздуху мельчайших (пыль) и мелких (песок) продуктов разрушения (транспортировка);
- 4) отложении и накоплении на новых местах перенесенных продуктов (осадкообразование);
- 5) формировании рельефа земной поверхности.

Разрушительная роль ветра проявляется в истирании (коррозии) выступающих массивов горных пород влекомыми им мелкими и преимущественно песчаными частицами. Наибольшей интенсивности коррозия достигает на высоте 2–3 м от поверхности Земли.

В результате коррозии на поверхности выступающих массивов образуются каверны и своеобразные «ниши» выдувания. Захваченные воздушным потоком мелкие продукты разрушения горных пород переносятся на большие или малые расстояния от области их образования. В этих условиях ветер выступает уже в роли транспортирующего агента. Формами проявления ветровой эрозии могут служить дюны, барханы, лессы, лессовидные отложения и др.

### ***Эрозия***

Под влиянием силы тяжести и смыва дождевыми водами происходит перемещение и отложение продуктов выветривания со склонов гор к их подножию. Так происходит образование *делювия*. Делювиальные отложения представляют собой скопления разнородного рыхлого неокатанного и неслоистого материала. Часто делювий

бывает представлен глинистой массой, содержащей угловатые обломки пород различной величины и формы. Во многих случаях делювий слагает значительные участки склонов. С перемещением делювия по склону к морю связаны многочисленные оползни, угрожающие угольям и населенным пунктам.

Делювий, как правило, находится в состоянии неустановившегося равновесия, что имеет значение при оценке условий его устойчивости на склонах при выполнении работ (дорожные работы, производство выемок, проведение деривационных каналов и др.). Почти всегда делювий на склонах находится в движении, но скорость его смещения бывает столь незначительной, что едва заметна по внешним признакам. При обильном увлажнении делювиальных масс движение делювия по склону усиливается и принимает характер *оползня*. В этих условиях сооружения, возведенные на делювии (строения, дороги, каналы и т. д.), деформируются.

С атмосферными осадками (дождями, ливнями, снеготаянием) связано образование *оврагов*. Как правило, углубление оврагов происходит под воздействием временных потоков.

В развитии оврагов имеют существенное значение следующие условия:

- 1) наличие в покровной толще слабосвязанных, легко размываемых пород;
- 2) большое количество и интенсивное выпадение атмосферных осадков;
- 3) низкое положение базиса речной сети и, как следствие, базиса дренирования грунтовых вод.

Первое условие приводит к особенно быстрому развитию оврагов в толще лессов и других легко размываемых породах. Овраги интенсивно развиваются в районах, характеризующихся выпадением ливней, большим снежным покровом и снежной весной. Положение базиса эрозии ограничивает рост оврагов в глубину, и, как следствие, происходит развитие ширины оврагов. Они нередко представляют угрозу сельскохозяйственным угольям и населенным пунктам.

Облессенные и закрепившиеся овраги обычно называются балками.

В горных районах возникают грязевые потоки, которые называются *селими*. Эти потоки образуются обычно в периоды выпадения в горах сильных дождей, ливней, а также при быстром снеготаянии.

Геологическая деятельность текучей воды исключительно разнообразна и имеет самое серьезное значение в формировании рельефа суши. К эрозии следует также отнести работу, производимую на поверхности ручьями, реками и потоками:

1) механический размыв и подмыв берегов с их обрушением и оползанием;

2) истирание ложа водотока влекомыми водой обломочными продуктами (валунами, галькой, песком);

3) выщелачивание гидронеустойких (растворимых) пород (например, гипса), обнажающихся в ложе водотока и им омываемых;

4) перенос водой продуктов разрушения и размыва (транспорт);

5) отложение и накопление (аккумуляция) при определенных условиях влекомым водотоком продуктов с образованием толщ аллювиальных (речных) отложений (рис. 1.9, 1.10).

Каждая речная долина может быть подразделена на области преимущественно размыва (эрозия), переноса и отложения.



Рис. 1.9. Схема эрозионной террасы

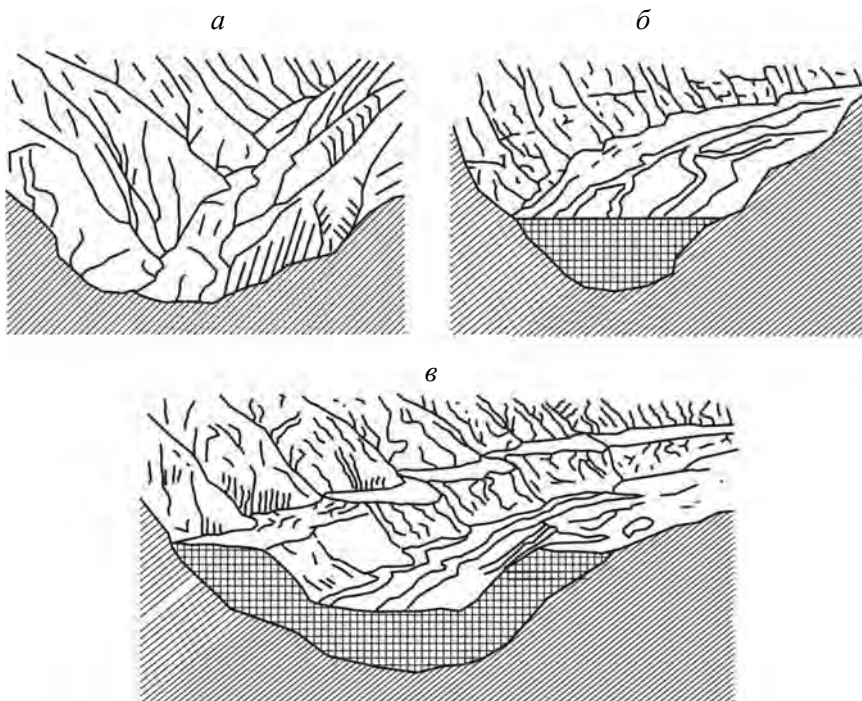


Рис. 1.10. Процесс формирования аккумулятивных террас

### *Абразия*

Геологическая деятельность моря и крупных озер сводится к развитию следующих денудационных процессов:

- 1) разрушению морского берега под действием прибоя;
- 2) переносу продуктов разрушения морскими и озерными течениями;
- 3) образованию новых толщ осадочных пород в процессе аккумуляции (накопления) обломочных материалов, органогенных продуктов, а также химических осадков.

Работа по разрушению берегов морей волнением обусловлена как непосредственным ударом волны, так и вакуумными явлениями, возникающими в толще воды при ее отливе.

Сила давления волн в определенных условиях достигает величины до  $10 \text{ т/м}^2$ . Волны способны перемещать глыбы породы весом до 100 т. При этом могут возникать громадные разрушения, производимые волнами в зоне прилива.

Интенсивность абразии представляется целым комплексом причин: открытость водного бассейна, глубина прибрежной зоны, определяющая силу волн, направление господствующих ветров, режим моря (приливы и отливы), климатические особенности района и, наконец, что является особенно важным, прочность и гидростойкость пород.

### *Экзарация*

В горных районах ледники играют важную роль в процессах денудации. В своем движении они производят громадную разрушительную работу, называемую *экзарацией*. Благодаря громадной массе льда, перемещающейся по ледниковой долине, эффект истирания ледником своего ложа и разработки бортов долины во многих случаях оказывается исключительным. На своем пути ледник сглаживает скалистые выступы в ложе и на бортах долины. Этот обломочный материал частью скапливается на поверхности ледника, частью перетирается им, образуя донные (основные) морены.

Увлекаемый ледником обломочный материал самой разнообразной крупности – от огромных валунов до тончайшей каменной пыли – выбрасывается в месте его таяния. Таким образом, в зоне окончания ледника нередко скапливаются громадные массы обломочного материала и валунов, перегораживающие поперек ледниковую долину. Такие скопления грубообломочного материала образуют *конечные морены*. Более мелкие ледниковые продукты увлекаются течением водного потока, образованного тальми ледниковыми водами, и создают при своем осаждении так называемые *флювюгляциальные* или *водно-ледниковые отложения*. При сбросе ледниковых вод в озера в последних постепенно накапливаются *озерно-ледниковые отложения*. На равнинной территории были такие периоды, когда под мощным ледяным панцирем на долгие тысячелетия оказывались погребенными огромные пространства суши. В ряде мест земного шара, в частности в Южной Америке, обнаружены следы древнейших

оледенений, имевших место сотни миллионов лет назад. В прошлом Земли ледниковые периоды случались неоднократно.

Наиболее подробно изучен последний ледниковый период (плейстоцен). Его начало приходится на время, удаленное от нас, по разным данным от 500 000 до 1 млн лет. Остатки последнего оледенения исчезли с территории Восточно-Европейской платформы около 12 000 лет назад.

Ледники, с точки зрения строительства, представлены огромным распространением ледниковых отложений, их значительной мощностью, измеряемой в ряде случаев десятками и даже сотнями метров, их особыми инженерно-геологическими свойствами и самое главное тем, что ледниковые отложения представляют собой последний по времени значительной мощности покровный комплекс. В силу этого обстоятельства ледники часто служат непосредственно основанием для возводимых сооружений.

*Флювиогляциальные отложения* – это отложения водно-ледниковых потоков. Представлены в основном песками, галькой, гравием, которые обладают ярко выраженной слоистостью. Песчаные равнины флювиогляциального происхождения, окаймляющие собой спереди пояс конечных морен, носят название *зандров* или *зандровых полей*.

## **1.10. Основы общей гидрогеологии и динамики подземных вод**

*Гидрогеология* – наука о подземных водах, взаимодействующих с твердыми и газообразными веществами Земли. Она тесно связана со смежными отраслями знаний – геологией, грунтоведением, метеорологией, гидравликой, гидротехникой, почвоведением, механикой грунтов, физикой, математикой, химией и геохимией, строительным и горным делом, водоснабжением и мелиорацией.

Подземные воды изучаются совместно с водами атмосферы и поверхностными водами.

Круговорот воды в природе можно представить в следующем виде:

$$Q = C + V_{\text{НС}} + V_m,$$



где  $Q$  – атмосферные осадки;

$C$  – сток;

$V_{\text{ис}}$  – испарение;

$V_m$  – инфильтрация (просачивание воды в грунт).

### ***Виды воды в грунтах и их влияние на свойства грунтов***

Различают следующие виды воды в грунтах (по Е. М. Сергееву, 1978 г.):

- 1) в виде пара;
- 2) связанная:
  - а) прочносвязанная (гигроскопическая);
  - б) рыхлосвязанная;
    - вторично-ориентированная;
    - осмотическая;
- 3) капиллярная;
  - а) углов пор;
  - б) подвешенная;
  - в) собственно капиллярная;
- 4) свободная (гравитационная);
  - просачивающаяся;
  - грунтового потока;
- 5) в твердом состоянии;
  - б) кристаллизационная и химически связанная.

*Вода в виде пара.* Содержание водяного пара в грунте не превышает 0,001 % всей его массы. Пар играет большую роль в процессах, протекающих в грунтах, так как он является единственной формой воды, которая способна передвигаться в грунте при незначительной его влажности, а при конденсации пара на поверхности частиц образуются другие виды воды, в частности связанная вода

*Связанная вода* составляет 42 % всей воды, содержащейся в земной коре. Присутствие ее в глинистых и других породах резко изменяет их состояние и свойства. Следовательно, изучение связанной воды имеет большое практическое значение. Оно показало, что плотность, теплоемкость, температура замерзания и другие свойства изменяются с увеличением ее общего количества в породе. Многие исследователи считают, что плотность связанной воды

может достигать 1,2–1,4 т/м<sup>3</sup>. Ее подразделяют на прочносвязанную и рыхлосвязанную.

Максимальное количество *прочносвязанной воды* в грунтах соответствует величине *максимальной гигроскопичности*, т. е. той влажности грунта, которая образуется при адсорбции парообразной воды частицами при относительной ее упругости, равной 100 %. Гигроскопическая влажность грунта характеризует то количество прочносвязанной воды, которое содержится в нем в обычных лабораторных условиях. Обычно это половина всей прочносвязанной воды. По своим свойствам она приближается к свойствам льда. Наибольшую величину максимальной гигроскопичности имеют кальций-монтмориллонитовые глины.

*Рыхлосвязанная вода* меньше связана с частицами породы, чем прочносвязанная, и значительно отличается от нее. По своим свойствам она похожа на свободную воду. Рыхлосвязанная вода при приложении нагрузок удаляется из грунта.

*Рыхлосвязанная вторично-ориентированная вода полислоев* образуется вокруг частиц благодаря дальнедействующим поверхностным силам молекул воды даже на значительном расстоянии от поверхности частиц. Она образует вокруг частиц пленку, и поэтому А. Ф. Лебедев назвал ее *пленочной*. Температура замерзания вторично-ориентированной воды полислоев составляет –1,5 °С. Присутствие вторично-ориентированных полислоев обуславливает способность грунтов к взаимодействию с другими предметами, которая выражается в их липкости.

Количество связанной воды, находящейся под воздействием сил натяжения, определяет ее *максимальную молекулярную влагоемкость*.

*Рыхлосвязанная осмотическая вода* образуется в результате проникновения ее молекул в диффузный слой мицеллы (минеральная частица, окруженная адсорбционным и диффузным слоями ионов), где концентрация ионов оказывается меньшей, чем в растворе. Присутствие в грунтах осмотической воды обуславливает их пластичность при определенном диапазоне влажности. Пластичность глинистых и лессовых грунтов начинается при влажности, которая выше величины максимальной молекулярной влагоемкости. Она зависит от дисперсности и количества одновалентных ионов. Величина максимальной молекулярной влагоемкости наибольшая у натрий монтмориллонитовых глин.

*Капиллярная вода углов пор* обычно образуется в местах соприкосновения частиц в виде отдельных капель, занимающих суженные части пор и ограниченных менисками. Содержание этого вида воды в песках составляет 3–5 %, в супесях – 4–7 %.

При увеличении влажности грунта капиллярные поры полностью заполняются водой. В этом случае капиллярная вода подразделяется на собственно капиллярную и подвешенную воду в зависимости от того, соединяется она с уровнем грунтовых вод или нет.

*Капиллярная подвешенная вода* отличается тем, что она не имеет непосредственной связи с уровнем грунтовых вод. Наибольшее количество влаги, которое может удерживаться грунтом, называется **водоудерживающей способностью грунта**.

*Собственно капиллярная вода* поднимается от уровня грунтовых вод и характеризуется максимальной величиной и скоростью поднятия. Чем больше начальная скорость поднятия, тем быстрее затихает это движение; при меньшей скорости, наоборот, медленнее и выше поднимается вода по капиллярам. Высота поднятия в среднезернистых песках равна 0,15–0,35 м, в мелкозернистых – 0,35–1,0 м, в супесях она возрастает до 11,5 м, в суглинках – до 3–4 м. В глинах вода способна подниматься до 8 м, в лессах – до 4 м (за 2 года). Скорость капиллярного поднятия во влажном грунте в 3–4 раза больше, чем в сухом.

*Просачивающаяся гравитационная свободная вода* находится в зоне аэрации и передвигается под влиянием силы тяжести. Движение продолжается до тех пор, пока просачивающаяся вода не встретит водоупорный пласт. После этого она движется в результате разности напоров вдоль по пласту. Способность грунтов пропускать через себя воду называется *водопроницаемостью*, а движение воды в грунтах под действием напора – *фильтрацией*.

Фильтрация в полностью водонасыщенных грунтах при ламинарном режиме движения подчиняется закону Дарси:

$$V_{\phi} = K_{\phi} \frac{\Delta H}{l} = K_{\phi} I,$$

где  $V_{\phi}$  – скорость фильтрации, см/с;

$K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, см/с;

$$I = \frac{\Delta H}{l} \text{ – градиент напора при разности напоров } \Delta H \text{ и длине}$$

пути фильтрации  $l$ .

Коэффициент фильтрации  $K_f$  является мерой водопроницаемости грунта и равен скорости движения воды при градиенте напора, равном единице. Его величина для различных грунтов изменяется в широких пределах (по Н. Н. Маслову). Характеристика грунтов по водопроницаемости представлены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

### Водопроницаемость грунтов

Грунт	$K_f$ , м/сут.	Характеристика грунтов по водопроницаемости
Глины монолитные, скальные фунты	До $5-10^5$	Практически водонепроницаемые
Суглинки, тяжелые супеси, нетрещиноватые песчаники	До $510^3$	Весьма слабопроницаемые
Супеси, слаботрещиноватые глинистые сланцы, песчаники, известняки и др.	До 0,5	Слабопроницаемые
Пески тонко- и мелкозернистые, трещиноватые скальные грунты	До 5	Водопроницаемые
Пески среднезернистые, скальные грунты повышенной трещиноватости	До 50	Хорошо водопроницаемые
Галечники, гравелистые пески, сильно-трещиноватые скальные грунты	Свыше 500	Сильноводопроницаемые

Гравитационная вода по своему химическому составу может быть различной.

