

где  $\mu$  — величина общей пористости песка, выраженная в долях единицы.

В суглинках, супесях и лёссовых породах действительная скорость потока будет зависеть не от общей пористости, а от водопроницающей, куда входит главным образом межчастичная пористость.

$$V = \frac{Q}{F\mu_{мч}},$$

где  $\mu_{мч}$  — величина межчастичной пористости в долях единицы, определяемая по разности  $\mu - \mu_{от}$ , где  $\mu$  — общая пористость породы;  $\mu_{от}$  — пористость за счет объемной гигроскопичности.

В подавляющем числе случаев в горных породах движение воды происходит по закону Дарси, поэтому все основные гидрогеологические расчеты истечения подземных вод строятся на приведенных зависимостях.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ

### Общие сведения

Коэффициент фильтрации ( $K$ ) — важнейшая водно-физическая характеристика породы, его величина тесно зависит от гранулометрического состава и структуры пород. Для некоторых рыхлых пород его величина колеблется в следующих пределах:

*Коэффициент фильтрации  $K$ , см/сек*

Гравий и галька . . . . .	$1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10$
Песок крупнозернистый . . .	$1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-1}$
Песок мелкозернистый . . .	$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$
Суглинок . . . . .	$1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-4}$
Глина . . . . .	$1 \cdot 10^{-7}$

Предложено много различных методов для определения значений коэффициента фильтрации. Их можно разбить на три группы: а) расчетные приемы; б) определение  $K$  в лабораторных условиях; в) полевые методы.

### Расчетные методы

Целым рядом ученых экспериментально установлена зависимость между водопроницаемостью и

структурными особенностями пород (гранулометрическим составом и пористостью).

В зависимости от подхода к вопросу были предложены различные эмпирические формулы, позволяющие вычислять величину коэффициента фильтрации по данным либо одного гранулометрического анализа, либо с дополнительным учетом значений общей пористости породы. Наиболее часто при практических расчетах применяется формула А. Газена:

$$K = c d_{10}^2 (0,7 + 0,03 t) \text{ м/сут},$$

где  $K$  — коэффициент фильтрации песков в м/сут;  $d_{10}$  — эффективный или действующий диаметр (метод его определения изложен на стр. 304);  $t$  — температура;  $0,7 + 0,03$  — температурная поправка;  $c$  — эмпирический коэффициент, определяемый по формуле О. К. Ланге:  $c = 400 + 40 (n - 26)$ , где  $n$  — пористость в %.

При температуре  $t = 10^\circ \text{C}$  формула значительно упрощается, приобретая вид

$$K_{t=10^\circ} = c d_{10}^2.$$

Эта формула дает возможность приближенно определять коэффициент фильтрации песков, имеющих коэффициент однородности  $K_n$  меньше 5 и величину  $d_{10}$  в пределах от 0,1 до 3,0 мм.

### Лабораторные методы

Предложено значительное количество методов лабораторного определения коэффициента фильтрации. Все они могут быть разделены на две группы:

1. Методы определения  $K$  в свободных образцах (необжимаемых в момент определения давления). Сюда входят методы, наиболее распространенные в лабораторной практике.

2. Методы определения  $K$  в образцах, находящихся под определенными давлениями. Они применяются для определения фильтрационной способности в основании сооружений, где породы всегда находятся под суммарным воздействием собственного веса и давлений сооружения.

Лабораторные методы по сравнению с расчетными дают возможность получить данные о фильтрующей спо-

способности пород, чаще представляющих их диспергированным. Они в свою очередь значительно уступают другим металлам, позволяющим получать наиболее достоверные величины коэффициента фильтрации. В лабораторных фильтрующих способностей пород определяется как в образцах с нарушенной структурой (пески), так и с ненарушенной структурой (глины).

Методы определения коэффициента фильтрации без обжатия образцов строятся на использовании закона Дарси, по которому его значения определяется формулой  $K = \frac{Ql}{Fh}$ . Все числительные выражения легко определяются, кроме величины напора  $H$ , которая в процессе опыта может изменяться. В связи с этим существующие приборы можно разделить на две группы. К первой группе относятся такие, в которых в течение опыта сохраняется постоянный напор, ко второй группе относятся приборы, в которых величина напора переменная.

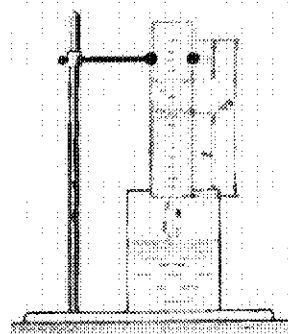


Рис. 147. Трубка Каменского.

Рассмотрим один из простейших приборов, широко распространенных в лабораторной практике, — трубку Г. Н. Каменского, позволяющую определить коэффициент фильтрации песков.

Трубка Каменского представляет собой стеклянный цилиндр длиной 25 см и диаметром 2—4 см. Трубку за-

полняют на высоту 10 см песком, насыпавшим слоем от 2—3 см, укладываемым с легким трамбованием. Над песком наливают воду до уровня выше нули шкалы на 1—2 см (рис. 147). В процессе опыта устанавливают время прохождения уровня воды от деления 0 до деления 5. Одновременно измеряют температуру воды. Коэффициент фильтрации на основании коротких опытов Г. Н. Каменского определяют по формуле:

$$K = \frac{l}{t} f\left(\frac{s}{K_0}\right),$$

где  $K$  — коэффициент фильтрации в см/сек;

$l$  — длина пути фильтрации в см;

$f\left(\frac{s}{K_0}\right)$  — условное обозначение выражения  $\ln\left(1 - \frac{s}{K_0}\right)$ , оно определяется по величине значения  $s$  (положение уровня в трубке в см за время  $t$ ) и  $K_0$  (положение начального уровня воды в трубке).

Зная отношение  $\frac{s}{K_0}$ , можно легко найти значение

$f\left(\frac{s}{K_0}\right)$  по таблицам или специально составленным программам.

Для определения коэффициента фильтрации сузливков применяют прибор Каменского для монолитов, позволяющий исследовать водопропускную способность образцов с ненарушенной структурой.

Помимо рассмотренных приборов, существует большое количество других, различных устройства и методика применения которых рассматриваются в специальных курсах.

### Полевые методы

Эти методы позволяют получить сведения о водопропускности пород в условиях естественного сложения. Полевые методы в отличие от ранее рассмотренных дают возможность учесть тектонические особенности пород, влияние на водопропускность толщи слоев различного гранулометрического состава. Главные разновидности полевых определения коэффициента фильтрации — методы налива и шурфы и методы откачки.

Методы определения коэффициента фильтрации наливом в шурфы применяют для определения фильтрующей способности грунтов выше уровня грунтовых вод.

Наиболее простой разновидностью налива воды в шурфы — способ А. К. Болдырева. Для проведения испытания этим способом предварительно роют шурф на глубину залегания слоев, водопропускность которых требуется исследовать. В шурфе создается уровень воды высотой 10 см. Вода подается до тех пор, пока не установится постоянный расход, обеспечивающий сохранение указанного уровня воды в шурфе (рис. 148).

Коэффициент фильтрации определяется из формулы Дарси

$$V = K \cdot I$$

$$K = \frac{V}{I}$$

А. К. Болдырев считал, что при высоте столба воды в шурфе, равном 10 см, гидравлический градиент можно приближенно принять равным единице.

Тогда  $K = V$ , а  $V = \frac{Q}{F}$ .

Недостатки этого способа — недоучет растекания воды из шурфа в стороны и отсутствие учета действия капиллярных сил, за счет которых происходит доводнительное всасывание воды.

Некоторым усовершенствованием методики определения коэффициента фильтрации наливом является способ Н. С. Нестерова, при котором из дна шурфа устанавливаются два стальных цилиндра, вставленных друг в друга (рис. 149). Налив производится одновременно в оба кольца. Предполагается, что вода из внутреннего кольца идет только на инфильтрацию в вертикальном направлении,

Рис. 148. Схема налива воды в шурфы по методу А. К. Болдырева.