Количество растворенных веществ, содержащихся в грунтовой воде, называется *общей минерализацией воды* и может колебаться в широких пределах: от нескольких сот миллиграммов до нескольких сот граммов на литр. Соленость морской воды составляет примерно 35 г/л. Минерализация подземных вод, как правило, увеличивается с глубиной. В воде среди катионов чаще всего встречаются  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , далее  $Na^+$  и  $K^+$ , а среди анионов –  $Cl^-$ ,  $SO_4^-$  и  $HCO_3^-$ . Растворенные в воде соли находятся в подвижном равновесии с твердой составляющей грунтов и взаимодействуют с ней. Среднее значение

кислотности рН для грунтовых вод – около 7. С повышением общей минерализации значение рН увеличивается. В районах развития известняков, солонцеватых глин и солонцеватых почв величина рН природной воды может достигать 9–10.

При температуре грунта ниже 0 °С гравитационная вода замерзает и переходит в твердое состояние. В связи с этим свойства грунтов изменяются, что имеет большое практическое значение при строительстве. Этой проблемой занимается наука *мерзлотоведение*.

*Кристаллизационная вода и химически связанная (конституционная) вода* принимает участие в строении кристаллических решеток различных минералов. Кристаллизационная вода входит в состав минералов типа  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (гипс). Химически связанная вода входит в гидраты типа гидроокисей  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Ее молекулы в результате химической реакции распадаются на ионы  $\text{Cl}$  и  $\text{OH}$ . Особого значения для строительных целей воды этих видов не имеют.

### ***Условия залегания водоносных горизонтов и их режим***

Характеристики водоносных горизонтов даны в табл. 1.5.

Таблица 1.5

#### Водоносные горизонты

Основной тип	Гидравлический характер	Условия залегания	Особенность режима
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Верховодка	Безнапорные	Распространены ограниченно и непостоянно в самых верхних слоях земной коры	Характеризуются неустойчивым режимом: в засушливое время нередко исчезают, в периоды дождей и интенсивной инфильтрации возникают вновь. Режим вод связан с поступлением атмосферных осадков и конденсацией
Грунтовые воды	Безнапорные, иногда с местным напором	Залегают в зоне аэрации на небольшой глубине от поверхности, на первом водоупорном слое	Режим тесно связан с уровнями открытых водотоков и водоемов, метеорологическими факторами и конденсацией

1	2	3	4
Артезианские воды	Напорные	Залегают на сравнительно большой глубине в рыхлых и крепких горных породах, перекрытых пластами водоупорных пород. Имеют выдержанное распространение нередко на больших площадях. Ряд артезианских напорных горизонтов, приуроченных к одной геологической структуре, образует артезианский бассейн с этажным расположением водоносных горизонтов	Режим артезианских вод в меньшей мере, чем грунтовых, зависит от влияния открытых водотоков и водоемов; на колебания уровня воды в скважинах оказывает влияние изменение барометрического давления

*Верховодка.* В самой верхней части земной коры, представляющей непосредственный объект хозяйственной деятельности, выделяются три зоны.

1. *Зона аэрации*, связанная с атмосферой. Сквозь нее просачиваются поверхностные воды и атмосферные осадки. Часть пор в ней постоянно занята воздухом. На отдельных участках зоны аэрации на прослойках глинистых пород могут скапливаться подземные воды типа *верховодки*. Н. А. Огильви (1963 г.) на основании опытных работ в Каракумах установил, что в зоне аэрации (ниже поверхностной зоны интенсивного испарения) располагается зона внутригрунтовой конденсации. Она начинается на глубине 1 м и заканчивается – 6–10 м, где в течение всего года наблюдается переменная влажность, которая вызывает изменение тепловых потоков, обуславливающих конденсацию водяных паров. А. В. Лебедев (1958 г., 1968 г.) опытными полевыми работами на стационаре ВСЕГИНГЕО под Москвой доказал накопление конденсационной влаги и определил, что ее годовая величина достигает 36 мм.

2. *Зона капиллярной воды* расположена над горизонтом грунтовых вод. В этой зоне тонкие капиллярные поры заполнены водой, а более крупные – свободны.

3. *Зона насыщения* представляет собой собственно слой грунтовых вод, в котором все поры заполнены водой. Подстилается эта зона слабопроницаемыми или водоупорными породами.

Подземные воды типа верховодки располагаются на небольшой глубине от поверхности. Они имеют небольшую мощность, обычно не более 1–2 м, и ограниченное распространение. Образование их связано с просачиванием (инфильтрацией) атмосферных осадков, конденсационных и паводковых вод. Нередко верховодка возникает в результате утечек воды из водопроводов на территории населенных пунктов, городов и промышленных предприятий. Уровень верховодки в таких случаях устанавливается близко от дневной поверхности, в связи с чем может возникнуть заболачивание местности или подтопление фундаментов и подвальных помещений.

По химическому составу воды верховодки обычно слабоминерализованы и нередко загрязнены органическими соединениями. Как правило, воды верховодки используются для водоснабжения лишь в сельской местности с помощью неглубоких колодцев.

*Грунтовые (безнапорные) воды* – это воды выдержанного по распространению водоносного горизонта, залегающего на первом от поверхности Земли водоупоре. Водоносным горизонтом, или водоносным слоем, называют толщу рыхлых или трещиноватых горных пород, заполненную гравитационной водой; водоупором, или водоупорным ложем, – водонепроницаемую породу, подстилающую водоносный слой. Расстояние (глубина) от поверхности грунтовых вод до водоупора называется *мощностью водоносного горизонта*.

Грунтовые воды характеризуются следующими особенностями:

1) область их питания, как правило, совпадает с областью распространения;

2) уровень воды при вскрытии выработками (скважиной, шурфом) устанавливается на той же глубине, на которой обнаружена вода, т. е. поверхность грунтовых вод, сообщаясь с атмосферой, находится только под атмосферным давлением. Она носит название свободной поверхности, а линии, соединяющие одинаковые отметки уровней, называются гидроизогипсами;

3) грунтовые воды гидравлически связаны с поверхностными водотоками и водоемами: реками, озерами, заболоченными понижениями и др.;

4) питание грунтовых вод происходит в основном за счет атмосферных осадков и конденсации водяных паров из воздуха; нередко случаи, когда грунтовые воды получают питание из рек, оросительных каналов или более глубоких водоносных горизонтов;

5) режим грунтовых вод, т. е. изменение их расхода, уровня и химического состава во времени (по отдельным сезонам и в многолетнем разрезе), вблизи водотоков и водоемов находится под влиянием совместного воздействия поверхностных вод и климатических факторов, а в удалении от водотоков и водоемов – под воздействием только метеорологических факторов;

6) вблизи крупных рек годовые амплитуды колебания уровня грунтовых вод достигают 3–4 м, а в удалении от рек и озер, на водораздельных пространствах не превышают 1–1,5 м;

7) на режим грунтовых вод во многих случаях оказывают большое влияние искусственные факторы, обусловленные деятельностью человека, – эксплуатация грунтовых вод с помощью скважин, шурфов, откачка вод из карьеров, устройство других гидротехнических сооружений.

*Артезианскими напорными* называются такие воды, которые заполняют водоносный пласт на всю его мощность и ограничены не только водонепроницаемой подошвой, но и водонепроницаемой кровлей (рис. 1.11). Если напорный водоносный горизонт вскрыть буровой скважиной, то уровень воды в скважине поднимается выше кровли водоносного пласта, поэтому его называют *напорным* или *пьезометрическим уровнем*. Пьезометрический уровень определяют в абсолютных или относительных отметках по отношению к уровню взятой горизонтальной плоскости. Линии, соединяющие на карте точки с одинаковыми отметками пьезометрического уровня, называются *гидроизопьезами*.

Величина напора в том или ином районе или пункте зависит от разности абсолютных высот области питания водоносного горизонта и пунктов, где вода используется или стекает в реки. В некоторых случаях уровень воды в скважинах, вскрывших водоносный пласт, поднимается выше поверхности Земли и вода из них изливается на поверхность. Впервые в Европе самоизливающиеся воды были открыты во Франции, в провинции Артуа (древнее название – Артезия) в 1126 г., почему и были названы артезианскими.



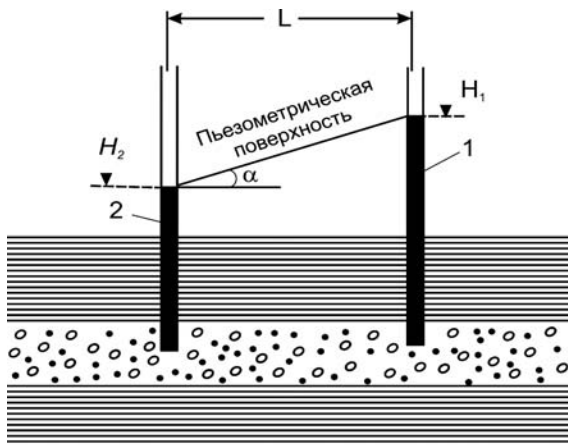


Рис. 1.11. Гидравлические элементы напорного подземного потока:  
*A* и *C* – пласты глин; *B* – водоносный горизонт в галечнике;  
 $H_1$ , и  $H_2$  – пьезометрические уровни; 1 и 2 – пьезометрические трубки

Условия залегания напорных водоносных горизонтов могут быть различными (рис. 1.12). Наиболее часто встречается мульдообразное, или моноклинальное, залегание водоносных пластов. Ряд напорных водоносных горизонтов, связанных с породами различного возраста, имеющих этажное расположение и разделенных слабодопуорными слоями различной мощности, образует *артезианские бассейны подземных вод*.

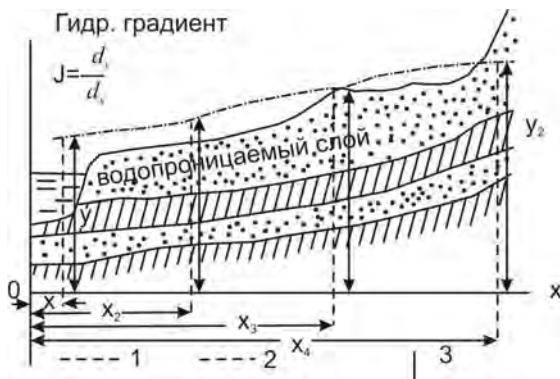


Рис. 1.12. Уровни фунтовых и напорных вод:  
1 – уровень зеркала грунтовых (ненапорных) вод;  
2 – пьезометрические уровни напорных вод; 3 – пьезометр

## 2. УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

### 2.1. Магматические породы

Все магматические породы (рис. 2.1) имеют много общего, с точки зрения использования их в строительном деле. Общность их физико-механических свойств обусловлена наличием у магматических пород структурных кристаллизационных связей между минеральными зернами, которые возникают в процессе формирования породы. Эти породы в ненарушенном состоянии имеют высокую прочность, значительно превосходящую нагрузки, известные в инженерной практике, не растворяются в воде и практически водонепроницаемы. Поэтому они широко используются в качестве оснований сооружений.

Вместе с тем, ряд обстоятельств осложняет строительство на магматических породах. В первую очередь к ним относятся трещиноватость и выветрелость массивов. Следует иметь в виду, что хотя показатели физико-механических и деформационных свойств этих пород и являются высокими в зависимости от состава, структуры и трещиноватости, но могут колебаться в широких пределах.

При инженерно-геологической характеристике интрузивных пород большое значение имеет размер зерен, так как в общем случае мелкозернистые породы являются более прочными и устойчивыми, чем крупнозернистые.

*Свойства интрузивных и эффузивных пород* определяются их минеральным составом, структурно-текстурными особенностями, в частности трещиноватостью.

Среди интрузивных пород наиболее широко распространены граниты, гранодиориты, кварцевые диориты и др. Прочность гранитов на сжатие колеблется в широких пределах. Даже в породах, не затронутых выветриванием, величина временного сопротивления сжатию отдельных образцов изменяется от 48 до 270 МПа. У гранитов этот показатель в среднем превышает 100 МПа. Показатели деформационных свойств гранитов в массивах целиком определяются их трещиноватостью. По прочностным показателям и деформационным свойствам гранодиориты и диориты приближаются к гранитам.

Интрузивные породы основного состава типа габбро по распространению значительно уступают гранитам.



Базальт



Габро



Диорит



Гранит



Кварцевый порфир



Андезит



Липарит



Диабаз



Вулканический туф



Пемза



Трахит



Обсидиан

Рис. 2.1. Магматические породы

Водопроницаемость интрузивных пород определяется закономерностями распространения в их массе трещин и зон тектонических

42

нарушений. Например, трещиноватые габбровые породы имеют коэффициент фильтрации до 40 м/сут., тогда как слаботрещиноватые являются практически водонепроницаемыми.

*Эффузивные* породы характеризуются большим разнообразием состава и условий залегания. Наиболее распространены среди них базальты и сопутствующие им андезиты. Характерные формы залегания базальтов – покровы и потоки. Физико-механические свойства базальтов и андезитов весьма различны. Это объясняется разнообразием минерального состава, структуры и текстуры пород. Так, базальты микрокристаллической структуры имеют временное сопротивление сжатию до 500 МПа, тогда как в пористых базальтах величина данного показателя может быть менее 20 МПа.

Особую группу пород составляют вулканические туфы, среди которых встречаются как высокопрочные разновидности, так и очень слабые.

## 2.2. Метаморфические горные породы

Среди многообразия проявления метаморфизма наиболее значительны следующие его виды:

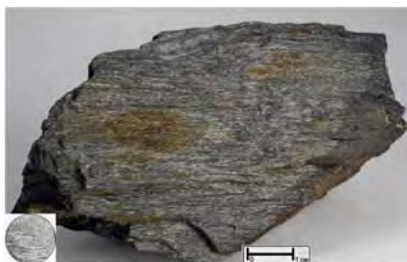
- 1) региональный;
- 2) контактовый;
- 3) динамометаморфизм.

По физико-механическим свойствам метаморфические горные породы во многом близки к магматическим, что обусловлено наличием в них жестких, преимущественно кристаллизационных связей. Все метаморфические породы в ненарушенном состоянии имеют прочность, значительно превышающую нагрузки, существующие в строительной практике. Метаморфические породы водонепроницаемы, за исключением карбонатных разновидностей.

Среди *регионально-метаморфизованных* пород широко распространены гнейсы, кварцы, кристаллические сланцы (рис. 2.2). Реже встречаются мраморы. Наиболее прочными и устойчивыми метаморфическими породами являются кварциты, которые обладают очень высокой механической прочностью (150–200 МПа).



Гнейс



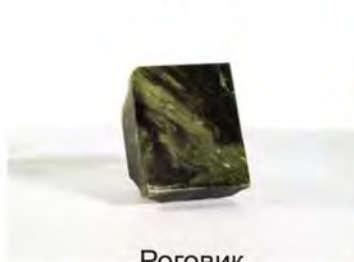
Кристаллический сланец  
кварц-мускавитовый



Мрамор



Кварцит



Роговик



Горючий  
сланец

Рис. 2.2. Метаморфические горные породы

Физико-механические свойства гнейсов в зависимости от их структуры и текстуры изменяются в широких пределах (при выветривании – очень сильно). Наибольшей стойкостью против выветривания обладают кварцевые гнейсы.

Кристаллические и метаморфические сланцы образуют группу, представители которой по физико-механическим свойствам наиболее разнятся. Общими признаками, отличающими их от массивных

метаморфических пород, являются слоистость и сланцеватость. Сланцеватость способствует соскальзыванию и сползанию сланцев как на природных склонах, так и в искусственных выработках.

В зависимости от состава и степени метаморфизма прочностные свойства сланцев изменяются в широких пределах – от нескольких десятков МПа (у кристаллических пород) до нескольких МПа (у глинистых).

Среди *контактово-метаморфизованных* наиболее распространенной породой, образующейся при термальном контактовом метаморфизме, являются роговики. Для них характерна полная перекристаллизация исходного материала. Обычно это темные плотные породы, имеющие однородную текстуру и мелкозернистую. В инженерно-геологической практике роговики рассматриваются как весьма благоприятные основания для ответственных сооружений. От пород интрузии их выгодно отличают меньшая трещиноватость и большая однородность. Характерной породой этой группы является мрамор. Физические и механические свойства мраморов зависят от их структуры и текстуры. Их временное сопротивление сжатию в среднем составляет 100 МПа.