а из бокового кольца она выходит также на боковое растекание и капиллярное всасывание.

Коэффициент фильтрации по Н. С. Нестерову определяют по формуле

$$K = \frac{Q_1}{F(H_1 + e + h)}$$

где  $Q_1$  — установившийся расход воды при наливе во внутреннее кольцо,

- $z$  — глубина проникновения воды, устанавливаемая путем бурения;  
 $F$  — площадь сечения внутреннего кольца;  
 $H_k$  — капиллярное давление;  
 $h$  — толщина слоя воды во внутреннем кольце.

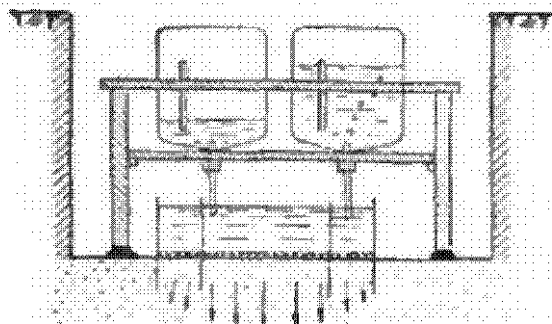


Рис. 149. Схема отбора воды из шурфа  
по Н. С. Нестерову.

**Метод откачки** — главный способ определения коэффициента фильтрации в водонасыщенных, однородных и неоднородных пластах. Он основан на том, что при от-

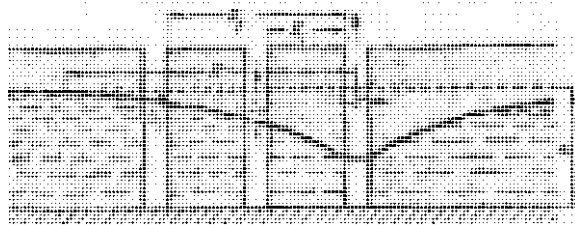


Рис. 150. Депрессионная воронка при откачке  
воды из скважины.

качке воды из скважины или шурфа на прилегающем участке возникает понижение уровня грунтовой воды, имеющее характер депрессионной воронки (рис. 150).

Теоретически и экспериментально установлено, что количество воды, которое откачивается из скважины диаметром  $r$  при определенном понижении уровня ( $s$ ), зависит от величины коэффициента фильтрации пород и расстояния, на которое распространяется депрессионная поверхность подземной воды ( $R$ ). Значения коэффициента фильтрации, получаемые при откачке, являются средними для исследуемой толщи.

Откачка может осуществляться как из одной скважины или шурфа (так называемая одиночная откачка), так и из группы скважин или шурфов (кустовая откачка). В последнем случае одна из скважин (опытная) используется для откачки, а остальные служат наблюдательными, помогающими установить характер изменений уровня воды на прилегающем участке. Расстояние между опытной и наблюдательными скважинами выбирается (в зависимости от гранулометрического состава пород) от 15 до 100 м. Опытная скважина оборудуется фильтром, который предохраняет частицы пород от выноса их из исследуемой толщи гидродинамическим давлением, возникающим при откачке. Фильтры представляют собой трубы, снабженные отверстиями и покрытые с поверхности медными сетками с различными размерами ячеек, выбираемыми в зависимости от крупности зерен, слагающих породы.

Откачка ведется не менее чем при трех заданных величинах понижения уровня. При каждом понижении длительность откачки должна быть такой, чтобы обеспечить при постоянном количестве откачиваемой воды (или, как говорят, дебита скважины) сохранение определенного уровня воды в опытной и наблюдательных скважинах. При правильно проведенной откачке величины коэффициентов фильтрации, соответствующих каждому этапу понижения, должны быть достаточно близкими.

Коэффициент фильтрации при откачке из горизонта безнапорных вод из одиночной скважины (шурфа), дно которой доведено до водоупора, рассчитывают по формуле:

$$K = \frac{0,73Q (\lg R - \lg r_0)}{(2H - s_0) s_0}.$$

При наличии двух наблюдательных скважин

$$K = \frac{0,73Q (\lg r_2 - \lg r_1)}{(2H - s_1 - s_2) (s_1 - s_2)}.$$

В этих формулах буквенные выражения имеют следующие значения:

- $Q$  — дебит опытной скважины;
- $R$  — радиус влияния скважины;
- $r$  — радиус скважины;
- $s_0$  — понижение уровня в опытной скважине;
- $H$  — мощность безнапорного водоносного горизонта;
- $r_1$  — расстояние от опытной до первой наблюдательной скважины;
- $r_2$  — расстояние до второй наблюдательной скважины;
- $s_1$  — величина понижения уровня в первой наблюдательной скважине;
- $s_2$  — то же, во второй наблюдательной скважине.

При расчете по первой формуле возникает затруднение в определении радиуса влияния скважины ( $R$ ), который представляет собой расстояние от оси скважины до границы депрессионной воронки. Учитывая, что значение  $R$  стоит под знаком логарифма, можно без особой ошибки принимать примерную величину его, исходя из гранулометрического состава пород. Так, Г. В. Богомолов и А. И. Силин-Бекчурин дают приближенные значения  $R$  в песках при условии понижения уровня воды на 5—6 м: для пылеватых разностей — 65 м, для мелкозернистых — 75 м, для среднезернистых — 100 м, для крупнозернистых — 125 м.

Величина  $R$  может быть определена приближенно по формуле, предложенной С. В. Трояновским:

$$R = \frac{3Q}{2\pi K I},$$

где  $Q$  — дебит,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$H$  — мощность водоносного пласта, м;

$K$  — коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сут}$ ;

$I$  — уклон грунтового потока.

Учитывая трудность определения радиуса влияния, желательно исключить его из расчетного выражения, что достигается при расчетах, производимых по результатам кустовых откачек.

## МЕТОДЫ ПОЛЕВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ПОТОКА ГРУНТОВЫХ ВОД

### Способ трех скважин

Простейший пример определения направления потока грунтовых вод — способ трех скважин. Построение проводят на карте или плане, где нанесены какие-либо три скважины, расположенные по углам треугольника (рис. 151). Берут абсолютные отметки уровня грун-

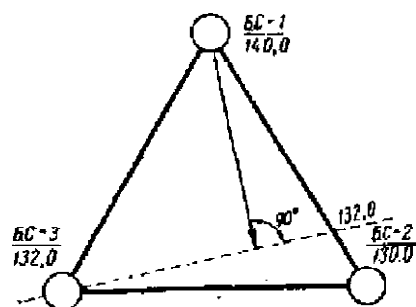


Рис. 151. Определение направления потока по трем скважинам

товых вод в каждой скважине. В качестве примера на рис. 151 взяты отметки 130, 132 и 140. Дальнейший порядок определения следующий:

1. Скважины с наибольшей и наименьшей отметками уровня грунтовой воды (соответственно 130 и 140) соединяют прямой линией.

2. На этой линии путем линейной интерполяции находят точку, на которой отметка грунтовой воды равна 132.

3. Найденную точку соединяют прямой линией со скважиной, имеющей отметку 132.

4. Направление движения потока грунтовой воды на участке взятых скважин отвечает перпендикуляру, опущенному из скважины с наибольшей отметкой грунтовой воды на линию, соединяющую равные отметки (в нашем случае 132).

### Метод красящих веществ

Этот метод применяют для определения скорости потока грунтовой воды.

По направлению движения потока пробуривают две скважины либо два шурфа. В верхнюю выработку вводится какая-либо органическая краска (рис. 152). Для подземных вод, имеющих щелочную реакцию, применяют флюоресцеин, эозин и некоторые другие красители, а в кислых водах — метиленовую голубую, понсо-красную и ряд других. Органические красители обладают способностью даже при самых незначительных концентрациях ( $1:10^{-6}$  —  $1:4,10^{-6}$ ) давать хорошо видимую окраску растворов.

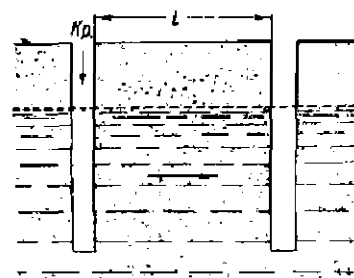


Рис. 152. Схема определения скорости движения грунтовых вод методом красящих веществ: кр — краситель

После введения красителя в грунтовой поток в нижней выработке через каждые 20—30 мин регулярно отбирают пробы, окраска которых исследуется. Момент появления соответствующей введенному красителю окраски в наблюдательной скважине фиксируется. Скорость потока определяют из выражения:

$$V = \frac{l}{t_2 - t_1},$$

где  $V$  — скорость потока грунтовой воды;

$l$  — расстояние между скважинами;

$t_1$  — момент введения красителя в верхнюю скважину (по направлению потока);

$t_2$  — момент появления окраски в нижней скважине.

### Электролитический метод

Этот метод применяют главным образом для определения скорости потока грунтовых вод.

Схема электролитического метода аналогична ранее рассмотренному методу красящих веществ. Так же про-



буривают две скважины, располагающиеся вдоль направления потока грунтовой воды. Между металлическими обсадными трубами, закрепляющими стенки обеих скважин, создается электрическая цепь, состоящая из

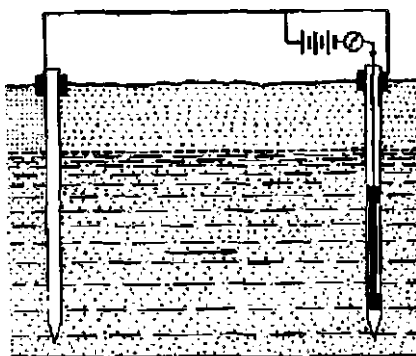


Рис. 153. Определение скорости движения грунтовых вод электролитическим методом

источника тока (батарей) и миллиамперметра (рис. 153). Опыт начинают с измерения силы тока при естественных условиях. Затем в верхнюю скважину (по отношению к потоку грунтовой воды) вводят какой-либо электролит, в качестве которого применяют растворы поваренной соли или хлористого аммония. По мере перемещения с грунтовым потоком электролита, направленного в сторону нижней скважины, электропроводность среды возрастает. Максимальные показания миллиамперметра совпадают с моментом достижения раствором нижней скважины.

Расчет скорости потока грунтовых вод такой же, как при методе красящих веществ:

$$V = \frac{l}{t_2 - t_1},$$

здесь  $t_1$  — момент введения в опытную скважину электролита;

$I_2$  — момент максимального показания миллиамперметра.

Электролитический метод нельзя применять при повышенной минерализации подземных вод.

### Метод эквипотенциальных линий

Этот метод требует проходки лишь одной скважины, из которой перед началом определения вынимают обсадные трубы. Из нее, как из центра, проводят 8—12 радиусов, расположенных под равными углами

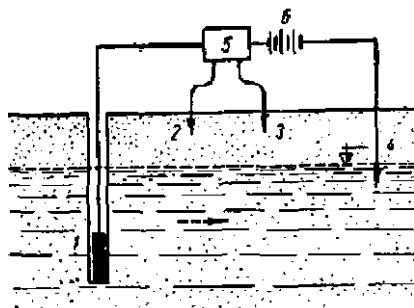


Рис. 154. Схема определения скорости и направления грунтового потока по методу эквипотенциальных линий:

1, 2, 3, 4 — электроды, 5 — потенциометр, 6 — источник тока

друг к другу. Затем создается электрическая цепь, состоящая из источника тока (Бас-80), электродов и потенциометра (обычно типа ЭП-1) (рис. 154). Один из электродов помещают в скважину, а второй забивают в грунт на расстоянии, равном 15—20-кратной глубине скважины. Один из измерительных электродов, идущих от потенциометра, помещают на любом из радиусов на расстоянии, удаленном от скважины примерно на одну ее глубину. Перемещая второй электрод, по каждому из радиусов находят точки, в которых гальванометр прибора покажет нуль. Таким образом, в этих точках будет иметь место равенство потенциалов обоих электродов. Соединив плавной кривой найденные на каждом радиусе

точки, получают замкнутую эквипотенциальную линию.

В условиях спокойного горизонтального напластования пород и простого гидрогеологического строения толща эта линия близка к окружности.

На втором этапе в скважину опускают в мешочке каменную соль, погружая ее ниже уровня воды. Количество соли в зависимости от скорости потока грунтовой

воды берется от 1 до 30 кг. Через определенный промежуток времени (0,5—1 ч) измерения повторяют. По новой системе точек строят вторую эквипотенциальную линию. Она будет деформирована в сторону направления потока грунтовых вод (рис. 155). Радиус-вектор  $r_2$  покажет направление потока. Скорость движения воды будет равна:

$$V = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1},$$

где  $r_1$  — радиус-вектор эквипотенциальной линии при первом измерении;

$r_2$  — радиус-вектор при втором измерении;

$t_1$  — время введения в скважину мешочка с солью;

$t_2$  — момент второго измерения.

Этот метод непригоден для минерализованных вод, для пород с коэффициентом фильтрации менее 0,5 м/сут, а также для территорий действующих предприятий, имеющих большое подземное хозяйство, искажающее электрическое поле.

#### РАСХОД ПОТОКА ГРУНТОВЫХ ВОД И РАСЧЕТЫ ПРИТОКОВ ВОДЫ К РАЗЛИЧНЫМ ВЫБОТКАМ

##### Расход плоского потока

Расходом потока называют количество воды, протекающее через поперечное сечение водоносного пласта в единицу времени.

Поток может быть плоским, при котором ширина отдельных участков потока по направлению движения грунтовых вод остается неизменной. На карте гидроизогипсы плоский поток образует систему прямых параллельных изолиний. Если гидроизогипсы образуют систему кривых линий, то направления потоков воды приобретают характер радиусов. Подобный поток грунтовых вод называется радиальным. Помимо этого, в однородном слое возможны два случая движения подземных вод: 1) равномерное, при котором скорость движения воды остается постоянной, 2) неравномерное, с переменной скоростью.

Расход плоского равномерного потока, при котором мощность потока  $h$  остается неизменной, может быть определен исходя из линейного закона фильтрации (рис. 156, А).

$$Q = khb \frac{H_1 - H_2}{L},$$

где  $b$  — ширина потока.

Расход плоского потока при неравномерном движении, характеризующемся изменением мощности в разных сечениях, в определенной степени будет зависеть от положения водоупора. Его величина при горизонтальном и наклонном водоупоре будет различной.

Расход потока при горизонтальном уклоне водоупора (рис. 156, Б). Расход на единицу ширины потока носит название единичного расхода. Его величина по закону Дарси равна:

$$q = khI,$$

где  $q$  — единичный расход;

$h$  — мощность потока;

$I$  — гидравлический уклон.