*Динамометаморфизованные* – это раздробленные (типа брекчии), иногда перетертые породы, в различной степени цементированные. Сопротивление сдвигу этих пород невелико благодаря сланцеватой текстуре, наличию раздробленных прослоев и хлоротизации. Они интенсивно выветриваются, относительно легко размываются, поставляют материал для осыпей и других склоновых процессов. Глинистые брекчии являются слабыми породами, и из оснований ответственных сооружений, особенно плотин, удаляются.

### **2.3. Осадочные цементированные сильнолитифицированные горные породы**

Инженерно-геологические особенности осадочных цементированных пород (рис. 2.3) во многом определяются крупностью цементированных обломков или частиц, характером цемента и степенью литификации породы. Наиболее характерными цементами в терригенных породах являются кварцевый, железистый, карбонатный и глинистый. Гораздо реже встречаются породы, цементированные гипсом. Наиболее прочные из них – кварцевый и железистый цементы.

Ракушечник



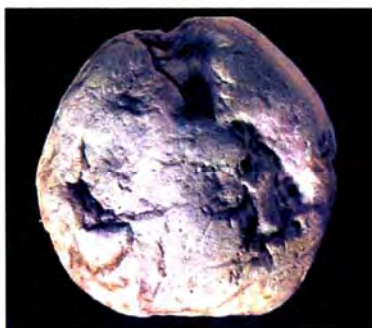
Доломит



Гипс



Глина



Каралловый известняк



Брекчия

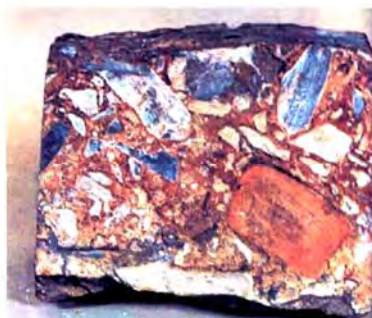


Рис. 2.3. Осадочные горные породы

Карбонатный цемент также обладает высокой прочностью, но растворяется в воде. Особенно важно при оценке физико-механических свойств учитывать высокую растворимость гипсового цемента. Глинистый цемент малопрочен. По степени литификации осадочные цементированные породы подразделяются на сильно и слаболитифицированные, а также на химические и биохимические (органо-генные) различной степени литификации.

*Осадочные цементированные сильнолитифицированные породы:*

– *крупнообломочные* – конгломераты. Прочность их зависит от многих факторов. Встречаются достаточно прочные (сопротивление сжатию составляет до 100 МПа) и малопрочные конгломераты. Для прочных цементов служит основой полимиктовый среднезернистый песчаник, для малопрочных – известковый, известково-глинистый, известково-железистый (сопротивление сжатию – от 3 до 25 МПа);

– *мелкообломочные* – песчаник. Наибольшей прочностью обладают кварцевые песчаники с кремнистым или железистым цементом. Величина сопротивления сжатию – 150–200 МПа. Наименее прочные, обычно цементированные глинистым цементом, имеют величину данного показателя 1–2 МПа.

### ***Пылеватые и глинистые цементированные породы***

Типичными представителями цементированных пород пылеватого и глинистого состава являются алевролиты и аргиллиты. Они образуются в процессе метаморфизма при окаменении песчано-пылеватых и глинистых пород вследствие их уплотнения, воздействия температуры, кристаллизации коллоидов. Большое влияние на прочностные показатели алевролитов и аргиллитов оказывают состав и тип цемента. В зависимости от цемента алевролиты и аргиллиты образуют обширный ряд последовательных переходов от слабопрочных разностей, близких по своим свойствам к плотным глинам, до окварцованных пород, прочность которых превышает 100 МПа.

По базальным поверхностям алевролиты и аргиллиты легко выветриваются, часто образуют на склонах подвижные осыпи из плитчатой щебенки.

Типичным представителем *кремнистых пород* являются опоки. Общими инженерно-геологическими особенностями опок являются: высокая пористость (45–60 %); большая влагоемкость (50–70 %);



сравнительно высокая прочность в сухом состоянии (25–35 МПа) и значительное ее уменьшение при водонасыщении; слабая морозоустойчивость.

С некоторой условностью к осадочным сильнолитифицированным породам можно отнести трепел. По характеру деформации он ведет себя как порода с жесткими кристаллизационными связями, но в то же время в водонасыщенном состоянии обладает пластичностью, что типично для дисперсных пород. При пористости трепелов 55–65 % они имеют прочность на сжатие в сухом состоянии 7–10 МПа, в водонасыщенном – 0,5–1 МПа.

#### **2.4. Химические и биохимические (органогенные) породы**

Инженерно-геологическому изучению *карбонатных пород* уделяется особое внимание в связи с их способностью карстоваться. Детальное изучение закарстованных массивов проводится в связи с гидротехническим, дорожным, промышленно-городским строительством, с разработкой месторождений полезных ископаемых и строительством подземных сооружений. Наиболее широко распространенными представителями карбонатных пород являются известняки и доломиты.

Среди *известняков* наиболее прочные – мелкозернистые (их временное сопротивление сжатию достигает 100 МПа). Прочность крупнозернистых известняков колеблется в очень широких пределах (от 70 до 25 МПа). Наименее прочные известняки – ракушечники (сопротивление сжатию – 2–3 МПа, а во многих случаях – меньше 1 МПа). Для известняков характерна трещиноватость.

*Доломиты*, наряду с известняками, являются широко распространенными породами карбонатного комплекса. Состав доломитов оказывает существенное влияние на их прочность. Чистые разновидности этих пород характеризуются величиной  $\sigma_{сж} = 100$  МПа, известковистые доломиты имеют прочность  $\sigma_{сж} = 80$  МПа, а глинистые –  $\sigma_{сж} = 60$  МПа. Большое влияние на прочность доломитов оказывает микротрещиноватость.

*Сульфатные породы* – это гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), который часто встречается с ангидритом ( $\text{CaSO}_4$ ). Ангидрит в соприкосновении с водой легко гидратирует и переходит в гипс, причем это сопровождается значительным увеличением объема, с чем часто связаны механические деформации в соседних породах и кровле.

*Галоидные породы* (галит (NaCl)) имеют ограниченную возможность их использования в инженерно-строительных целях.

## **2.5. Осадочные цементированные слаболитифицированные породы**

В природе широко распространены осадочные цементированные слаболитифицированные породы кремнистого и карбонатного состава (диатомиты, мел, мергель и др.), которые характеризуются наличием слабых кристаллизационных связей. Эти связи не прочны, и при их разрушении водонасыщенные породы способны перейти в пластическое состояние.

## **2.6. Несвязные породы**

Группа обломочных нецементированных пород делится на две подгруппы:

- 1) крупнообломочные;
- 2) мелкообломочные.

### ***Крупнообломочные породы***

Данная подгруппа пород состоит в основном из угловатых или окатанных обломков горных пород размером более 2 мм, имеющих преимущественно полимерный состав. Они могут быть подразделены по крупности и форме обломков на каменистые и валунные, щебенчатые и галечные, дресвяные (хрящеватые) и гравийные грунты. Поры в крупнообломочных грунтах могут быть свободными или заполненными пылеватым или глинистым материалом. Наличие или отсутствие такого заполнителя пор резко сказывается на инженерно-геологических особенностях всех типов крупнообломочных пород. В случае отсутствия мелкозернистого материала они обладают высокой водопроницаемостью, причем движение воды носит часто турбулентный характер. Крупнообломочные грунты с заполнителем могут иметь небольшую водопроницаемость, величина которой определяется составом заполнителя. Присутствие заполнителя также снижает угол внутреннего трения. Поэтому при дальнейшем подразделении крупнообломочных пород необходимо в первую очередь выделить валунные (каменистые), галечные (щебнистые), гравийные (дресвяные) с заполнителем и грунты без заполнителя.

## *Мелкообломочные породы*

### *Песчаные породы*

Инженерно-геологические особенности песков во многом определяются их генезисом. Сравним некоторые из генетических типов песков.

Среди наиболее распространенных *аллювиальных песков* встречаются различные разновидности по гранулометрическому составу, отличающиеся структурно-текстурными особенностями и инженерно-геологическими свойствами. Во многом это определяется их фациальной принадлежностью.

Общей характерной чертой *русловых песков* является закономерное изменение их дисперсности. По продольному профилю реки вниз по течению уменьшаются размеры зерен песка и одновременно с этим повышается его однородность. Невысокая дисперсность русловых песков, их достаточно хорошая отсортированность и окатанность, преобладающее среднее и рыхлое сложение обуславливают значительную водопроницаемость, величина которой в горизонтальном направлении обычно выше, чем в вертикальном.

*Пойменные и старичные пески* представлены главным образом мелко и тонкозернистыми и пылеватыми песками, горизонтально, косо- или линзовидно-слоистыми, содержащими примесь глинистого и органического материала. Эти пески имеют меньшую величину водопроницаемости по сравнению с русловыми; сжимаемость их значительно выше.

*Флювиогляциальные пески* представлены различными по дисперсности разновидностями (преобладают крупно-, средне- и мелкозернистые), содержащими, как правило, то или иное количество грубообломочного материала. Среди флювиогляциальных широко развиты зандровые пески, которые представлены всеми разновидностями, причем среди них преобладают мелкие пески и пески средней крупности. Зандровые пески могут занимать площадь в сотни тысяч квадратных километров. Их пористость достаточно высокая: у гравелистых – 40–41 %, мелких – 40–46 %, пылеватых – 51 %. Величина коэффициента фильтрации флювиогляциальных песков не превышает 10 м/сут., мелких – 2,5, пылеватых – 1 м/сут. Угол естественного откоса флювиогляциальных песков в воздушно-сухом состоянии изменяется от 30° до 40°, под водой он снижается до 24°–33°.

## *Морские, золотые пески и плавунны*

Пески различных генетических типов под влиянием гидродинамического давления могут переходить в плавунное состояние. Кроме того, А. Ф. Лебедевым были выделены «истинные плавунны» как особый тип грунтов, для которого характерны плавунные свойства. Истинные плавунны довольно разнообразны по минеральному и гранулометрическому составу, но для них характерно содержание органического вещества, которое по отношению к глинистой фракции составляет 5–35 %. Несущая способность истинных плавуннов, определенная в полевых условиях, исключающих движение и выпирание, достигает 0,8 МПа. Водоудерживающая способность истинных плавуннов доходит до 240 %. Их водопроницаемость мала:  $K_{\phi} = 10^{-4} - 10^{-5}$ .

Большая водоудерживающая способность и малая водопроницаемость истинных плавуннов делают невозможным осушение их обычным способом водопонижения. Истинные плавунны обладают наибольшей величиной деформации по сравнению с другими породами. Особенно они опасны при их значительной естественной влажности.

### **2.7. Связные породы**

Группа связных грунтов объединяет *лессовые, глинистые почвы и биогенные породы*. Для них характерна зависимость прочностных и других свойств от влажности. В зависимости от влажности преобладают структурные связи разного характера: ионно-электростатические, капиллярные, молекулярные.

*Лессовые породы* распространены очень широко. По условиям залегания они повсеместно покровные. Мощность их толщи колеблется от нескольких сантиметров до десятков и даже сотен метров. В пределах равнинных областей мощность лессовых толщ возрастает от первой надпойменной террасы к междуречным (водораздельным) пространствам. Для предгорных и горных районов, наоборот, характерно увеличение мощности лессовых пород по мере приближения к долинам рек: здесь их наиболее мощные толщи приурочены к депрессиям.

Лессовые породы обычно подразделяются на лессы и лессовидные грунты. В основу этого разделения могут быть положены различные признаки. При инженерно-геологической характеристике важнейшей их особенностью является просадочность. По этому свойству и

следует разделить лессовые породы: лессы являются просадочными, лессовидные – непросадочными или малопросадочными.

*Глинистые* – одна из наиболее распространенных пород. Состав, структурно-текстурные особенности и свойства, а также строение толщ определяются их генезисом. Огромное влияние на их свойства также оказывают возраст, степень литификации и условия залегания. Элювиальные глины характеризуются различными инженерно-геологическими свойствами, в частности различной пластичностью. Наиболее пластичные их разновидности формируются при выветривании основных изверженных и эффузивных пород. При выветривании кислых пород обычно образуются слабопластичные глины (каолинитовые).

Глинистые делювиальные породы имеют общую склонность движения по склонам. Искусственная подрезка делювиальной толщи (сооружение котлована под здание, дорожной выемки и т. д.), особенно в нижней части склона, нередко вызывает движение оползневого характера. Поверхность скольжения может проходить как внутри делювиальной толщи, так и по ее контакту с подстилающей коренной породой. В инженерно-геологической практике имеются примеры, когда движение глинистого делювия по поверхности глинистых пород происходит при очень малых углах наклона к поверхности контакта (несколько градусов). Борьба с движением в таких условиях осложняется свойствами этих пород, в частности их практической водонепроницаемостью, и вследствие чего неэффективностью применения дренажных устройств.

*Ледниковые отложения* представлены супесями, суглинками и глинами, содержащими различное количество дресвы, гравия, гальки и валунов. Отличительной чертой глинистых моренных образований является их высокая плотность: объемная масса обычно колеблется от 1,9 до 2,2–2,3 г/см<sup>3</sup>. Пористость этих пород мала – обычно 35 % (наиболее часто – около 30 % или несколько ниже). В соответствии с высокой плотностью сжимаемость моренных отложений незначительна: показатели механических свойств характеризуют морену как плотный, слабосжимаемый грунт. Модули сжимаемости, полученные при компрессионных испытаниях в интервале нагрузок 0,1–0,3 МПа, находятся в пределах от 9 до 10–15 и даже до 20 МПа. Сопротивление сдвигу моренных грунтов также обычно достаточно высокое. Моренные глинистые грунты в большинстве случаев считаются надежными

основаниями для самых тяжелых и ответственных сооружений, что обусловлено их плотным сложением, очень низкой пористостью и слабой сжимаемостью.

Типичным представителем глинистых водно-ледниковых отложений являются хорошо известные в инженерно-геологической практике *ленточные глины*, широко развитые на севере Республики Беларусь. Ленточным глинам свойственна высокая пористость (до 60–65 %) и высокая естественная влажность. Чаще она выше влажности верхнего предела пластичности, т. е. в естественных условиях глины находятся в скрытотекучем состоянии. Ленточные глины обладают четко выраженной анизотропией в отношении целого ряда свойств благодаря особенностям своего микростроения. В частности, их водопроницаемость, которая вообще величина очень небольшая, значительно выше вдоль напластования, чем перпендикулярно к нему. У песчаных и пылеватых прослоев (в основном определяющих водопроницаемость вдоль напластования) коэффициент фильтрации равен  $K_f^4$ – $K_f^8$  см/с, а у глинистых он снижается до 10 см/с. Ленточные глины в естественном состоянии могут без значительных деформаций выдерживать нагрузки до 0,3–0,4 МПа, даже если их естественная влажность превышает верхний предел пластичности. Осадка толщи водонасыщенных ленточных глин под сооружением усиливается при переслаивании глинистых и песчаных пород. Последние в этом случае играют роль естественных дренажей, отводящих выжимаемую из глинистых прослоев воду.

Сопротивление ленточных глин различно в зависимости от места расположения поверхности сдвига. Оно больше для песчаных и меньше для глинистых прослоев. Кроме того, ввиду анизотропности породы это сопротивление изменяется в зависимости от направления сдвигающего усилия по отношению к поверхности напластования.

*Озерные суглинки* и *глины* используются нешироко. Высокая пористость глинистых озерных пород, значительное содержание в них органики и высокая естественная влажность обуславливают большую сжимаемость этих пород и низкие показатели сопротивления сдвигу.

## 2.8. Почвы и торфы

Особенности почв отличны от особенностей подстилающих их горных пород. Это своеобразие объясняется в первую очередь тем,

что в почвах неорганическое минеральное вещество тесно сочетается с органическим. Это и определяет специфику свойств почв. Данные особенности приходится учитывать при использовании почв в качестве грунтов при строительстве аэродромов, железных дорог и других инженерных сооружений. В основу инженерно-геологического подразделения почв целесообразно положить значение кислотности рН. Почвы, имеющие  $pH > 7$ , резко отличаются по составу органического вещества, строению и свойствам от почв, у которых  $pH < 7$  ( $pH > 7$  – сероземы, каштановые и бурые, черноземы, засоленные и др.;  $pH < 7$  – лесостепные, подзолистые и дерново-подзолистые, тундровые, болотные и др.).