При неравномерном движении гидравлический уклон является переменным. Для каждого значения координаты  $x$  мы будем получать новые величины  $h$  (см. рис. 156, Б). Учитывая уменьшение последнего, напишем:

$$I = - \frac{dh}{dx}.$$

Подставим значение уклона в уравнение единичного расхода:

$$q = -kh \frac{dh}{dx}.$$

Разделив переменные, получим:

$$\frac{q}{h} dx = -k dh,$$

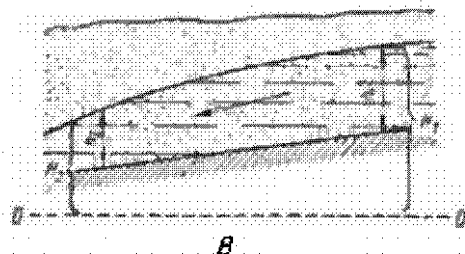
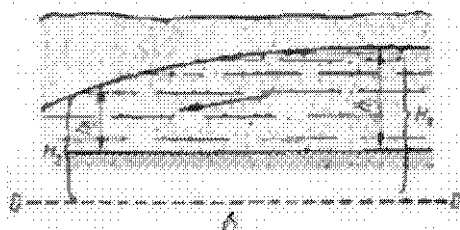
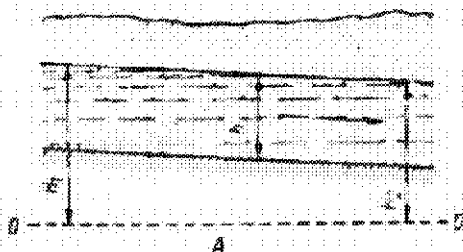


Рис. 15а. Типы потоков. А — плоский равномерный, Б — плоский неравномерный при горизонтальной водоупоре; В — плоский не равномерный при наклонной водоупоре

После интегрирования находим:

$$qx = -k \frac{h^2}{2} + C.$$

Для исключения неопределенного члена  $C$  берут две точки на депрессионной поверхности и составляют для них

них два уравнения. Вычитая одно уравнение из другого, получаем окончательное уравнение единичного расхода неравномерного плоского потока при горизонтальном водоупоре:

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}$$

Это уравнение носит название формулы Дюпюи (по имени автора). Расход всего потока будет соответственно равен:

$$Q = kb \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2l}$$

где  $b$  — ширина потока.

Приближенное значение расхода неравномерного плоского потока при наклонном водоупоре можно получить из закона Дарси, если принять, что между выбранными сечениями поток равномерный, в котором (рис. 156, В)

$$J_{\text{ср}} = \frac{H_1 - H_2}{l}, \quad h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

В этом случае единичный расход будет определяться формулой Г. Н. Каменского:

$$q = k \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l}$$

где  $q$  — единичный расход потока;

$k$  — коэффициент фильтрации;

$h_1$  и  $h_2$  — мощность грунтового потока в двух выбранных сечениях;

$H_1$  и  $H_2$  — абсолютные значения уровня в тех же сечениях;

$l$  — расстояние между сечениями.

Принимая ширину потока равной  $b$ , получим расход неравномерного плоского потока при наклонном водоупоре:

$$Q = kb \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l}$$

Обозначения в этой формуле те же, что и в предыдущем случае.

### Расчет притока воды к колодезю

Под грунтовым колодезем понимаются самые различные выработки: скважины разных диаметров, водозаборные колодези, разные вертикальные горные выработки и небольшие котлованы, имеющие как круглые, так и квадратные сечения. Различают два типа грунтовых колодезей: совершенный и несовершенный. В совершенном колодезе дно доведено до водоупорного слоя и

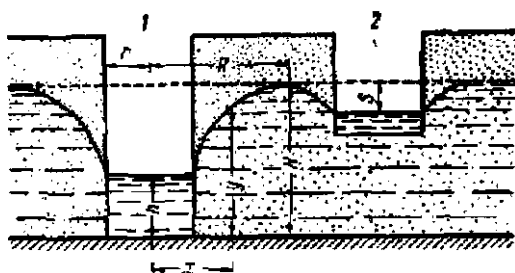


Рис. 157. Совершенный (1) и несовершенный (2) колодези

приток воды к нему происходит только со стороны стенок. В несовершенном колодезе дно не доведено до водоупора и приток воды идет не только из стенок, но и со стороны дна (рис. 157).

Принимая во внимание особенности поступления воды к совершенному и несовершенному колодезям, расчетные приемы определения притока воды для каждого из них должны быть различными.

**Приток воды к совершенному колодезю**, или его дебит, выражается в литрах в секунду, кубических метрах в час. Если из колодезя вода не откачивается, то ее уровень одинаков с уровнем прилегающих участков грунтового потока. При откачке воды из колодезя вокруг последнего возникает депрессионная воронка. Ее размеры определяются как фильтрующей способностью пород, так и количеством откачиваемой воды. Дебит несовершенного колодезя в практике чаще всего определяется по формуле, выведенной Дюпюи.

На схеме грунтового колодезя (рис. 157, 1) можно видеть, что на расстоянии  $x$  от его центра мощность слоя грунтовой воды будет равна  $y$ . По закону Дарси, скорость в этом случае будет равна:

$$V = kl = k \frac{dy}{dx}.$$

Соответственно количество воды, притекающей через цилиндрическую поверхность, определяемую радиусом  $x$  и высотой  $y$ :

$$Q = kFl = k \frac{dy}{dx} F.$$

Величина цилиндрической поверхности  $F$  равна  $2\pi xy$ . Отсюда

$$Q = 2\pi xy \frac{dy}{dx}.$$

Устанавливая пределы для  $x$  от  $r$  до  $R$ , а для  $y$  от  $h$  до  $H$  и интегрируя полученное дифференциальное уравнение, получаем окончательно:

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln r}.$$

Заменив логарифмы десятичные, получим:

$$Q = 1,366 \frac{k(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r}.$$

Расчет притока воды к несовершенному колодезю усложняется необходимостью учета поступления воды не только со стороны цилиндрической поверхности, но и со стороны дна.

В. Д. Бабушкин предложил для определения притока воды к несовершенному колодезю с незатопленным фильтром (при котором уровень воды располагается ниже верхнего края водоприемного устройства), обладающим небольшой длиной, следующую формулу:

$$Q = 1,366k(H - h) \left[ \frac{l + (H - h)}{\lg \frac{R}{r}} + \frac{l}{\lg \frac{0,66l}{r} - \frac{l}{2R}} \right].$$

где  $Q$  — приток воды в  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  
 $k$  — коэффициент фильтрации;  
 $(H-h)$  — разность уровней воды в колодце при откачке;  
 $l$  — расстояние от уровня воды при откачке до конца фильтра;  
 $R$  — радиус влияния;  
 $r$  — радиус колодца.

Для приближенного расчета притока воды к иелкому, несовершенному котловану, вскрывшему только самый верхний слой водоносного пласта, незначительный по сравнению с общей его мощностью, можно использовать формулу, выведенную Форхгеймером:

$$Q = 4kS \sqrt{\frac{ab}{\pi}},$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации;  
 $a$  и  $b$  — длина и ширина котлована;  
 $S$  — величина проектируемого понижения.

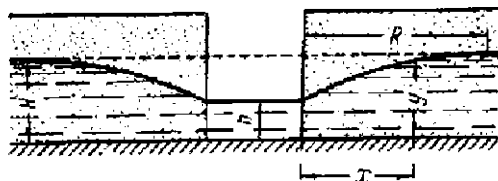


Рис. 158. Схема канавы

Для определения притока к колодцу в напорных водах можно пользоваться формулой:

$$Q = 2,73 \frac{kM(H-h)}{\lg R - \lg r},$$

где  $M$  — мощность напорного водоносного пласта.

### Расчет притока воды к траншее и канаве

Рассмотрим приток воды к канаве, доведенной до водопора (рис. 158). Скорость движения воды к ней в каком-то сечении, отстоящем на расстоянии  $x$  от стен-

ки, будет равна:

$$V = kl = k \frac{dy}{dx}.$$

Из закона Дарси известно, что приток воды с площади  $F = yl$  ( $l$  — длина канавы) будет равен

$$Q = VF = l y k \frac{dy}{dx}.$$

После интегрирования в пределах для  $y$  от  $h$  до  $H$ , а  $x$  от 0 до  $R$  получаем в случае одностороннего притока:

$$Q = lk \frac{H^2 - h^2}{2R}.$$

Если представить  $(H^2 - h^2) = (H + h)(H - h)$  и обозначить  $\frac{H-h}{R} = I_0$ , то двусторонний приток воды к канаве выражается как

$$Q = lk(H + h) I_0.$$

По И. В. Гармонову и А. В. Лебедеву, величина  $I_0$  зависит от характера гранулометрического состава грунтов и имеет следующие значения:

Пески . . . . .	0,006—0,020
Суглинки . . . . .	0,050—0,100
Глины . . . . .	0,100—0,150

### Определение притока воды к карьерам

При простых очертаниях карьеров в плане — круглых, квадратных и прямоугольных — расчет притока воды может производиться по формулам, выведенным для колодцев разного типа (Дюкюн, В. Д. Бабушкина и др.). Если очертания карьера или системы горных выработок сложны, то для приближенных расчетов рекомендуется использовать способ так называемого «большого колодца», предложенный С. В. Троянским. Он сводится к тому, что площадь карьера или системы выработок ( $F$ ) принимается равновеликой расчетной площади колодца. Тогда



последний будет иметь радиус

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

Приток воды рассчитывается по формуле Дюпюи. Для более точных расчетов притока воды в горные выработки применяются методы, предложенные Н. И. Гриневским, М. В. Сыроечковским и рядом других исследователей.

### МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАРЬЕРОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОТЛОВАНОВ

#### Общие представления

Перед началом строительства карьеров и земляными работами по вскрытию строительных котлованов проводятся гидрогеологические изыскания, в результате которых устанавливается расчетная величина водопритока в котлованы и степень устойчивости их откосов. Учитываются также влияние поверхностных водоемов (рек, озер и т. д.), расположенных вблизи карьера.

Борьба с грунтовыми водами может осуществляться тремя группами методов: а) открытым водоотливом; б) устройством поверхностного горизонтального дренажа; в) организацией вертикального дренажа. При благоприятных рельефных условиях может создаваться непосредственный самоотлив воды из карьеров в реки или балки. В ряде случаев приходится применять комплексный способ осушения, при котором борьба с водой осуществляется путем совместного применения двух или трех методов.

#### Открытый водоотлив

Представляет собой откачку воды насосами непосредственно из котлованов (рис. 159). Он осуществляется из специальных небольших приямков — зумпфов, глубина которых в процессе работ опережает отметку, на которой ведется выемка грунта.

Для улучшения поступления воды в зумпфы на дне котлована устраиваются горизонтальные каналки с укло-

ном в одну сторону. Фильтры насоса размещаются в зумпфенных котлованах для поддержания их устойчивости и для шумоизоляции (деревянными или металлическими решетками). Откачка осуществляется непрерывно, но периодически, по мере притока воды.

Откачиваемая вода применяется только для неглубоких ям, устраиваемых в устойчивых породах.

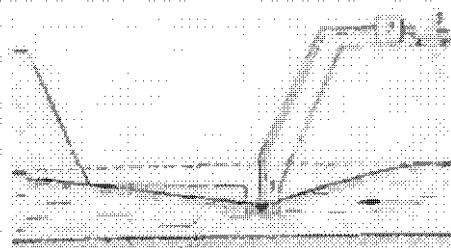


Рис. 159. Схема открытого водоотлива:  
1 — фильтр; 2 — насос; 3 — насос

Он не годится для песчаных грунтов, способных к оползанию, опасности оползневых подвижек откосов, при возникновении суффозионных явлений и в некоторых других случаях.

Проектирование насосной установки может проводиться с помощью теоретических расчетов или пробной откачки; результатом последней устанавливаются мощность и производительность необходимой насосной обору-

#### Горизонтальный дренаж

Для осушения карьеров, в которых добываемые породы вскрытые перекрыты залегающими с поверхности водонесущими слоями, при условии, что имеются достаточно благоприятные рельефные условия, применяется горизонтальный дренаж. Горизонтальные дренажи представляют собой открытые каналы или открытые траншеи дне которых укладываются перфорированные трубки, которые заполняются фильтрующим материалом. В некоторых случаях сооружаются водосборные

галерей, на дне которых укладываются железобетонные перфорированные трубы диаметром до 1,5 м. Глубина дренажа в большинстве случаев не превосходит 5—10 м. Как исключение встречаются системы горизонтального дренажа, достигающие глубины 15—20 м.

По расположению в плане различаются кольцевые, контурные и сложные дрены (рис. 160). Кольцевые применяются при всестороннем притоке воды к карьеру. При

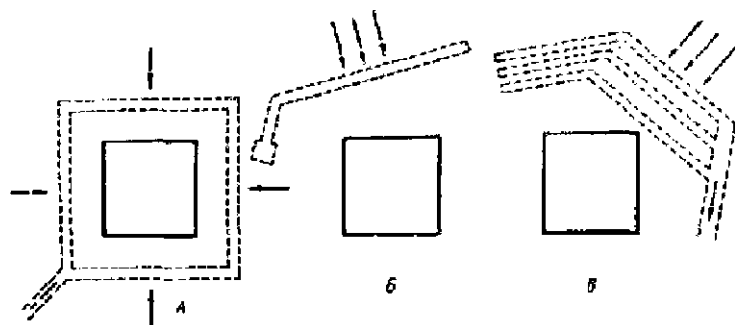


Рис. 160. Типы дрен:  
1 — кольцевая, 2 — контурная, 3 — сложная

одностороннем притоке употребляются контурные и сложные дрены, располагаемые так, чтобы перехватывать и отводить в стороны от карьера потоки грунтовой воды. Сложные дрены представляют собой систему параллельных поясов, перехватывающих грунтовые воды, обладающие значительными скоростями потоков. Из горизонтального дренажа собранные воды сбрасываются самоотеком или искусственной перекачкой насосами в реки, балки. При благоприятных геологических условиях потоки воды могут направляться в поглощающие колодцы.

### Вертикальный дренаж

Представляет собой осушительную систему, состоящую из серии вертикальных дрен, в качестве которых выступают: а) водопонизительные скважины; б) иглофильтровые установки; в) поглощающие колодцы.

**Водопонижительные скважины** оборудуются специальными турбинными насосами, помещаемыми внутри их. Последние дают напор до 80—100 м при производительности до 65—85 м<sup>3</sup>/час. Карьер окружается системой подобных скважин, из которых периодически откачивают воду. Откачка вызывает образование вокруг скважин депрессионных воронок, которые, объединяясь, влекут за

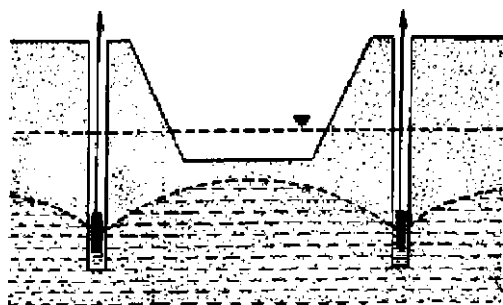


Рис. 161. Водопонижительные скважины

собой общее понижение уровня грунтовых вод в пределах карьеров (рис. 161).

Иглофильтровые установки состоят из системы иглофильтров, устанавливаемых вокруг котлованов. Они связываются общими сборными трубопроводами.

Сами иглофильтры представляют собой 38—75-миллиметровые металлические трубы, в нижней части которых имеется фильтр и шаровой клапан. Внутри глубинных иглофильтров помещены трубы меньшего диаметра (рис. 162). При работе таких иглофильтров в кольцевое пространство, расположенное между обенми трубками, подается сжатый воздух, под действием которого во внутреннюю трубку поступает под определенным давлением вода. В мягких породах иглофильтры погружаются методом подмыва, при котором во внутреннюю трубку подается под некоторым напором вода, которая размывает породы, расположенные в забое, и обеспечивает возможность погружения установки под действием собственного веса и небольших дополнительных давлений.

В настоящее время иглофильтровые установки широко применяют для предварительного понижения уровня грунтовых вод при строительстве котлованов. В зависи-

места от необходимой величины понижения водофильтры могут располагаться в один, два и больше ярусов (этажей). Одноярусная система расположения водофильтров может обеспечить понижение уровня лишь на 5-6 м. Особенно успешно применены «глубинные водофильтры» конструкции В. К. Ярцева и П. П. Артунова, позволяющих понизить уровень грунтовых вод при одноярусной системе размещения на 12-15 м и более.