Почвы щелочной реакции – группа монтмориллонита. Почвы кислой реакции – группа каолинита. В обеих группах обычно содержатся различные модификации вторичного кварца и окислов железа.

Важное значение имеют простые соли, которые в почвах находятся в твердом состоянии. Их общее количество колеблется от долей процента (например, в подзолистых почвах) до десятков процентов (в нижних горизонтах черноземов, каштановых почв, в солончаках). Наличие этих солей оказывает влияние на ряд инженерно-геологических особенностей почв (например, их агрессивность по отношению к строительным материалам).

Содержание органической части почв – гумуса – колеблется от долей процента до 20–22 % по весу. Особенно большое содержание гумуса характерно для черноземных и черноземновидных почв. При инженерно-геологической оценке следует учитывать вертикальное строение. Различные горизонты почв различаются по генезису, составу, физико-механическим и физико-химическим особенностям и свойствам.

*Торф* – своеобразная, геологически относительно молодая, не прошедшая стадий диагенеза, фитогенная горная порода. Образуется в результате отмирания и разложения болотной растительности в условиях избыточного увлажнения и недостаточного доступа кислорода. Выделяются два типа по генезису: озерно-болотный и аллювиально-болотный.

Подразделение биогенных пород в инженерно-геологических целях целесообразно производить по степени их разложения и зольности (содержание в торфе минеральных веществ достигает 18 % у торфов

озерно-болотного происхождения и 40 % – у торфов аллювиально-болотного генезиса). Выделяют:

- а) слаборазложившиеся торфы (степень разложения  $R = 5-20$  %);
- б) среднеразложившиеся ( $R = 30-40$ %);
- в) сильноразложившиеся ( $R > 40$  %).

В связи с этим они различаются по своим свойствам.

При малой общей влажности торфа (50 %) вся вода находится в связанном состоянии. Содержание гравитационной воды в торфе невелико даже при его высокой влажности и составляет 4–9 %. Количество воды зависит от состава и степени разложения торфа, его зольности, степени осушения залежи и давления, под которым она находится. Влажность торфа особенно зависит от степени его разложения. Чем выше степень гумификации торфа, тем он плотнее, тем меньше в нем растительных остатков и ниже способность впитывать воду. При высыхании торфов наблюдается значительная усадка, величина которой определяется начальной влажностью, степенью разложения и зольностью. У высокозольных торфов она достигает 14–44 %. Торф является водонепроницаемым, но величина его мала относительно его большой пористости (от  $10^2$  до  $10^6$  см/с). Анализ сжимаемости указывает на достаточно тесную ее связь с генезисом торфов, их степенью разложения, плотностью и влажностью.

Аллювиально-болотные торфы, обычно средне- и высокозольные, обладают более высокой объемной массой и характеризуются наиболее низкой сжимаемостью, причем ее величина уменьшается с увеличением ее зольности и снижением влажности торфов.

Для нормально зольных торфов озерно-болотного генетического типа наиболее важной характеристикой, определяющей их компрессионные свойства, является степень разложения. При равных условиях наибольшей сжимаемостью обладают слаборазложившиеся торфы, наименьшей – сильноразложившиеся.

Наибольшей прочностью обладают низинные торфы аллювиально-болотного генезиса, имеющие высокую зольность. Для нормально зольных торфов наблюдается достаточно закономерный рост величины сдвигающего усилия с увеличением степени разложения торфов. Торф может обладать достаточно высоким сопротивлением сдвигу даже при значительной влажности.



## 2.9. Искусственные породы как грунты оснований

Можно выделить искусственные грунты с прочными кристаллизационными связями, со слабыми кристаллизационными и структурными ионно-электростатическими связями; искусственные грунты с ионно-электростатическими, капиллярными и структурными молекулярными связями.

*Искусственные скальные грунты.* Для придания прочности скальным породам в трещины нагнетают цемент или силикат. Если нет необходимости стремиться к значительному повышению прочности, но надо придать им монолитность для уменьшения водопроницаемости массивов, трещины тампонируют глинистыми или глинисто-силикатными растворами и битумами.

Надежным методом искусственного «окаменения» крупнообломочных, песчаных, лессовых и глинистых пород является внесение в них портландцемента.

*Искусственные дисперсные грунты* можно подразделить на сильно измененные и значительно измененные грунты.

*Прогретые грунты* – это породы, испытавшие воздействие температуры порядка 300–400°.

*Значительно измененные дисперсные искусственные грунты* – это различные типы искусственных грунтов, имеющих ионно-электростатические, капиллярные и молекулярные, но не структурные кристаллические связи.

*Улучшение грунтов* – один из основных методов химической модификации грунтов. К таким методам относится обработка лессовых и глинистых пород солями при диспергации и агрегации частиц, а также и гидрофабизации этих пород поверхностно-активными и кремнийорганическими соединениями.

### 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕЛОРУССКОГО РЕГИОНА И ЕГО РАЙОНИРОВАНИЕ

#### 3.1. Древние этапы развития и закономерности строения платформенного чехла

Основные черты инженерно-геологических условий Беларуси определились в ходе геологического развития Восточно-Европейской платформы. Анализ истории геологического развития позволяет установить закономерности строения основных геологических тел, выявить особенности их отражения в рельефе и характер пространственной изменчивости свойств горных пород.

На территории Республики Беларусь и смежных с нею областей получили распространение все основные типы структур различных порядков чехла и фундамента древней платформы (рис. 3.1). Для региона характерны стратиграфическая полнота разреза и разнообразный набор формационных рядов чехла (рис. 3.2 (цифры в скобках – номера формационных рядов на карте) и 3.3).

Основным этапам платформенного развития земной коры в пределах Беларуси и смежных областях соответствуют три типа чехла платформы – нижнерифейский (квазиплатформенный), среднерифейсконижневедский (катаплатформенный) и верхневедскофанерозойский (ортоплатформенный).

Первые два типа чехла сформировались в доплитные этапы развития платформы, а ортоплатформенный – в плитные. Доплитные этапы имели продолжительность около 1 млрд лет, плитные – 600–650 млн лет.

*Плитным этапам развития* запада Восточно-Европейской платформы соответствуют: позднебайкальский, каледонский, герцинский и киммерийско-альпийский этапы.

С данными этапами связано формирование плитных тектонических элементов, которые в историческом ряду платформенных структур выделяются максимальным разнообразием морфологических форм и генетических типов отложений.

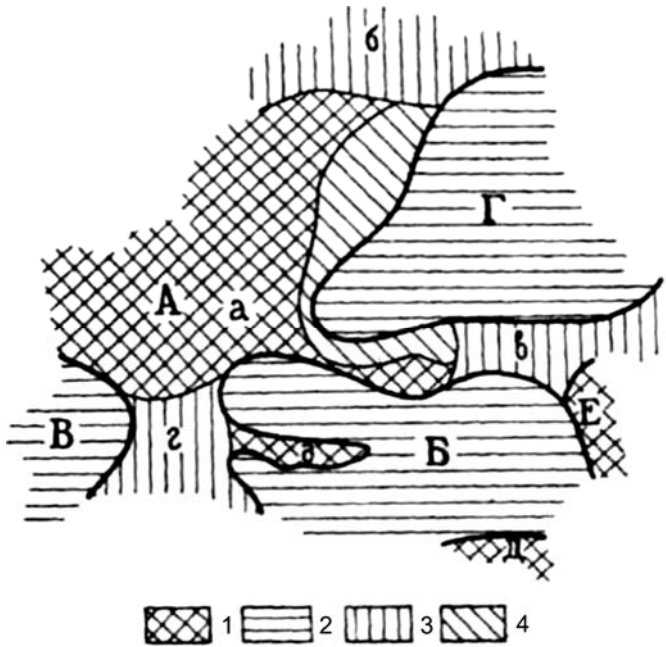


Рис. 3.1. Схема основных структурных элементов плат форменного чехла Беларуси:  
 1 – положительные структуры: А – Белорусская антеклиза; Д – Украинский щит;  
 Е – Воронежская антеклиза; а – Центрально-Белорусский массив; д – Микашевичский  
 выступ; 2 – отрицательные структуры: Б – Припятский прогиб; В – Подляско-  
 Брестская впадина; Г – Оршанская впадина; 3 – седловины: Б – Латвийская;  
 в – Жлобинская, г – Полесская; 4 – склоны Белорусской антеклизы

На киммерийско-альпийском этапе началась общая перестройка тектонического плана территории Беларуси. Для него характерно проявление движений положительного знака на северной части территории страны и увеличение мощности осадочного чехла на юге. В южной половине наиболее широко распространены отложения сероцветной терригенно-глауконитовой формации нижнего и верхнего мела, формации писчего мела и сероцветной терригенно-глауконитовой формации палеогена.

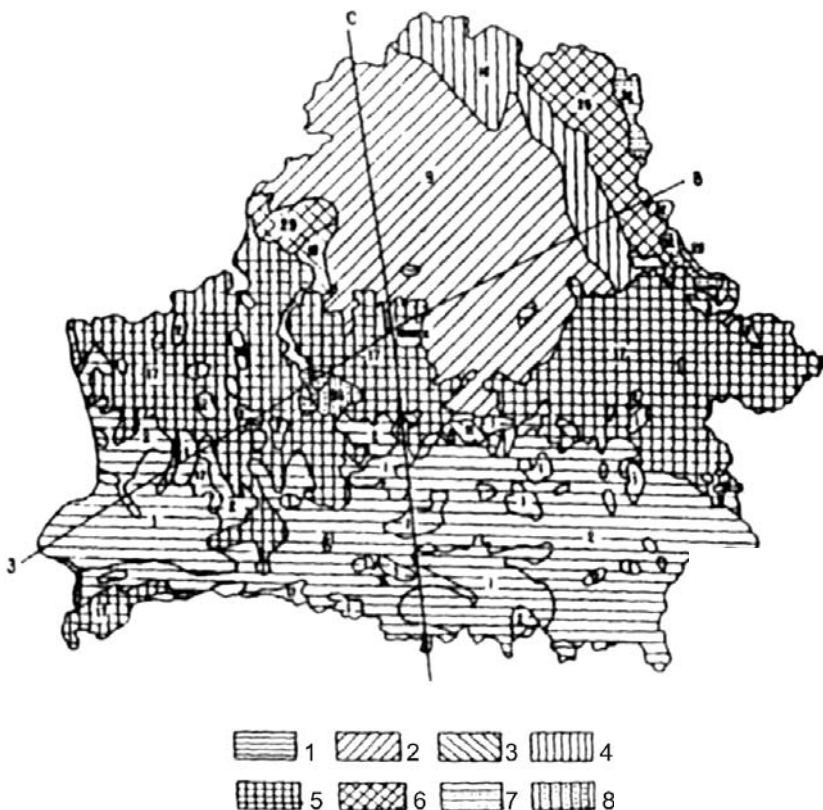


Рис. 3.2. Схематическая карта типов формаций Беларуси:

терригенные: 1 – глины, пески с прослоями бурых углей, песчаники, алевриты ( $N_i(i)$ ;  $P + N(pi)$ ;  $K_1(3)$ );  $1_2(5)$ ; 2 – песчаники, гипсы, доломиты, мергели и глины ( $D_2 + D_3(9)$ ); 3 – глины, алевриты, песчаники ( $P_{B3}(10)$ ;  $P_i(11)$ );

терригеино-карбонатные: 4 – мергели, известняки, доломиты, глины ( $D_{3fr}(16)$ );

карбонатные: 5 – мел, мергели, песчаники кварцевоглауконитовые, мел опесчаненный ( $K_2(17)$ ); 6 – мергели, известняки, доломиты, глины ( $D_3 + C_1(25)$ ,  $D_{3fr}(26)$ ,  $0 - S(29)$ ); сульфатно-карбонатные:

7 – алевриты, глины, мергели, доломиты ( $D_{Sfr}(32)$ ); гранитно-гнейсовые:

8 – граниты, гранодиориты, гнейсы, диориты, амфиболиты, железистые кварциты ( $A + P_R(38)$ )

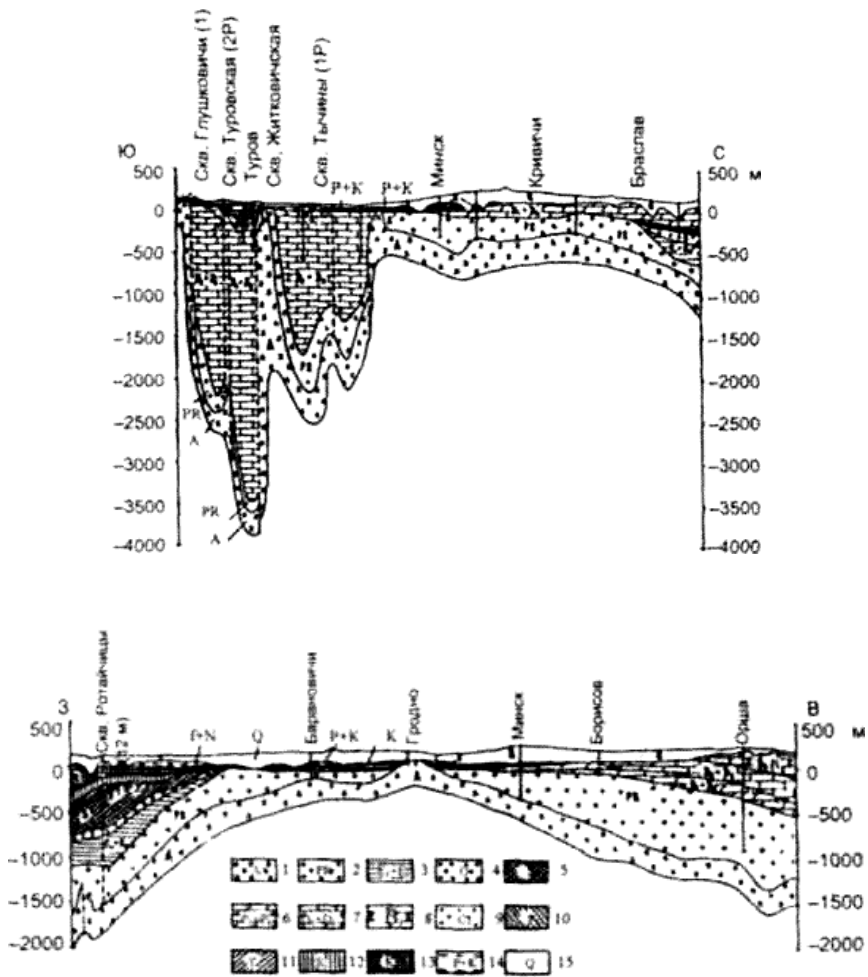


Рис. 3.3. Геологические разрезы по линиям 3-В и Ю-С (см. рис. 3.2)

На рис. 3.3: 1 – архей в составе терригенно-эффузионных и терригенных формаций: песчаники, алевролиты, конгломераты и брекчии; 2 – протерозой в составе покровно-ледниковой, трапповой, туфогенно-осадочной и сероцветной терригенной формаций: глины,

алевролиты, эффузивы и их туфы, туффиты и туфогенные породы; 3 – кембрий (нижний и средний) в составе сероцветной, терригенно-кварцевой формации глины, алевролиты и песчаники; 4 – ордовик в составе терригенно-карбонатной глауконитовой и карбонатной формаций: доломитизированные известняки, глауконитовые песчаники, оолитовые известняки и мергели; 5 – силур в составе терригенно-карбонатной (глинисто-известняково-мергельной) формации: мергели, известняки, доломиты и глины; 6 – девон (нижний и средний) в составе сульфатно-карбонатно-терригенной сероцветной формации: песчаники, гипсы, доломиты, мергели и глины; 7 – девон (средний и верхний) в составе терригенной пестроцветной формации: песчаники, глины, алевролиты, прослой доломитов и алевролитов; 8 – девон (верхний, франский ярус) в составе карбонатной сероцветной, сульфатно-карбонатной сероцветной, галогенной галитовой и терригенно-сульфатно-карбонатной галловой формаций: мергели, известняки, доломиты, ангидриты; 9 – карбон (нижний) в составе терригенно-каолинитово-угленосной пестроцветной формации: каолинит, угли, песчаники, глины; 10 – пермь (нижний) в составе верхней молассоидной формации: аркозовые конгломераты равелиты, песчаники, песчаные доломиты; 11 – триас в составе терригенной пестроцветной и карбонатной формаций: известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, глины; 12 – юра в составе сероцветной терригенной буроугольной и сероцветной терригенно-карбонатной формации: известняки, мергели, глины с прослоями алевролитов, песков и бурых углей; 13 – мел в составе сероцветной терригенно-глауконитовой фосфоритоносной формации и формации писчего мела: пески кварцево-глауконитовые, песчаники с фосфоритовыми конкрециями, мергели и писчий мел; 14 – палеоген и неоген в составе сероцветной терригенно-глауконитовой формации (палеоген-алевролиты шишковидные, пески кварцевые и кварцево-глауконитовые) и пестроцветной терригенной буроугольной формации (неоген-глины и пески с прослоями бурых углей); 15 – плейстоцен в составе ледниковой и межледниковой формаций: глины, суглинки и супеси с включением и без включений гравия, гальки и валунов, пески разного ранулометрического состава, торф, гиттии, сапропели.

### **3.2. Новый этап в развитии региона и основные закономерности строения антропогенного покрова**

В конце 30-х гг. XX в. многие исследователи пришли к важному выводу, определившему новое направление в развитии геологии. Была осознана ошибочность ранее принятых взглядов на новейшее время как период тектонического покоя и доказана широкая распространенность новейших тектонических движений.

Неотектонический этап развития структур и формирования геологических тел начался с момента установления континентальных условий и регрессии последнего для этой территории Харьковского моря (Левков, 1974 г.). Исходя из особенностей геологического развития территории на неотектоническом этапе выделяются две стадии формирования этапа в развитии земной коры.

На первой стадии в позднем олигоцене и в неогене продолжались активные неотектонические движения в пределах всех выраженных в рельефе тектонических структур, в основном вдоль линий древних разломов, а также в районах, осложненных соляной тектоникой.

В середине плиоцена началось заметное воздымание юго-востока, причем наиболее значительным оно было у южного борта Припятского прогиба и, вероятно, достигало порядка 40–60 м. Это вызвало размыв на многих участках ранее накопившихся отложений и привело к тому, что к концу неогена площади, занятые этим прогибом, Жлобинской седловиной и западными склонами Воронежской антеклизы, оказались приподнятыми относительно более западных и северо-западных структур того же ранга.

Таким образом, основные черты доантропогенного рельефа Беларуси сложились в палеоген-неогеновое время, когда произошли последние морские трансгрессии и были сnivelированы неровности рельефа мелового времени.

В плейстоценовое время пришедшие с севера ледники в определенной степени сгладили доледниковый рельеф и погребли его под мощной толщей собственно ледниковых и межледниковых осадков (рис. 3.4).

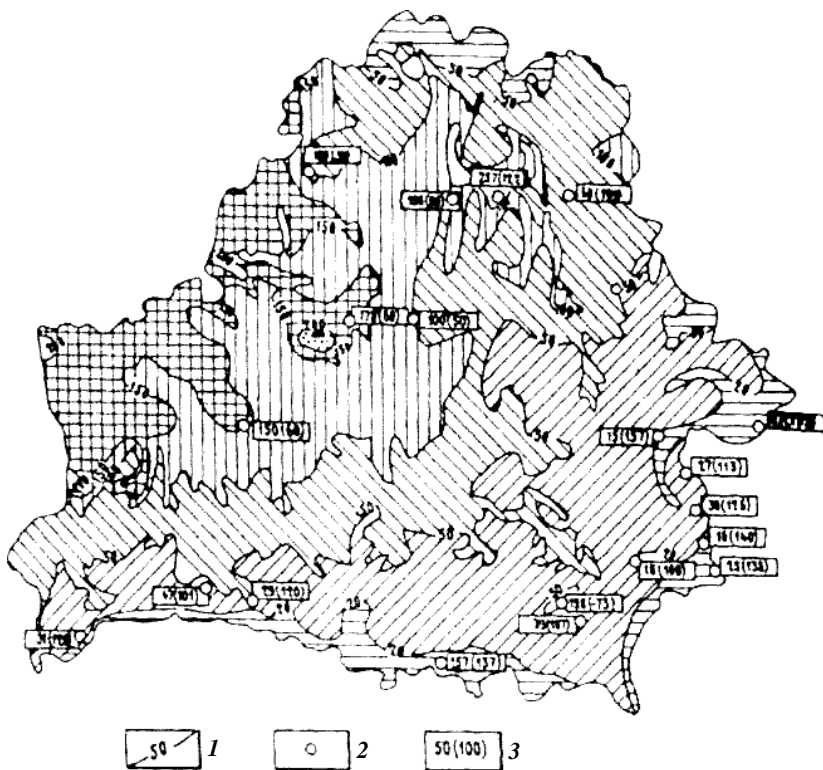


Рис. 3.4. Карта мощностей четвертичных отложений Беларуси:

1 – изопахиты (линии равных мощностей четвертичных отложений); 2 – скважина, полностью вскрывшая четвертичные отложения; 3 – мощность четвертичных отложений (м), в скобках – абсолютные отметки подошвы четвертичных отложений (м)

В основном своем распространении плейстоценовые отложения косвенно отразили общий структурный план доантропогенной поверхности, что отчетливо прослеживается на геоморфологических картах и картах мощностей четвертичных отложений. В ходе неотектонического развития в результате более резкого воздымания востока и юга и относительного отставания в подъеме северо-запада образовался общий перекося поверхности с юго-востока на северо-запад и на этом фоне более приподнятыми оказались восточные и южные края.

Плейстоценовая стадия испытывала заметное влияние неотектонических процессов на характер распространения материковых



оледенений, неоднократно возникавших на территории Беларуси. Так, в результате приподнятости юго-востока белорусский ледник обошел это поднятие и подвинулся по более опущенному западному участку. Позднее территория Припятского прогиба была охвачена нисходящими движениями, поэтому следующий березинский ледник частично проник и сюда, оставив горизонт водно-ледниковых образований. На рубеже раннего и среднего антропогена отмечались дифференцированные восходящие движения, что на ряде участков привело к врезанию крупных рек до коренных пород.

Заметное погружение поверхности происходит в период отрицательных движений при наступлении днепровского ледника, особенно мощного вдоль долины Днепра. После деградации этого ледника интенсивно воздымалась восточная часть Беларуси.

На основании анализа мощностей и характера распространения московского (сожского) ледника можно заключить, что в эту ледниковую эпоху юго-восток Беларуси был приподнят относительно юго-западной части.

Последний валдайский (поозерский) ледник охватил лишь площадь Белорусского Поозерья, вызвав заметные гляциоизостатические движения в этой области и примыкающей с юга полосе.

Совершенно очевидно, что развитие рассматриваемого региона в течение неотектонического этапа было неоднородным. Если в первую стадию опущенной была южная часть Беларуси (Припятский прогиб, Полесская седловина, Подляско-Брестская впадина и юго-западные склоны Белорусской ангеклизы), то в плейстоценовую произошло смещение основного прогибания к западу и северо-западу.

Анализ геологических данных показывает, что каждый ледниковый покров на трансгрессивной стадии приводил к гляциоизостатическому опусканию занимаемой им площади, а на регрессивной – к ее воздыманию. Размах этих движений мог достигать многих десятков метров, а при максимальном оледенении – 100 м. При этом происходила активизация разломных зон древнего заложения и появление ряда нарушений в залегании пород (гляциодислокаций) в приповерхностной части земной коры до глубины 100–250 м.

Плейстоценовые отложения повсеместно развиты на территории Беларуси и являются основанием практически всех инженерных сооружений (рис. 3.5–3.7).

220  
210  
200  
190  
180  
170  
160  
150  
140  
130  
120  
110  
100  
90  
80  
70  
50  
40  
30  
20  
100

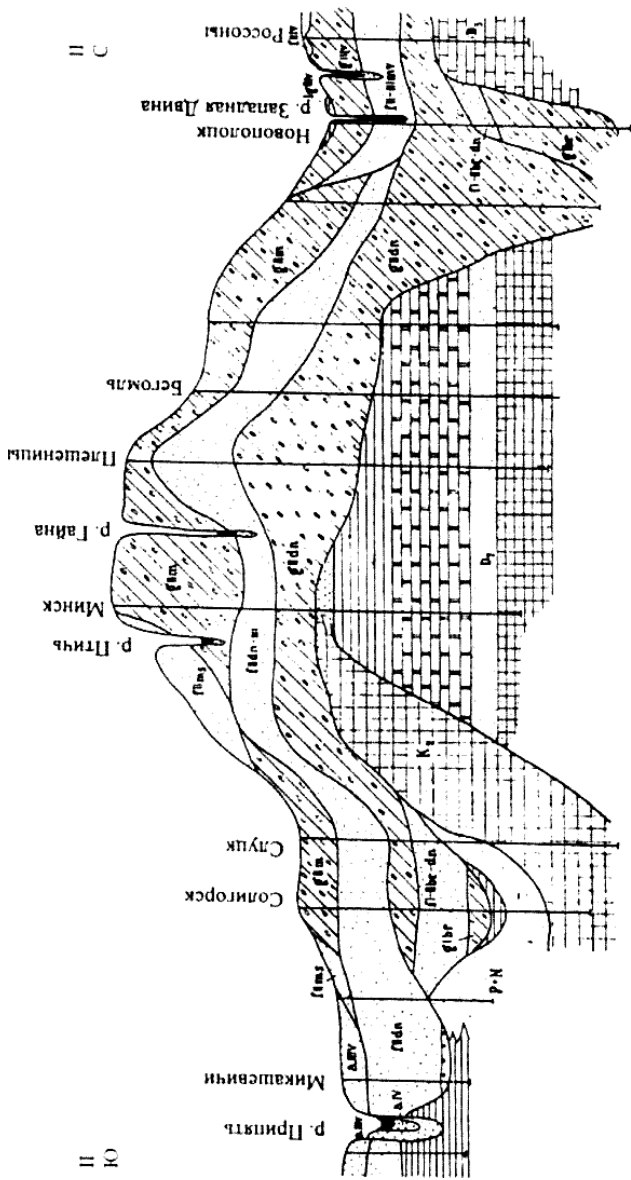


Рис. 3.5. Схематические геолого-литологические разрезы по линии II-II

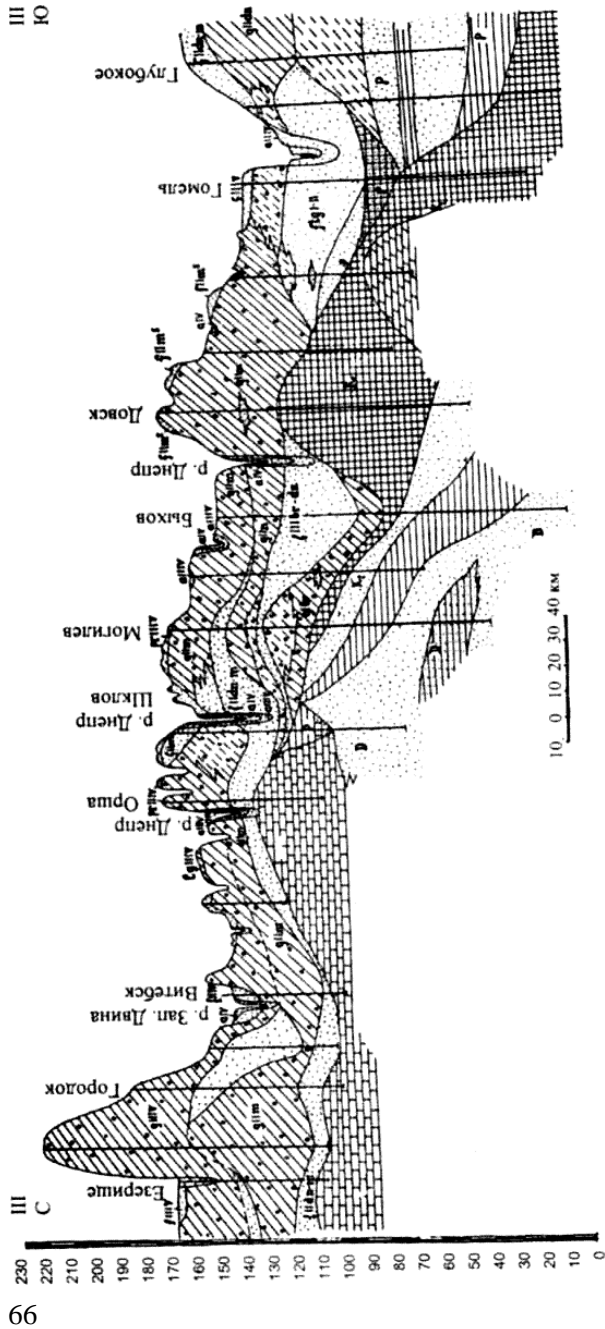


Рис. 3.6 Схематические геолого-литологические разрезы по линии III—III

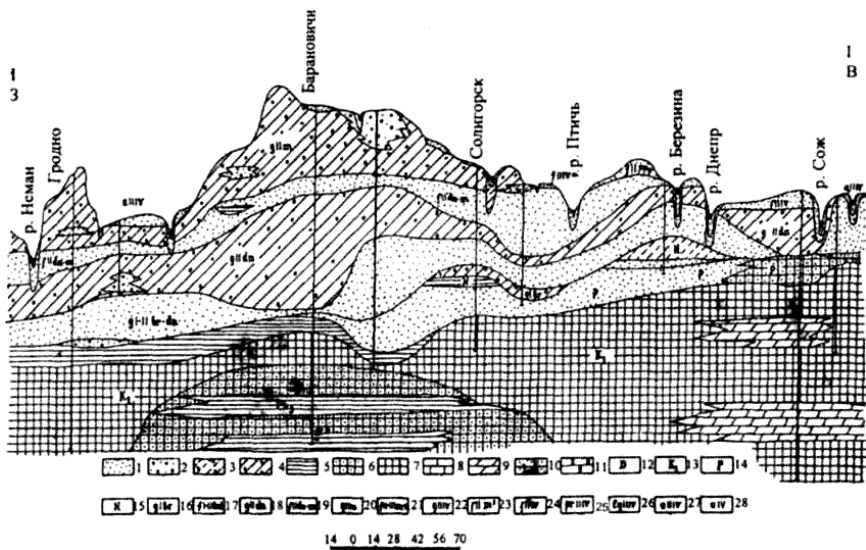


Рис. 3.7. Схематические геолого-литологические разрезы по линии I-I:

1 – песок; 2 – песок с гравием и галькой; 3 – супесь с гравием, галькой и валунами; 4 – суглинок с гравием, галькой и валунами; 5 – глины; 6 – песчаник; 7 – мел; 8 – доломиты; 9 – известняки; 10 – мергели; 11 – протерозой; 12 – девон; 13 – мел; 14 – палеоген; 15 – неоген; 16 – морена березинского оледенения; 17 – межморенные отложения березинско-днепровского оледенения; 18 – морена днепровского оледенения; 19 – межморенные отложения днепровско-сожского оледенения; 20 – морена сожского оледенения; 21 – межморенные сожско-поозерские отложения; 22 – морена поозерского оледенения; 23 – надморенные отложения днепровского и сожского оледенений; 24 – надморенные отложения поозерского оледенения; 25 – лессовидные отложения проблематического возраста; 26 – озерно-гляциальные отложения поозерского оледенения; 27 – аллювиальные отложения первых и вторых надпойменных террас; 28 – отложения пойм (направления разрезов на рис. 3.9, составил Г. А. Колпашиков)

Сведения по геологическому строению территории Беларуси в плейстоцене имеются во многих работах (Цапенко, 1957 г., 1960 г. и др.; Горецкий, 1967 г., 1970 г.; Гурский, 1974 г. и др.). Эти материалы и многолетние исследования, проведенные автором по изучению особенностей накопления плейстоценовых отложений на рассматриваемой территории, позволяют в основных частях представить строение четвертичного покрова и рассмотреть в инженерно-геологическом аспекте особенности отдельных горизонтов. Поскольку территория

Беларуси в геологическом отношении является закрытым районом, имеющиеся сведения получены в результате анализа значительного по объему бурового фактического материала. За время проведения исследований по изучению плейстоценовых отложений было проанализировано около пяти тысяч скважин и несколько сотен естественных обнажений. Это дало возможность по имеющимся материалам в основных чертах рассмотреть особенности строения плейстоценовых отложений, отдельных их горизонтов, установить закономерности формирования надпойменных террас крупнейших рек юга Беларуси. Это имеет важное значение для инженерно-геологической интерпретации полученных материалов, их использования при проектировании крупных гидротехнических сооружений, мелиоративных систем и др.

В Беларуси отложения нижнего и среднего плейстоцена залегают на коренных породах различного возраста – от архейских до плиоценовых. В северных районах – это терригенные и карбонатные породы среднего и верхнего девона, в центральной части – кварцево-глеконитовые пески и мергельно-меловая толща верхнего мела, на юге – разнообразные (преимущественно терригенные) породы палеогена и неогена.