Водофильтровые установки могут быть с успехом использованы для понижения уровня подземных вод при разработке карьеров.

Поглощающие колодцы устраивают при наличии под почвой разрабатываемого слоя пород с высокой водопроницаемостью.



Рис. 162. Схема водофильтра:

1 - водофильтр с грубой сеткой; 2 - водофильтр с мелкой сеткой; 3 - водофильтр с фильтром.

(рис. 163). В этом случае целесообразно устройство поглощающих колодцев, по которым вода из верхних горизонтов будет поступать в глубь водопроницаемого слоя,

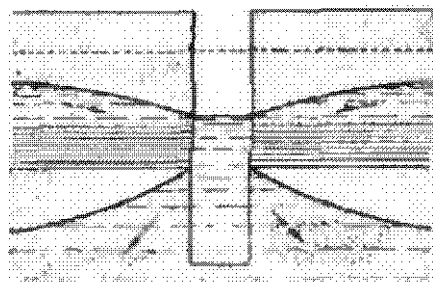


Рис. 163. Поглощающий колодец.

осушая разрабатываемую толщу. Поглощающие выработки сбрасывают воду как в безводные, так и в обводненные борозы. В качестве поглощающих колодцев могут использоваться скважины, шурфы и колодцы.

Поглощающие выработки либо значительно снижают уровень в карьерах, либо совершенно их осушают. Это зависит прежде всего от водопритока и количества поглощающих колодцев. По М. Е. Альтовскому, количество воды, поглощаемой одним колодцем (или скважиной), равно:

$$Q = \frac{2\pi k m H_0}{(b^2 R^2 - 1) e^2},$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации поглощающей породы;

$m$  — мощность поглощающего горизонта;

$H_0$  — напор, при котором происходит поглощение;

$e$  — радиус колодца или скважины.

Эта формула применяется для водоненных горизонтов, характеризующихся ламинарным движением воды.

При устройстве поглощающих систем необходимо иметь в виду, что скважины работают несколько хуже колодцев из-за коагуляции (засорения) фильтров.

# Часть VI

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И РАЗВЕДКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

---

### ПОНЯТИЕ ОБ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ИЗУЧЕНИИ ПОРОД И ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

#### Инженерно-геологическое изучение пород

Горные породы могут служить в качестве основания или среды для возведения различных сооружений: промышленных и гражданских зданий, плотин, каналов, дамб, мостов, оросительных и осушительных устройств, дорог и т. д.

Во введении уже говорилось, что изучением строительных свойств горных пород и путей их улучшения, а также инженерно-геологических процессов, влияющих на устойчивость сооружений (оползней, просадок, карста и т. д.), занимается инженерная геология.

В строительную практику прочно вошел термин «грунт», получивший довольно широкое распространение и среди геологов. Под грунтом строители понимают горные породы, являющиеся средой или основанием сооружений или же подвергающиеся тем или иным воздействиям при строительных работах. Некоторые специалисты называют грунтами только рыхлые породы.

Наука, изучающая грунты, — грунтоведение — часть инженерной геологии. Она называет грунтами различные почвы и горные породы, залегающие в зоне выветривания и являющиеся объектом изучения в связи с использованием в строительстве или в других отраслях техники» (Е. М. Сергеев).

В грунтоведении исследуются свойства пород и способы их изменения. Приемы, позволяющие улучшить свойства грунтов, изучаются в разделе грунтоведения — технической мелиорации пород.

Важный раздел инженерной геологии — изучение различных геодинамических явлений и процессов, влияющих в той или иной степени на устойчивость зданий и разных инженерных сооружений, процессов, именуемых инженерно-геологическими.

И. Я. Денисов все инженерно-геологические процессы делит на две группы:

1) процессы, протекающие с изменением объема пород (уплотнение под давлением, при высыхании и т. д., увеличение объема пород вследствие уменьшения давления, увеличения влажности и т. д.);

2) процессы, связанные с течением пород (выдавливание пород из-под сооружений, оползни и т. д.).

Большую роль в возникновении инженерно-геологических процессов играет взаимодействие подземных вод с грунтами, в результате которого возникают значительная часть оползней, суффозия, просадки, карст и др.

### Классификация грунтов

Большую роль в инженерной практике играет классификация грунтов, позволяющая приближенно оценивать строительно-технические характеристики горных пород. До настоящего времени общепринятая классификация грунтов отсутствует. Был разработан ряд общих классификаций, охватывающих все генетические типы пород, Ф. Н. Саваренским, В. А. Приклонским, Н. Н. Масловым, Е. М. Сергеевым и некоторыми другими учеными. В основе этих классификаций лежат следующие генетические принципы: различия в связях между частями пород, отношение к

воде, механические свойства и некоторые другие признаки.

Помимо общих классификаций грунтов, предложен ряд частных классификаций, которые рассматривают либо разделение отдельных генетических групп пород, либо деление пород для каких-либо специальных целей. В строительной практике наиболее распространена частная классификация грунтов как оснований, приведенная в «Строительных нормах и правилах» (СНиП II-B 1—62). В ней горные породы делятся на пять групп:

**Скальные** — изверженные, метаморфические и сцементированные осадочные породы с жесткими связями между зернами. Предел их прочности на сжатие более  $50 \text{ кг/см}^2$ .

**Полускальные** — главным образом сравнительно слабо сцементированные и хемогенные осадочные породы, обладающие способностью к размягчению и растворению в воде. Предел прочности на сжатие менее  $50 \text{ кг/см}^2$ . Представители — гилс, мергели, песчаники с глинистым цементом и т. д.

**Крупнообломочные** — несцементированные обломочные породы (галечник, щебень и т. д.), содержащие более 50% по весу обломков кристаллических или осадочных пород размером более 2 мм.

**Песчаные** — сыпучие в сухом состоянии породы. Их частицы связаны друг с другом только за счет трения. Они содержат менее 50% по весу частиц крупнее 2 мм. Песчаные грунты делятся на подгруппы по крупности составляющих их зерен.

**Глинистые** — связные породы. Между частицами этого типа пород имеется сцепление, величина которого зависит от влажности. Их характерное свойство — способность при определенной влажности приобретать пластичность. Прочность их в значительной степени определяется степенью увлажнения породы. Глинистые грунты по величине числа пластичности делятся на 3 группы: супеси, суглинки и глины.

Кроме перечисленных типов выделяются два подтипа грунтов, обладающих особыми свойствами:

а) лёссовые (макропористые) породы;

б) илы — глинистые породы, находящиеся в текучей консистенции.

## ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЫХЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

### Общие понятия

Рыхлые горные породы представляют собой разнообразные по минералогическому составу, структуре и свойствам образования. В физическом отношении они представляют собой трехфазные системы, состоящие из: а) твердой фазы — грунтового скелета; б) жидкой фазы — воды, частично заполняющей поры и окружающей в виде пленок частицы твердого скелета; в) газообразной части — воздуха и газов, заполняющих поры и более крупные полости грунта.

В настоящее время считают, что свойства грунтов определяются их химико-минералогическим составом, структурой и действующими в массиве энергетическими полями (гравитационным, гидродинамическим, порождаемым весом сооружений, и т. д.). Так как строение и состав формируются в результате длительных генетических и постгенетических процессов, то свойства находятся в прямой связи с геологической историей пород.

Различают следующие главные физические характеристики пород: удельный и объемный веса, объемный вес скелета, естественную влажность, пористость, коллоидные свойства, консистенцию и пластичность, водно-физические свойства.

### Общие физические свойства

К главнейшим общим физическим свойствам грунтов относятся удельный и объемный веса, вес скелета, пористость. Понятия об этих свойствах пород были рассмотрены ранее. Остановимся на некоторых дополнительных сведениях об этих важных для оценки грунтов показателях.