Доплейстоценовые отложения присутствуют в толще ледниковых образований (до 100–110 м) в виде отторженцев различных размеров. При продвижении ледниковых покровов и таянии льда они оказывали существенное влияние на минералогический состав плейстоценовых отложений.

Плейстоценовые отложения развиты повсеместно и перекрывают чехлом неравномерной толщины всю территорию страны. В долинах наиболее крупных рек и их притоков (Западная Двина, Днепр, Сож, Припять и др.) этот чехол разорван, и на дневную поверхность выступают девонские (северная часть), меловые, палеогеновые или неогеновые породы (средняя и южная часть).

Накопление плейстоценовых отложений происходило при условии тесной связи с современным и погребенным рельефом, что, например, находит отражение в строении, генезисе и распределении мощностей плейстоценового покрова. В основном максимальные мощности (свыше 300 м) приурочены к долинам рек и современным возвышенностям. По данным Б. Н. Гурского (1974 г.), минимальные мощности характерны для погребенных возвышенностей и молодых участков современных речных долин. Они определяются главным образом

тектоническими факторами, хотя их влияние носит весьма сложный характер. Так, Минская и Новогрудская возвышенности, где мощности плейстоценовых отложений весьма значительны, испытывают современные тектонические движения положительного знака. Эта особенность может быть объяснена последующими инверсиями тектонических блоков, на которые разбита поверхность кристаллического фундамента Беларуси.

### 3.3. Пространственные закономерности

Изучение инженерно-геологических условий территории Республики Беларусь началось в 30-е гг. XX в. Большой вклад в методологию, теорию и практику инженерно-геологических исследований внесли Г. В. Богомолов, М. Ф. Козлов, В. Г. Лободенко, Ю. А. Соболевский, Д. Ю. Соболевский, Л. Н. Викарук, И. Г. Лукинская и многие другие.

Мощность доплейстоценовых отложений закономерно увеличивается во впадинах, а на отдельных участках фундамент близко подходит к поверхности (Микашевичский выступ, Центрально-Белорусский массив и др.). В верхней зоне породы фундамента выветрелые.

Осадочная толща палеозоя и мезозоя сложена известняками, мергелями, ангидритами и другими прочными породами высокой растворимости. Проведенными испытаниями на специально сконструированных прессах с давлением до двух тонн были получены следующие показатели механических свойств:

– мергели без включений гипса и ангидрита ( $\delta_{СТ} = 105\text{--}230$  МПа,  $\delta_p = 6\text{--}23$  МПа, угол внутреннего трения  $\varphi = 54\text{--}62$ , коэффициент сцепления  $C = 86\text{--}125$  МПа, модуль деформации – 7 МПа, в воде интенсивно размокают);

– мергели с прослоями гипса и ангидрита ( $\delta_{СТ} = 21\text{--}31$  МПа,  $\delta_p = 7,8\text{--}6,5$  МПа,  $\varphi = 37\text{--}41$ ,  $C = 7,8\text{--}17,5$  МПа, в воде размокают медленно и не набухают);

– ангидриты ( $\delta_{СТ} = 60\text{--}65$  МПа);

– глины ангидритовые ( $\delta_{СТ} = 70\text{--}80$  МПа);

– глины с гнездами соли и ангидрита ( $\delta_{СТ} = 35\text{--}55$  МПа,  $\delta_p = 25\text{--}39$  МПа,  $\varphi = 37\text{--}54$ ,  $C = 28\text{--}39$  МПа);

– сильвинит ( $\delta_p = 21$  МПа);

– сильвинит-галитовая порода ( $\delta_r = 18\text{--}20$  МПа), карналит-галитовая ( $\delta_r = 4\text{--}5$  МПа).

В направлении кровли прочностные свойства пород снижаются. Так, меловые отложения обладают высокой чувствительностью к разрушению естественного сложения, сопровождающегося резким падением прочности (от 4–5 МПа до нуля). Уменьшение прочности свойственно палеогеновым и неогеновым отложениям. Разработка полезных ископаемых усложнена наличием водоносных горизонтов, причем с ростом мощности отложений во впадинах увеличивается количество водоносных горизонтов (Припятская, Подляско-Брестская и другие впадины).

Плейстоценовый покров повсеместно распространен на территории Беларуси, а его верхняя 10–20-метровая толща в основном находится в зоне активного воздействия сооружений массовых видов строительства. Среди выделенных на этих глубинах четырнадцати типов грунтовых толщ наименьший процент приходится на песчаные и глинистые толщи, подстилаемые скальными ( $< 1\%$ ). В ограниченном количестве распространены ( $< 1\%$ ) также песчаные, переслаивающиеся с грубообломочными. На остальной территории преобладают глинистые и песчаные отложения, представленные 18 типами разрезов. При этом наблюдается закономерное изменение состава и строения грунтов при переходе от северных районов к южным, что определяет изменение водно-физических и физико-механических свойств пород.

Выявлена тесная связь между параметрами физических и прочностных свойств моренных грунтов. Сопряженные уравнения регрессии имеют следующие выражения:

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,45 + 0,168\gamma;$$

$$C = 0,37 + 0,003W;$$

$$C = 0,06 + 0,32\gamma;$$

$$\gamma = 2,015 + 0,25\operatorname{tg} \varphi;$$

$$W = 9,36 + 0,32C;$$

$$\gamma = 2,11 + 0,19C.$$

Коэффициент вариации свойств в приповерхностной зоне гипергенеза может в значительной степени изменяться в связи с разбросом их значений. Пылеватые, лессоподобные разности морен обладают свойствами пучения при увлажнении и промерзании, что приводит к деформации зданий и сооружений. Обособлены в пространственном распространении озерно-ледниковые отложения, приуроченные к северной части Беларуси – Полоцкой, Дисненской, Друйской, Суратской и Лучоской низинам. При активном дренировании и замачивании ленточных глин в горных выработках возникают оползни, усложняющие эксплуатацию карьеров.

К средней части Беларуси приурочены основные массивы лессовидных отложений – Новогрудская и Минская возвышенности, Оршанско-Могилевское плато.

В испытанных 82 образцах при дополнительном давлении 0,2–0,3 МПа просадочными оказались 16. Степень просадочности с глубиной уменьшается, что связано с особенностями гипергенной перестройки верхней части. Наиболее просадочными оказались образцы пород, взятые на Новогрудской возвышенности и Оршанско-Могилевском плато (0,014–0,047).

Со сложными инженерно-геологическими условиями приходится сталкиваться в пределах вторых надпойменных террас и древних ложбин стока юга Беларуси. Выявленные закономерности в строении грунтовых толщ показали, что нижняя часть разрезов на глубине 10–15 м сложена супесями и суглинками с низкими показателями несущих свойств. Это в значительной степени усложняет строительство крупных мостовых переходов.

Аллювиальные грунтовые толщ распространены в Белорусском Полесье, где они слагают поймы и обширные надпойменные террасы рек, Днепра, Припяти и др. Значительно меньшую ширину они имеют в долинах Немана, Западной Двины и других рек в средней и северной частях Республики Беларусь.

По степени водонасыщения грунтов территория делится на три обособленные зоны. В пределах этих зон состояние грунтов в разрезе толщи, обусловленное фазовым состоянием воды, однотипно и регионально выдержано.

Первая – это зона преимущественного распространения сильно-увлажненных и увлажненных грунтовых толщ. К ней относят Белорусское Полесье и Центрально-Березинскую равнину.



Вторая – зона преимущественно слабоувлажненных толщ, приурочена к Белорусской гряде и Оршанско-Могилевскому плато.

Третья – зона преимущественно увлажненных грунтовых толщ, охватывает Белорусское Поозерье.

Таким образом, для территории Беларуси характерны специфические особенности распространения различных по составу дисперсных грунтов, слагающих повсеместно весь разрез толщи. При этом наблюдается закономерное изменение состава, строения и состояния грунтов при переходе от северных районов к южным, что определяет изменение водно-физических и физико-механических свойств пород. В целом можно выделить две характерные зоны по содержанию обломочных фракций – северную, с валунодержущими фракциями, и южную, сложенную преимущественно песчано-глинистыми отложениями. Граница между этими зонами проходит близко вдоль глубоких региональных разломов на севере Подляско-Брестской и Припятской впадин. Кроме того, этим зонам присущи свои особенности распространения грунтовых толщ различных групп, свойства которых изменяются в субширотном направлении.

#### **3.4. Типы и закономерности развития природных геологических процессов**

В области распространения верхней толщи осадочного чехла с разной степенью обводненности в пределах определенных форм рельефа развиваются свойственные только этим формам типы природных геологических процессов, которые подчинены зонально-климатическим и регионально-геологическим особенностям территории. Климатическая зональность проявляется в разной степени водонасыщения грунтов. Если в целом Беларусь принадлежит к наиболее увлажненным районам европейской территории (среднегодовая норма 650–700 мм), то характер выпадения осадков неоднозначен. Больше всего их выпадает на севере (до 700 мм) и меньше – в южной половине (до 500 мм). В то же время, сумма активных температур повышается с севера на юг, что оказывает существенное влияние на изменение инженерно-геологических условий территории, на водно-физические и физико-механические свойства грунтов в связи с разной их обводненностью, и в конечном итоге – на развитие геологических процессов.

Северная зона в границах Белорусского Поозерья характеризуется относительно небольшими масштабами развития природных геологических процессов. В долине Западной Двины при подрезке склонов наблюдается образование оползней и оврагов. В связи с наличием уклонов поверхности в среднем 3° распространением почти повсеместно слабофильтрующих материнских пород здесь значительно выражен плоскостной смыв почв.

На отдельных озерах (Нарочь, Мядель и др.) имеет место озерная абразия, сопровождающаяся развитием осыпей и обвалов. Степень развития этих процессов невелика.

Центральная зона характеризуется наибольшим размахом развития экзогенные геологические процессы (ЭГП) как по количеству, так и по видам, причем отдельным районам свойственны свои особенности развития процессов. В центральной зоне закономерно выделяют районы распространения плоскостной эрозии, оврагообразования, осыпей и обвалов. Они группируются исходя из региональных особенностей.

Так, в пределах Белорусской гряды, где значительны площади водосборов, активизированы процессы плоскостной эрозии, а на участках крупных склонов – оползни и осыпи, особенно при подрезке склонов. Оврагообразование – наиболее распространенный вид процесса, развивающийся на участках с лессовидными отложениями на Новогрудской и в меньшей степени Минской возвышенностях, в пределах Оршанско-Мстиславско-Могилевского плато и на склонах речных долин и притоков рек.

Южной зоне свойственны иные виды и условия ЭГП по сравнению с северной и центральной. Эта зона располагается в пределах Белорусского Полесья и одновременно находится в границах трех крупных тектонических структур – Припятской, Подляско-Брестской впадин и разделяющей их Полесской седловины. Наиболее интенсивно развиваются здесь процессы ветровой эрозии – с образованием эоловых песков, в пределах надпойменных (боровых) террас и зандровых равнин. Вследствие сухости климата, наличия значительных площадей, незащищенных растительностью, ветровая эрозия получила широкое распространение. В пределах речных долин – оползни, осыпи и обвалы, а также прослеживается влияние современных положительных движений земной коры на формирование молодых эрозионных врезов.

Рассмотрим наиболее типичные для Беларуси природные геологические процессы. Материалы получены в результате натурного изучения и на основе дешифрования аэрофотоснимков.

### *Оползни*

Явление взаимодействия любых материальных тел, обусловленное законом всемирного тяготения Ньютона, выражает сущность гравитации. В геодинамике под гравитационными процессами понимается перемещение любых горных пород под воздействием силы тяжести с их последующим разрушением и накоплением в нижней части склона.

В естественных условиях горные породы находятся на поверхности Земли в устойчивом равновесии. При подрезке склонов в пределах речных долин при боковой миграции водотоков и озер в результате абразии или при увлажнении горные породы могут быть выведены из состояния равновесия. Из-за чего развиваются оползневые, осыпные и обвальные процессы. В сейсмически активных районах причиной нарушения равновесия горных пород являются землетрясения.

В настоящее время издано множество работ, раскрывающих особенности проявления гравитационных процессов. Так, в «Указателе литературы по оползням» Н. Ф. Погребова дана библиографическая сводка материалов по оползням с конца XIX в. по 30-е гг. XX в. Можно также сослаться на такие значительные работы по состоянию изучения оползней в СССР, как «Указатель литературы по оползням и устойчивости склонов» Е. П. Емельяновой (1962 г.), «Указатель литературы по оползням» (1971 г.), составленный К. А. Гулякяном и В. В. Кюнтцелем. Для всех изданных в последние годы работ характерно изучение вопросов напряженно-деформированного состояния склонов и его отдельных компонентов, механизма оползневых процессов, режима устойчивости склонов, факторов, обуславливающих развитие оползневых процессов.

Проявление гравитационных явлений и процессов на территории Беларуси изучено слабо. Существует несколько работ, раскрывающих механизм формирования оползней.

Изучение особенностей развития оползневых процессов необходимо для картирования при производстве комплексной гидрогео-

логической съемки, защиты народнохозяйственных объектов от опасного воздействия оползней, осыпей и обвалов и для других целей.

Оползни – один из наиболее широко встречающихся видов ЭГП, развитых в зоне распространения ледниковой формации. В настоящее время существует значительное число классификаций, позволяющих систематизировать виды и характер проявления оползневых смещений. В связи с разнообразными условиями формирования оползней в пределах ледниковой формации Беларуси для целей инженерно-геологического картирования может быть использована классификация оползневых явлений по их морфологии, разработанная Е. П. Емельяновой (1972 г.).

Рассматривая особенности оползневых смещений по их морфологии, можно установить определенные закономерности в распространении и развитии оползневых процессов.

В пределах различных морфологических элементов Беларуси детально изучены виды и характер проявления оползневых смещений, что позволило выделить их несколько типов (А. Г. Колпашников, 1984 г.):

- древние оползни солифлюкционного типа и оползни-течения;
- современные обвалы-оползни и оползни-течения.

Закономерности развития оползневых процессов были установлены в долине Днепра. Детально изучен, в частности, участок у д. Переделка, где, начиная с 1978 г., проводились инженерно-геологические исследования закономерностей переформирования долины Днепра.

Обозначенный склон расположен в центре меандра, образованного речным потоком, и относится к флювиогляциальной правобережной долине Днепра, окончательное формирование которой произошло к концу московского оледенения.

На этом примере типичного берегового склона Днепра, подрезаемого русловым потоком, четко прослеживается последовательность эволюции инженерно-геологических условий, определяющих развитие ЭГП. Здесь происходила смена условий и факторов, обусловивших:

- развитие оползней солифлюкционного типа в период березинского и сожского (московского) оледенений;
- возникновение оползней-течений днепровской морены в эпоху сожского (московского) оледенения;

– проявление обнажений, обвалов и оползней в нижней части склонов на современном этапе эволюции склона.

Современный этап характеризуется активным развитием обвалов и оползней, что связано с воздействием в основном двух факторов:

- 1) подрезкой склона речным потоком в весенний период;
- 2) ветровой эрозией песчаных прослоев, залегающих под днепровской мореной, в летний период.

Роль ветровой эрозии здесь чрезвычайно велика, поскольку осыпание выдуваемого песка приводит вначале к раздроблению и обрушению комковатых глин, а затем к обрушению залегающих выше массивов днепровской морены объемом несколько кубических метров. Первые признаки обрушения выражаются в виде трещин вертикального типа, образующихся в ослабленных зонах. Осыпавшаяся масса днепровской морены при смачивании атмосферными осадками превращается в оползень-течение, медленно передвигающийся вниз по склону (рис. 3.8, 3.9).

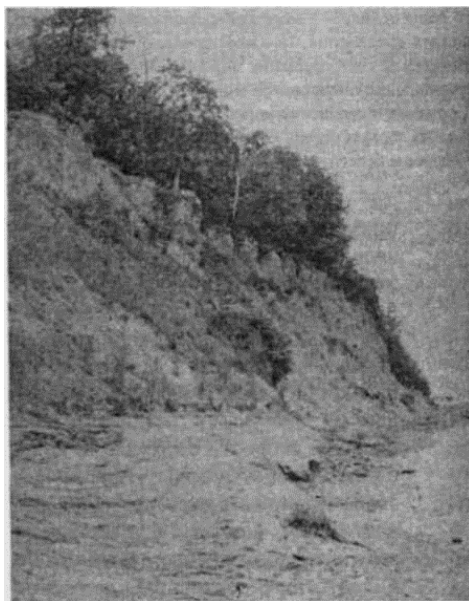


Рис. 3.8. Подрезка склона русловым потоком Днепра у д. Переделка, 1981 г.