Удельный вес — показатель, отражающий минералогический состав пород. В рыхлых грунтах он определяется пикнометрическим способом. В пикнометр емкостью 100 см<sup>3</sup> наливают дистиллированную воду (при температуре 20°С), после чего пикнометр с водой взвешивают, затем грунт растапливают, высушивают до посто-

янного веса (при температуре 105°С), просеивают через сито с отверстиями 1 мм. Из подготовленного образца отбирают среднюю навеску (около 15 г) и высыплют в пикнометр, после чего его взвешивают. Затем в пикнометр наливают дистиллированную воду, которую для удаления пузырьков воздуха кипятят в течение 30—50 мин. После этого добавляют до метки воду, и пикнометр со всем содержимым охлаждают до 20°С и опять взвешивают. Удельный вес ( $\gamma_v$ ) определяют по формуле

$$\gamma_v = \frac{g}{g_1 + g - g_2} \text{ г/см}^3,$$

где  $g$  — вес высушенного грунта;

$g_1$  — вес пикнометра с водой;

$g_2$  — вес пикнометра с водой и грунтом.

Удельный вес рыхлых грунтов колеблется от 0,5 до 2,9 г/см<sup>3</sup>. Наиболее распространенные на поверхности земли породы имеют следующие значения удельных весов ( $\gamma_v$ , г/см<sup>3</sup>):

Торфяной грунт . . . . .	0,5—1,0
Глина . . . . .	2,4—2,9
Лессовые породы . . . . .	2,5—2,8
Песчанник . . . . .	2,7—2,9
Мел . . . . .	2,6—2,7
Песок кварцевый . . . . .	2,65

Объемный вес в твердых породах определяют путем взвешивания специально вырезанных кубиков правильной формы. В рыхлых породах чаще всего применяют метод парафинирования. Этот метод сводится к следующему: из монолита вырезают образец округлой формы (весом 100—300 г) и покрывают пленкой парафина. Его объем определяют по объему вытесненной им воды. Значение объемного веса определяют по формуле:

$$\gamma_0 = \frac{g}{V_1 - V_2}.$$

где  $g$  — вес образца;

$V_1$  — объем запарафинированного образца;

$V_2$  — объем парафина, определяемый как разность весов запарафинированного и незапарафинированного образцов, деленная на объемный вес парафина, равный 0,9.



Объемный вес грунтов зависит от структуры грунта (пористости), влажности и удельного веса. Для наиболее распространенных грунтов его значение в естественных условиях находят в следующих пределах ( $\text{т/м}^3$ ).

Пески . . . . .	1,43—1,70
Суглинки . . . . .	1,37—1,80
Глины . . . . .	1,40—2,35
Песчанники . . . . .	1,70—2,60
Известняки . . . . .	2,05—2,35
Торф . . . . .	0,5 —1,1

Пористость, объемный вес скелета и коэффициент пористости получают расчетным путем. В песках расчетная пористость отражает главным образом объем межчастичных пор и поэтому может служить прямым показателем, характеризующим уплотненность грунта. Степень плотности песков характеризуется непосредственно значениями коэффициента пористости ( $e$ ). СНиП IIБ 1—62 предлагает следующую оценку плотности песков (табл. 23).

Таблица 23

Плотность песков в зависимости от значения

Наименование песчаных грунтов	Плотность сложения		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Пески гравелистые крупные и средние . . . . .	$e < 0,55$	0,55—0,70	$e > 0,70$
Пески мелкие . . . . .	" 0,60	0,60—0,75	" 0,75
Пески пылеватые . . . . .	" 0,60	0,60—0,80	" 0,80

В практике для оценки плотности песков часто используется показатель плотности  $D$  — величина, определяемая по лабораторным данным и равная

$$D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}},$$

где  $e_{\max}$  — максимальная пористость песка, определяемая измерением пористости сухого образца, уложенного путем рыхлой отсыпки в лабораторных условиях;

$\epsilon_{\min}$  — минимальная пористость, определяемая в образцах песка, отсыпанных с наибольшим уплотнением на вибростоліке;

$\epsilon$  — естественная пористость песка.

Если значение  $D < 0,33$ , песок рыхлый, при  $D = 0,33$  — 0,66 — среднеплотный, при  $D > 0,66$  — плотный.

### Коллоидные свойства

Эти свойства присущи преимущественно глинистым породам. Появление коллоидных свойств зависит от содержания коллоидных частиц размером менее 0,1 мк. Чем больше содержание в породе дисперсных частиц, тем выше ее удельная поверхность, представляющая собой суммарную поверхность частиц, содержащихся в единице объема. Так, если у слагающих зерен (условно принимают, что они имеют форму кубов) размер ребра 0,1 мм, то общая поверхность таких частиц, заключенных в объеме 1 см<sup>3</sup>, будет равна 600 см<sup>2</sup>, если такой же объем заполнен частицами размером 0,01 мк, то их поверхность будет равна 6 000 000 см<sup>2</sup>.

Столь значительные удельные поверхности обуславливают в глинистых грунтах особенно интенсивное развитие поверхностных явлений молекулярной природы. В дисперсных средах возникают электрические поля — результат того, что поверхности коллоидных частиц электрически заряжены. Известно, что величина заряда зависит от диэлектрической постоянной среды, предопределяющей величину диссоциации ионов, расположенных на поверхности частиц.

Коллоидные частицы отличаются сложным строением. В центре их располагается ядро, имеющее, как правило, кристаллическое строение. Ядро окружено ионной сферой, состоящей из двух слоев: адсорбционного и диффузного (рис. 164). Адсорбционный слой ионов непосредственно и прочно связан с поверхностью ядра. Диффузный слой ионов составляет внешнюю часть ионной сферы. Концентрация в нем ионов быстро падает по мере увеличения расстояния от ядра. Большинство грунтовых частиц, составляющих ядро, имеет отрицательный заряд, поэтому ионная сфера состоит из катионов. Сочетание отрицательно заряженной поверхности ядра и катионов

352

ионной сферы носит название двойного электрического слоя. Наличие зарядов на поверхности — причина возникновения в глинистых породах различных электрических явлений, например, электрофореза — перемещения глинистых частиц под влиянием электрического поля. Электрофорез широко используется в инженерной практике для обезвоживания.

Другое коллоидное свойство глинистых грунтов — их способность к физико-химическому обмену. Если через

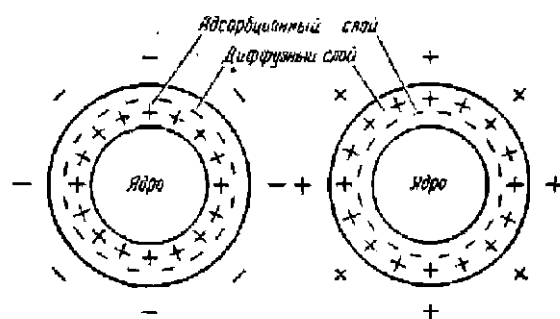


Рис. 164. Строение мицеллы

глинистую породу пропускать какой-либо раствор, то можно обнаружить, что после прохождения его через грунт из его состава исчезнут определенные ионы, а взамен появится ряд новых. Таким образом, произойдет поглощение грунтом одних ионов и вытеснение в раствор других ионов. В подобном обмене участвуют как ионы диффузного слоя, так и ионы, входящие в состав кристаллических решеток ядер. К. К. Гедройц установил, что обменной способностью обладают частицы, начиная с размера менее 0,005 мк.

Помимо явлений обмена, в грунтах возможно поглощение без видимого обратного выделения в раствор каких-либо ионов. Различают механическое, физическое, химическое и биологическое поглощения.

Механическое поглощение возникает путем задержки грунтом из состава фильтрующейся воды взвешенных частиц.

Физическое поглощение вызывается действием молекулярных сил, которые обуславливают поглощение из растворов веществ.

Химическое поглощение представляет собой процесс образования нерастворимых соединений в рыхлых породах и является результатом взаимодействия растворенных веществ, содержащихся в фильтрующихся водах, с грунтами. Часто химическое поглощение идет одновременно с физико-химическим обменом.