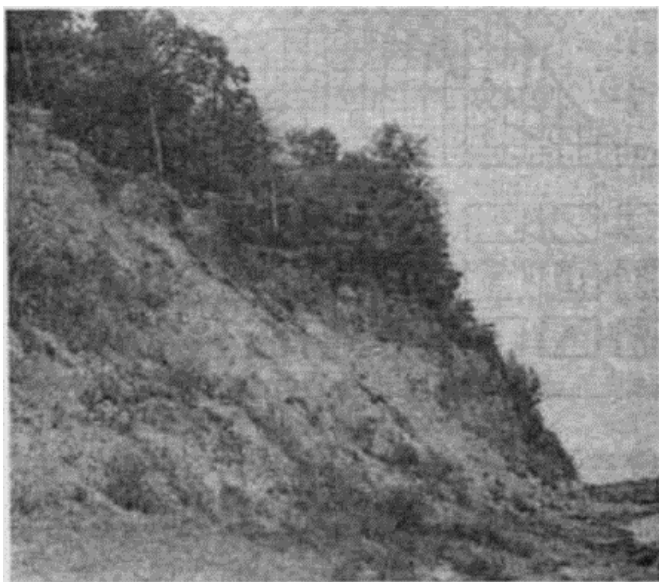


Рис. 3.9. Подрезка склона русловым потоком Днепра  
у д. Переделка, 1984 г.

Большое значение для оценки степени переработки склонов имеют повторные аэрофотоснимки, которые позволяют наиболее детально проследить во времени за характером смещения русла реки и дать прогноз переработки склонов.

Определенные сведения можно получить также путем сравнения снимков, выполненных в разное время. Так, при внимательном рассмотрении двух снимков склона, сфотографированного в 1981 и 1984 гг. (см. рис. 3.8 и 3.9), видно изменение в очертаниях склона и уничтожение части растительности в результате образования обвала, который в средней части склона преобразуется в оползень-течение.

Оползни-течения характерны для склонов, сложенных валунными супесями и суглинками. Распространены они и в районах залегания озерно-гляциальных отложений, сложенных ленточными глинами.

Обвалы и оползни-течения характерны для всех зон Беларуси. Особенно часто они наблюдаются на склонах речных долин, реже на склонах моренных возвышенностей. Наиболее детально они изучены в долинах р. Днепр (г. Речица, д. Холмеч, Переделка,

Страдубка). Как правило, для этих участков характерны террасовидные двухступенчатые оползни с высотой ступеней до 20 м.

Современные обвалы-оползни широко распространены на склонах речных долин. Их происхождение обусловлено подрезкой склонов постоянно действующим водотоком. Оползни-течения характерны для участков, где имеет место смачивание глинистых отложений.

Анализ причин, которые приводят к появлению новых и активизации древних оползней, показывает, что основными факторами являются:

- наличие водоносной песчаной толщи у контакта с валунными глинами, суглинками и супесями;
- увлажнение нижележащих пород и потеря вследствие этого прочностных связей между частицами грунта;
- подрезка склонов водотоками, что приводит к обрушению или оползанию грунта и его постепенному смещению к урезу реки с последующим размывом;
- участие в оползневом процессе напорных вод нижележащего водоносного горизонта, которые усиливают напряженное состояние в массиве.

### *Осыпи*

Осыпи – наиболее распространенный тип природных геологических процессов, наблюдающийся на территории Республики Беларусь. Как и оползни, они характерны для склонов речных долин и оврагов. Большинство осыпей приурочено к склонам, сложенным песчаными породами. Часто в кровле формируются масса пород, которая удерживается за счет цементированных песков и корней растительности. Осыпи свойственны почти всем формам песчаных образований.

Оценивая масштабы развития гравитационных процессов – оползней и осыпей – на территории Беларуси, отметим, что названные природные геологические процессы в основном приурочены к долинам крупных рек и их притокам и имеют значительное распространение. Наблюдаются уникальные случаи проявления оползневых и осыпных гравитационных процессов, приводящие к неудовлетворительному состоянию объектов, которые представляют исключительную ценность для государства (д. Переделка, г. Наровля, о. Нарочь и др.).

## *Оврагообразование*

Водная (плоскостная и глубинная) эрозия широко распространена по склонам возвышенностей, речных долин, оврагов и балок.

Способность текущих вод разрушать поверхность находится в прямой зависимости от площади водосбора, состава размываемых пород, крутизны склонов, уровня базиса эрозии. Особенно активное развитие получают эрозионные процессы при воздействии воды на рыхлые, слабосвязные породы.

Наибольшее развитие водная эрозия в Беларуси получила в районах холмисто-рядового рельефа зоны краевых ледниковых образований сожского (московского) и поозерского (валдайского) оледенений, сложенных с поверхности лессовидными супесями и суглинками, а также вдоль склонов речных долин крупных рек и их притоков. При воздействии эродирующих вод на склоны происходит ускоренное развитие оврагов на ряде участков и нарастание их по площади до нескольких метров в год. По данным В. М. Мотуза, в отдельных случаях рост оврагов достигает 30–50 м в год. На склонах Новогрудской, Гродненской и Минской возвышенностей в ряде мест происходит формирование прерывистых рытвин, которые по истечении некоторого времени сливаются в единый овраг, достигающий длины несколько сотен метров.

На территории Беларуси оврагами занято около 11 тыс. га земель. Значительные их площади приурочены к участкам сильно расчлененного, оголенного от растительного покрова рельефа, где протекают процессы эрозионного расчленения поверхности, приводящие к образованию каньонообразных рытвин, водороин и затем – оврагов.

В большинстве случаев можно установить следующие закономерности в развитии овражно-балочной сети. Наибольшая степень расчленения поверхности обусловлена наличием балок, формирование которых начиналось с оврагов вслед за отступлением последнего для этой территории ледникового покрова. Интенсивной эрозии вглубь и по площади способствовало общее поднятие поверхности в связи с изостатическими движениями, связанными с уходом ледника. Для типичной балки характерна задернованность склонов и днища.



## *Карст*

Первые упоминания о карстовых явлениях в Беларуси описаны в работах П. А. Тутковского. В 1899 г. он, описывая так называемые полесские «окна» в южном Полесье и образование ключей в ряде мест средней части Беларуси, указывал на связь этих явлений с тектоническими нарушениями меловых пород, что способствует развитию карстовых явлений. Г. В. Богомолов в 1946 и 1948 гг. подробно описывал карстовые воронки в верхнемеловых отложениях Полесья, расположенные ниже базисов эрозии современных рек, и отмечал, что «окна» П. А. Тутковского не что иное, как погребенные карстовые воронки, заполненные подземными водами. Он указывает также, что в верхней и средней частях долины р. Припять на глубине встречаются карстовые пустоты и подземные глубокие озера. Карстовые воронки в меловых отложениях, имеющие диаметр 1,5–2 м и более, были обнаружены при бурении скважин в районах г. Славгород, Краснополье, Корма, Кричев, Брест, Новогрудок и др. В работах В. Д. Дементьева (1958 г., 1960 г.) отмечено ограниченное развитие поверхностных карстовых явлений в Беларуси. Он описал карстовые формы в долинах р. Неман, Сож и Западная Двина. В. В. Дрозд (1964 г.) предположил, что наряду с относительно широким развитием древнего подземного карста под покровом четвертичных отложений происходят и медленные современные процессы карстообразования.

На рис. 3.10 представлена схема распространения карста на территории Беларуси.

*Район 1.* Карст в верхнемеловых породах. Район расположен в восточной и юго-восточной частях Республики Беларусь (Жлобинская седловина, западный склон Воронежской антеклизы, юг Оршанской и Подляско-Брестской впадин, крайний юг Полесской седловины). В административном отношении район 1 принадлежит к Могилевской, северо-восточной части Гомельской и крайнему югу Брестской областей.

*Район 2.* Карст в верхнемеловых отторженцах. Район расположен в западной и центральной частях Республики Беларусь (Белорусская антеклиза, северо-западная часть Припятского прогиба). В административном отношении принадлежит к Гродненской, северной части Брестской и западной части Минской областей.



На рис. 3.12 показаны породы, кровля которых находится на глубине, не превышающей 50 м.

Дальнейшее изучение карстовых проявлений имеет большое инженерно-геологическое значение, так как в условиях карстовых явлений увеличивается стоимость строительства мостовых переходов ввиду наличия в карстовых воронках отложений, имеющих низкую несущую способность.

На схеме проявления карста выделены те районы, которые могут иметь значение для практических строительных и горнодобывающих работ и при инженерно-геологической съемке.

### *Суффозионные процессы*

В районах со значительной амплитудой относительных высот дождевые и талые воды производят эродирующую работу не только на поверхности, но и под почвенно-растительным слоем в толще рыхлых песчано-глинистых отложений. В пределах Новогрудской возвышенности и Оршанско-Могилевско-Мстиславской платообразной равнины эти процессы развиты наиболее активно. Вследствие выноса рыхлых продуктов осадочных пород инфильтрационными водами на поверхности нередко появляются линейно вытянутые желобообразные узкие ложбины длиной в несколько метров при ширине от 0,2 до 0,8 м. По мере роста подземных пустот и туннелей происходит провисание дернины и затем появление трещин округлой или овальной формы. С размывом связности дернины и аллювиально-гумусового горизонта скрытые эрозионные формы переходят в открытые рытвины с вертикальными стенками. Сила сцепления грунта и почвенного слоя в этих условиях не в состоянии преодолеть давление нависшей массы грунта (силу тяжести), что и приводит к деформации или разрыву породы. В окрестностях д. Машевичи, Рутковичи, Тупалы (Новогрудская возвышенность) появляются подземные отвершки с зияющими на поверхности окнами, окаймленными по краям свисающими гирляндами травяного покрова. Мощность нависшей породы с дерном составляет 0,5–0,6 м. Суффозионные процессы, протекающие под этими желобами, формируют скрытые отвершки, которые после просадки кровли сливаются своими устьями с развивающимся оврагом.

Проявление суффозионных процессов на территории Беларуси представляет большую опасность как с точки зрения негативного влияния на инженерные сооружения, так и при выполнении сельскохозяйственных работ, эксплуатации шоссейных дорог, трубопроводов и др. Так, на участке шоссейной дороги Орша – Смоленск при прокладке газопровода произошел суффозионный вынос массы пылеватого песка из-под полотна шоссейной дороги. В результате при движении большегрузного автомобиля случился провал полотна, который привел к гибели пассажира, сопровождавшего груз, и тяжелым увечьям водителя.

При производстве сельскохозяйственных работ в пределах Новгородской возвышенности и в других районах образованные пустоты и воронки в лессовых супесях и суглинках представляют серьезную угрозу провала тракторов, комбайнов и другой техники.

### ***Ветровая эрозия***

На карте эрозии почв Беларуси южная ее часть относится к эрозионно-опасным районам, в которых активное развитие получила ветровая эрозия.

Данный тип эрозии обусловлен воздействием ветрового потока на поверхность, не покрытую растительностью (обнаженные склоны в пределах речных долин и т. д.). Наиболее широко процессы ветровой эрозии развиты в пределах Белорусского Полесья, на первой надпойменной (боровой) и второй террасах р. Днепр и Припять. Первая надпойменная терраса характеризуется наличием многочисленных валов, которые повсеместно перевеяны с поверхности. При обследовании хорошо различимы впадины выдувания и всхолмления надувания, ориентированные в западном и северо-западном направлениях. Процессы перевевания песков наблюдаются и в настоящее время, что подтверждается наличием ряби, погребенных гумусовых прослоев и строением самих всхолмлений; ветер привел к образованию дюн, бугров, гряд, котловин выдувания и других форм эолового ландшафта.

При проявлении ветровой эрозии на территории Беларуси отмечается определенная зональность. На юге свыше 40 % эродированных земель, к северу этот процент резко уменьшается.

## *Болотообразование*

Болотообразование как геологический процесс рассмотрен во многих работах. Происхождению и развитию белорусских болот посвящали свои исследования В. В. Докучаев (1949 г.), С. Н. Тюремнов (1931 г., 1949 г.), А. П. Пидопличко (1961 г.), В. А. Ковалев (1976 г.) и др.

Болотная стадия начинается с заселения континентов растительными организмами, прежде всего псилофитами, появление которых отмечено еще в силуре. Торфообразование является многоэтапным процессом, включающим накопление органического вещества растениями, оторфованье (превращение отмершего растительного вещества в торф) и созревание торфа в результате замедленных реакций брожения в условиях полного анаэробноза на глубине ниже уровня грунтовых вод.

Территория Республики Беларусь является одним из наиболее заторфованных районов европейской части. В стране заторфовано 12,4 % территории (более 2,5 млн га), содержащей свыше 29,3 млрд м<sup>3</sup> торфосырца. Особенность размещения болот в стране заключается в их рассредоточенности по всей территории. Они встречаются в каждом районе, но различаются по ботаническому составу.

Интенсивное образование торфяных месторождений происходило в позднем голоцене, в результате чего они разрастались до современных размеров, занимая нередко до 10 тыс. га и более.

### **3.5. Основные гидрогеологические закономерности**

На территории Беларуси на основе структурно-тектонического различия строения платформы выделяются водоносные системы-бассейны: Оршанский, Прибалтийский, Брестский и Припятский (рис 3.11). Основные водоносные комплексы заключены в толще осадочного чехла.

Согласно проведенной типизации зональности подземных вод выделяются три зоны, отличающиеся друг от друга степенью закрытости водоносных горизонтов:

- верхняя зона активного водообмена – пресные и солоноватые гидрокарбонатные воды;
- средняя зона замедленного водообмена – соленые воды и рассолы хлоридно-натриевые и хлоридно-кальциевые;

– нижняя зона весьма замедленного водообмена с участками застойного режима – термальные рассолы, хлоридно-кальциевые.

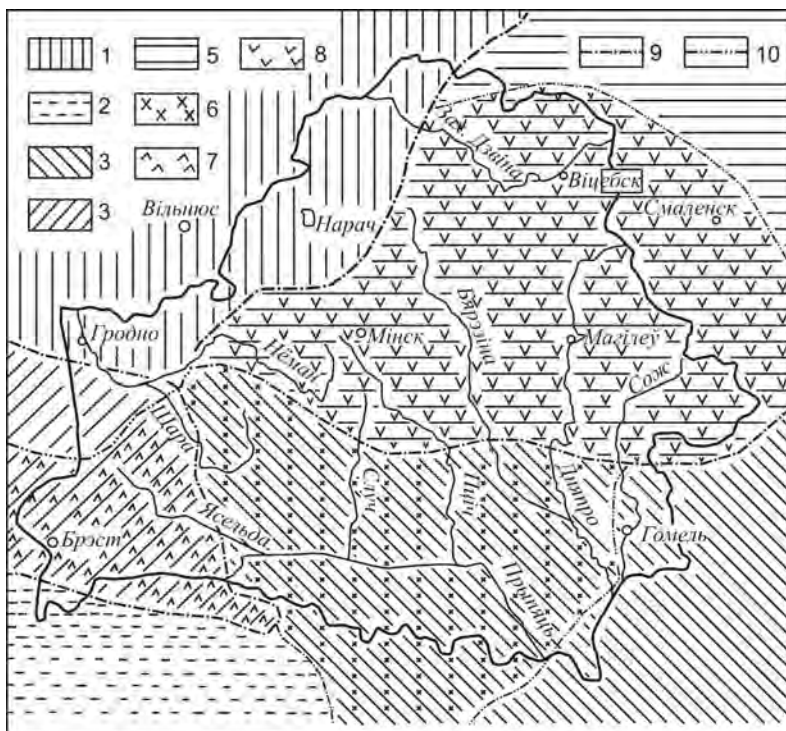


Рис. 3.11. Артезианские бассейны (а. б.) на территории Беларуси: первого уровня: 1 – Прибалтийский; 2 – Волыньско-Подольский; 3 – Днепроовско-Донецкий; 4 – Мазовецко-Люблинский; 5 – Московский; второго порядка: 6 – Припятский; 7 – Подляско-Брестский; 8 – Оршанский; границы а. б.: 9 – первого порядка; 10 – второго порядка

Грунтовые воды и водоносные горизонты современных и четвертичных отложений, которые представляют верхнюю часть зоны активного водообмена, имеют гидрокарбонатный тип и повсеместное территориальное распространение. Водовмещающими породами служат песчаные, песчано-гравийные, валунно-гравийные отложения ледниковых, водно-ледниковых, озерно-аллювиальных отложений, а также торфяно-илистые отложения болотных образований. Мощность указанных водовмещающих пород варьируется в широких пределах,

достигая на отдельных участках 60–70 м и более. Глубины залегания уровней грунтовых вод в районах их повсеместного площадного распространения (поймы и надпойменные террасы рек, аллювиальные равнины) колеблются от 0 до 3 м, составляя в среднем для первых 0,5–1,0 м. На водораздельных пространствах и склонах долин мощность зоны аэрации значительно возрастает (до 5–10 м и более). На части территории Республики Беларусь, за исключением южных и юго-восточных районов, в пределах развития моренных возвышенностей и гряд широкое распространение имеют воды спорадического залегания без выдержанных границ по глубине, мощности и площади залегания. Внутриморенные водоносные отложения имеют преимущественно безнапорный или слабонапорный характер. Первым от поверхности водоупором, отличающимся значительной невыдержанностью границ как в разрезе, так и до площади распространения, являются суглинистые моренные отложения: в северных районах – валдайского (поозерского) оледенения, в средних – московского (сожского), в южных – днепровского. Количество водоносных горизонтов, заключенных в разрезе четвертичной толщи, определяется числом стратиграфических подразделений водовмещающих и водоупорных (в основном моренных) пластов и составляет в среднем: 3–4 – для поозерского оледенения, 2–3 – зоны сожского, 1–2 – зоны днепровского оледенений. Наличие многочисленных гидрогеологических окон в водоупорных отложениях в сочетании с их относительно высокой водопроницаемостью и незначительной мощностью обуславливает тесную гидравлическую взаимосвязь водоносных горизонтов всей четвертичной толщи и близость их гидродинамического, урванного и химического режима.

Дочетвертичные водоносные горизонты, заключенные в песчаных отложениях, палеоген-неогена, песчаных и карбонатных отложениях мела, юры, триаса и девона, составляющие нижнюю часть зоны активного водообмена, характеризуются значительно большим постоянством литологического состава, выдержанностью границ распространения. Разделяющие указанные водоносные горизонты водоупорные отложения имеют повсеместно моноклиальное, а зачастую и горизонтальное залегание.

Грунтовые воды, распространенные на территории страны, являются преимущественно пресными, гидрокарбонатно-кальциевого типа с минерализацией до 0,6–0,8 г/л, за исключением участков, где

имеет место разгрузка глубоких подземных вод. Такие участки приурочены к долинам р. Западная Двина (район Полоцка), Улла (район г. Чашники), Птичь (район д. Поблин и Березовка), Припять (район г. Наровля и др.).

Здесь воды представлены сульфатно-гидрокарбонатным и хлоридно-гидрокарбонатным типом с минерализацией от 1 до 10–20 г/л и более.

В целом отмечается приуроченность грунтовых вод к области избыточного увлажнения, что определяет характерный для Республики Беларусь гидрокарбонатно-кальциевый тип вод с минерализацией от 0,1 до 1 г/л и сезонные и годовые колебания уровня и химического состава пресных водоносных горизонтов.

В пределах Республики Беларусь выделяют пять геолого-гидрохимических зон, которые характеризуются определенными закономерностями распространения грунтовых вод с выраженными показателями агрессивности по отношению к бетонным конструкциям (см. рис. 3.12).

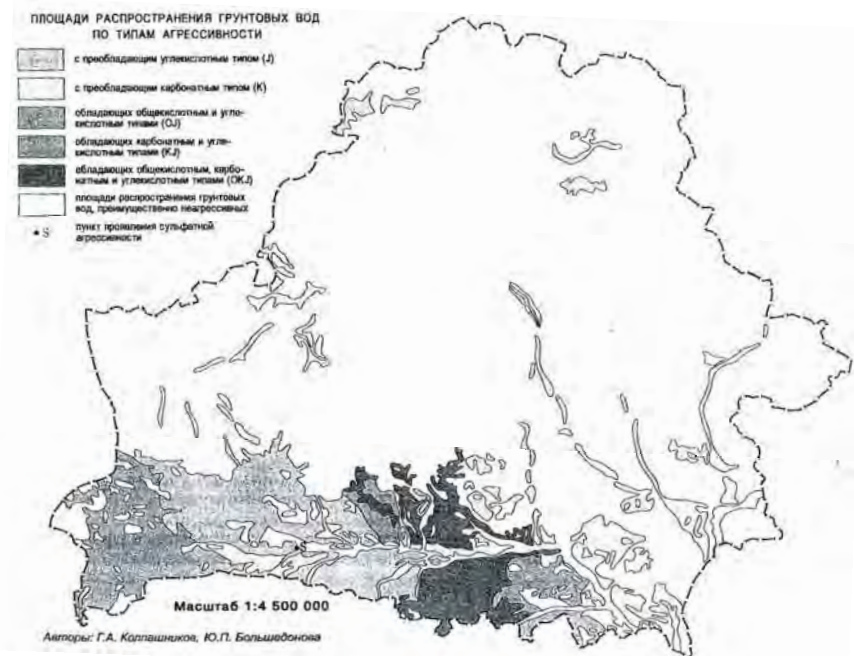


Рис. 3.12. Карта-схема агрессивности грунтовых вод Беларуси



В настоящее время в стране эксплуатируется более 60 месторождений минеральных вод.

Химический состав минеральных вод разнообразен: хлоридные натриевые воды – 39 месторождений; сульфатно-хлоридные натриевые – 12; хлоридно-сульфатные натриевые – 5; сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые – 4; сульфатно-хлоридные магниево-кальциевые и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые – по 2, сульфатно-хлоридные кальциево-магниевые – 1.

Минеральные воды используются в лечебных целях в лечебно-санитарных и профилактических учреждениях (санаториях, санаториях-профилакториях, домах и базах отдыха, детских санаторных лагерях, водно-спортивных комбинатах, поликлиниках, бальнеолечебницах). Кроме этого, организован бутылочный разлив (около 60 заводов и цехов разлива) лечебно-столовых минеральных вод.

### **3.6. Инженерно-геологическое районирование**

Проблема инженерно-геологического районирования крупных территорий остается в центре внимания исследователей. Ей посвящены работы И. В. Попова, Е. М. Сергеева, В. Т. Трофимова, Г. А. Голодковской и др.

Основные положения общего инженерно-геологического районирования территории бывшего СССР были сформулированы И. В. Поповым (1961 г.). Созданная им схема инженерно-геологического районирования предусматривает принципы тектонического районирования крупных территорий. Рассматривая инженерно-геологическое районирование как один из важнейших методов систематизации данных об инженерно-геологических условиях, В. Т. Трофимов (1979 г.) предложил два пути решения проблемы по разработке принципов районирования крупных территорий для учета важнейших черт пространственной изменчивости инженерно-геологических условий, обусловленных совместным воздействием региональных геологических и зонально-климатических факторов. Первый из них основан на использовании системы последовательного районирования, предложенного И. В. Поповым. Второй предусматривает учет важнейших закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий на основе последовательного анализа изменчивости региональных геологических и зонально-климатических факторов.

На рис. 3.13 представлена схема инженерно-геологического районирования Республики Беларусь, составленная на основе комплексного учета всех важнейших факторов, обусловивших формирование ее современных инженерно-геологических условий: тектонического строения (по образованиям структур осадочного чехла) и геолого-геоморфологических признаков, учитывающих особенности накопления и распространения пород ледниковой формации. Такое районирование является общим и комплексным. Оно учитывает как регионально-геологические (структуры), так и зонально-климатические факторы (области распространения покровных оледенений, климатические особенности территории и др.).

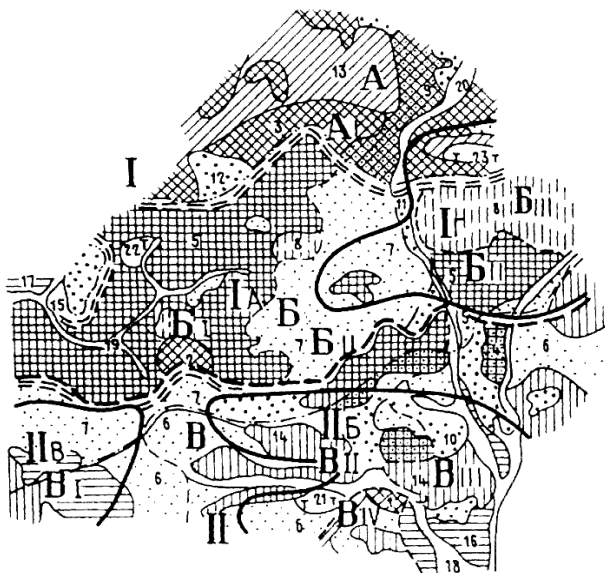


Рис 3.13. Схема инженерно-геологического районирования Беларуси.

Регионы Восточно-Европейской платформы:

регионы 1-го порядка: I – Белорусско-Латвийский; II – Припятско-Днепровский; подрегионы (регионы 2-го порядка): IA – Белорусская антеклиза и сопредельные с ней структуры низших порядков; IB – Припятская впадина; IC – Подляско-Брестская впадина (восточная часть); ID – Оршанская впадина; инженерно-геологические области: А – Белорусское Поозерье; Б – Центральная (Белорусская гряда с прилегающими Центрально-Белорусской равниной и Восточно-Белорусским плато); В – Белорусское Полесье (северная часть Полесской низменности); инженерно-геологические подобласти: AI – Белорусское Поозерье (в границах области); BI – Белорусская гряда; BI – Центрально-Березинская равнина; BI – Брестское Полесье; BII – Припятское Полесье; BIII – Гомельское Полесье; BIV – Мозырское Полесье

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в пособии материал позволяет в полном объеме изучить курс инженерной геологии. В нем содержатся все сведения, которые могут быть использованы как в учебном процессе, так и при проектировании объектов гражданского, дорожного, линейного, мелиоративного и других видов строительства. Особенности и основные факторы формирования инженерно-геологических условий, а также выявленные закономерности их изменения служат обоснованием основных принципов инженерной геологии:

- необходимость комплексного учета (в том числе ретроспективного) всех важнейших факторов, обусловивших формирование современных инженерно-геологических условий (тектоники, геологического строения, климата и т. п.);

- оценка роли протекающих процессов как на земной поверхности, так и в недрах Земли в становлении региональных и зональных закономерностей формирования этих условий;

- значимость многократных оледенений платформы и понимание их роли в строительстве.

Одновременно с усвоением теоретического материала разделы пособия и таблица инженерно-геологических показателей к картам инженерно-геологического районирования Республики Беларусь могут быть применены для самостоятельной работы студентов по темам, которые может предложить теоретический курс.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпашников, Г. А. Инженерная геология : учебное пособие для строительных специальностей / Г. А. Колпашников. – Минск: БНТ УП «Технопринт», 2004. – 132 с.
2. Колпашников, Г. А. Техногенез и геологическая среда / Г. А. Колпашников. – Минск: БНТУ, 2006. – 182 с.
3. Богомолов, Г. В. Гидрогеология с основами инженерной геологии / Г. А. Богомолов. – Москва: Высшая школа, 1975. – 315 с.
4. Бусел, И. А. Прогнозирование строительных свойств грунтов / И. А. Бусел. – Москва: Наука и техника, 1989. – 246 с.
5. Геология Беларуси. – Минск: [б. и.], 2001. – 715 с.
6. Знангиров, Р. С. Инженерная геология в строительстве / Р. С. Знангиров, В. С. Быкова, М. П. Полтев. – Москва: Стройиздат, 1986. – 176 с.
7. Саваренский, Н. П. Инженерная геология : в 8 т. / Н. П. Саваренский. – Москва: МГУ, 1978. – Т. 1 : Русская платформа. – 527 с.
8. Колпашников, Г. А. Инженерно-геологическое районирование : Энциклопедия природы Белоруссии / Г. А. Колпашников. – Минск: [б. и.], 1982. – Т. 2. – С. 408–409.
9. Колпашников, Г. А. Инженерно-геологические карты : Энциклопедия природы Белоруссии / Г. А. Колпашников. – Минск: [б. и.], 1982. – Т. 2. – 409 с.
10. Колпашников, Г. А. Экзогенные геологические процессы : Энциклопедия природы Белоруссии / Г. А. Колпашников. – Минск: [б. и.], 1985. – 398 с.
11. Колпашников, Г. А. Пространственно-временные закономерности формирования инженерно-геологических условий Беларуси и их изменений под влиянием техногенных воздействий : автореф. дис. докт. геол.-минерал. наук. Г. А. Колпашников. – Минск: [б. и.], 1993. – 46 с.
12. Колпашников, Г. А. Инженерно-геологические условия Беларуси / Г. А. Колпашников // Бюллетень Белорусской горной академии. – Минск: [б. и.], 2000. – № 1 (4). – С. 40–44.
13. Маслов, Н. Н. Инженерная геология / Н. Н. Маслов. – Москва: Госстройиздат, 1957. – 403 с.
14. Пешковский, Л. М. Инженерная геология / Л. М. Пешковский, Г. М. Переекова. – Москва: Высшая школа, 1982.

15. Попов, И. В. Полезные ископаемые Беларуси / И. В. Попов. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 513 с.
16. Попов, И. В. Инженерная геология / И. В. Попов. – Москва: МГУ, 1959. – 510 с.
17. Сергеев, Е. М. Инженерная геология / Е. М. Сергеев. – Москва: МГУ, 1978. – 381 с.
18. Тектоника Белоруссии. – Минск: Навука і тэхніка, 1976. – 198 с.
19. Трофимов, В. Т. О содержании ряда фундаментальных понятий региональной инженерной геологии / В. Т. Трофимов // Инженерная геология / В. Т. Трофимов. – 1986. – № 5. – С. 10–21.
20. Трофимов, В. Т. Экологическая геология / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг. – Москва: [б. и.], 2002. – 410 с.
21. Цапенко, М. М. Антропогенные отложения Белоруссии / М. М. Цапенко, Н. А. Махнач. – Минск: Навука і тэхніка, 1959. – 223 с.
22. Шкляр, А. Х. Климат / А. Х. Шкляр // Проблемы Полесья. – 1972. – Вып. 1. – С. 109–135.
23. Эволюция инженерно-геологических условий Земли в эпоху техногенеза. – Москва: МГУ, 1997. – 166 с.
24. Зуй, В. И. Методы инженерно-геологических и гидрологических исследований: учебно-методическое пособие / В. И. Зуй. – Минск: БГУ, 2014. – 263 с.
25. Геологический словарь. – Москва: Недра, 1973. – Т. 1. – 67 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ – НАУКА О ЗЕМЛЕ .....	4
1.1. Связь инженерной геологии с другими науками .....	4
1.2. Строение и состав Земли .....	5
1.3. Радиоактивность Земли .....	8
1.4. Горные породы и минералы .....	11
1.5. Тектонические явления и процессы .....	18
1.6. Вулканическая деятельность .....	20
1.7. Активные разломы земной коры .....	21
1.8. Землетрясения .....	21
1.9. Денудация, ее проявление и значение в преобразовании земной коры .....	23
1.10. Основы общей гидрогеологии и динамики подземных вод .....	31
2. УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ .....	41
2.1. Магматические породы .....	41
2.2. Метаморфические горные породы .....	43
2.3. Осадочные сцементированные сильнолитифицированные горные породы .....	45
2.4. Химические и биохимические (органогенные) породы .....	48
2.5. Осадочные сцементированные слаболитифицированные породы .....	49
2.6. Несвязные породы .....	49
2.7. Связные породы .....	51
2.8. Почвы и торфы .....	53
2.9. Искусственные породы как грунты оснований .....	56
3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕЛОРУССКОГО РЕГИОНА И ЕГО РАЙОНИРОВАНИЕ .....	57
3.1. Древние этапы развития и закономерности строения платформенного чехла .....	57
3.2. Новый этап в развитии региона и основные закономерности строения антропогенного покрова .....	62
3.3. Пространственные закономерности .....	69
3.4. Типы и закономерности развития природных геологических процессов .....	72
3.5. Основные гидрогеологические закономерности .....	84
3.6. Инженерно-геологическое районирование .....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	91

Учебное издание

**КОЛПАШНИКОВ** Геннадий Александрович

## **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

Пособие для студентов специальностей

- 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,
- 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»,
- 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»,
- 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»,
- 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»,
- 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные  
машины и оборудование»

Редактор *А. Е. Дарвина*

Компьютерная верстка *С. А. Маслера*

Подписано в печать 10.10.2017. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 4,27. Тираж 200. Заказ 446.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.