Биологическое поглощение вызывается жизнедеятельностью различных организмов и развито главным образом в почвах.

Поглотительная и обменная способность глинистых грунтов широко используется во многих отраслях промышленности (для очистки нефтепродуктов, жиров, масел и т. д.). Наиболее развито это свойство в глинистых породах, содержащих в своем составе монтмориллонит.

В качестве обменных ионов в глинах выступают главным образом водород, калий, натрий, магний и кальций.

Работы советских ученых (В. С. Шарова, И. В. Попова и др.) позволили установить, что ряд свойств глин в определенной степени зависит от состава обменных катионов. Влияние обменных катионов сильнее проявляется в обводненных монтмориллонитовых глинах. В меньшей степени оно выражено в гидрослюдистых и каолинитовых глинистых грунтах.

Влияние состава обменных катионов на некоторые свойства пород показано в табл. 24.

Таблица 24

Состав обменных катионов и свойства пород

Свойства	Влияние обменных ионов натрия и калия на свойства пород	Влияние обменных ионов кальция и магния на свойства пород
Набухание Размокание Водопроницаемость	Повышают Усиливают Понижают	Снижают Понижают Повышают

Коллоидные системы могут находиться в двух состояниях: золя (собственно коллоидного раствора) или геля (студнеобразной массы). В глинистых грунтах, находя-

щихся в золеобразном состоянии, характерно распадение коллоидной системы на дисперсные — тонкие частицы и общее снижение прочности водонасыщенных пород. При гелеобразном состоянии глинистых пород моночастицы объединены в агрегаты и прочность грунта более высокая.

Коллоидная система может переходить из одного состояния в другое. При этом переход золя в гель происходит в результате процесса, носящего название коагуляции, а обратный переход называется пептизацией. Коагуляция водонасыщенных глинистых пород возникает под действием различных причин: высушивания, замораживания, воздействия на них растворов электролитов и т. д.

Противоположный процесс — пептизация вызывается также рядом причин: обработкой глин раствором электролита, содержащего калий или натрий, снижением концентрации электролитов в растворе, процессом гидратации (для обратимых коллоидов) и некоторыми другими.

Особое значение имеет явление тиксотропии, представляющее собой пептизацию коллоидных систем при механическом встряхивании. Глинистые породы под действием тиксотропии могут мгновенно разжижаться. Через некоторое время после прекращения механического воздействия в системе восстанавливается первоначальная механическая прочность.

К тиксотропным изменениям способен широкий круг глинистых пород. Наиболее резко они выражены у пород, содержащих в своем составе монтмориллонит.

Возникновение тиксотропных явлений объясняется образованием некоторых типов оползней в водонасыщенных глинистых породах, во время которых происходит мгновенное снижение устойчивости склонов и откосов карьеров.

Изучение коллоидных явлений позволяет не только познавать природу прочности глинистых грунтов, но и искать пути улучшения их строительных свойств.

### Консистенция и пластичность глинистых пород

Глинистые породы способны по мере изменения их влажности менять свое состояние (консистенцию). В сухом состоянии глины имеют довольно значительную

прочность, а в водонасыщенном они разжижаются и переходят в текучую консистенцию.

Величина влажности, соответствующая пределам изменения консистенции (от твердой к текучей), зависит от ряда факторов, в первую очередь от содержания глинистых частиц (размером менее 0,005 мм) и минералогического состава дисперсной части. Помимо этого, существенное влияние оказывает также состав обменных катионов. Так, если в состав обменного комплекса входят натрий или калий, то порода обладает более высокой гидрофильностью (способностью к поглощению воды).

Некоторая зависимость между содержанием глинистой фракции и характером пластичности позволяет использовать так называемое число пластичности ( $W_p$ ) для приближенной классификации глинистых грунтов:

$$W_p = W_L - W_P.$$

Так, по нормам и техническим условиям проектирования естественных оснований (СНиП IIБ 1—62) породы делятся на следующие группы по значению  $W_p$ :

Песок	.....	<1
Супесь	.....	1—7
Суглинки	.....	7—17
Глина	.....	>17

Однако следует помнить, что число пластичности отражает не только гранулометрическую характеристику пород, но и их химико-минералогический состав. Последнее — одна из причин частых расхождений между гранулометрическим составом и значением числа пластичности.

По мере увеличения влажности глина становится все более мягкой и пластичной, при значительном увлажнении переходит в текучее состояние. Таким образом, в зависимости от влажности глина изменяет свою консистенцию от твердой до текучей.

Изменение консистенции глинистых пород с увеличением их влажности можно показать графически. На рис. 165 на выбранной оси откладываются значения влажности грунта и отмечается его состояние. При определенной влажности  $W_p$ , называемой влажностью ниж-

него предела пластичности (или предела раскатывания), глинистая порода перейдет из твердой консистенции в пластичную. Последняя характеризуется таким состоянием грунта, когда при механическом воздействии на него он легко изменяет свою форму без разрыва сплошности, при этом придаваемая ему форма сохраняется после прекращения воздействия.

Дальнейшее увеличение влажности до значения  $W_L$ , носящего название верхнего предела пластичности (границы текучести), вызывает переход глинистого грунта из пластичной в текучую консистенцию.

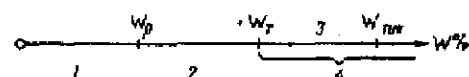


Рис. 165. Графическое изображение изменения консистенции глинистых пород:

1 — твердая консистенция, 2 — пластичная консистенция, 3 — тиксотропное состояние, 4 — текучая консистенция

В природных условиях при влажности, большей  $W_L$ , порода может сохранять определенную прочность, не переходя в текучее состояние. Это связано с наличием в естественных условиях определенных структурных связей в глинистых породах, разрушаемых в процессе лабораторного определения значений границы текучести. Если подобную породу подвергнуть механическому встряхиванию, то вследствие тиксотропии она может перейти в текучую консистенцию.

В последнее время для того чтобы охарактеризовать степень приближения глин к свойствам истинных коллоидных систем, широко применяют показатель коллоидной активности глин. Он также отражает степень гидрофильности глинистых грунтов. По М. Н. Гольдштейну, этот показатель представляет собой отношение

$$\Pi = \frac{W_p}{m},$$

где  $\Pi$  — показатель степени гидрофильности;

$m$  — содержание глинистых частиц (размером менее 0,002 мм), %;

$W_p$  — число пластичности, %.

По величине показателя гидрофильности выделяют:

Неактивные глины . . . . .	$P < 0,75$
Нормальные глины . . . . .	$0,75 < P < 1,25$
Активные глины . . . . .	$P > 1,25$

Для оценки консистенции глинистых грунтов применяется показатель консистенции ( $B$ ):

$$B = \frac{W - W_p}{W_n}$$

СНиП дает следующие значения  $B$  для разных грунтов:

<i>Супеси</i>	
Твердые . . . . .	$B < 0$
Пластичные . . . . .	$0 \leq B \leq 1$
Текущие . . . . .	$B > 1$
<i>Суглинки и глины</i>	
Твердые . . . . .	$B < 0$
Полутвердые . . . . .	$0 \leq B \leq 0,25$
Тугопластичные . . . . .	$0,25 < B \leq 0,5$
Мяскопластичные . . . . .	$0,5 < B \leq 0,75$
Текучепластичные . . . . .	$0,75 < B \leq 1$

### Водно-физические свойства

Помимо ранее рассмотренных водно-физических свойств пород — влагоемкости, водопроницаемости и водоудерживающей способности, — существует ряд других, порождаемых взаимодействием грунта с водой. К ним относятся набухание, усадка, размокание и размягчение.

**Набухание** представляет собой свойство глинистых пород увеличивать объем по мере возрастания влажности. Исследования авторов показали, что большая часть набухания глин возникает в результате капиллярного увлажнения. Дальнейшее повышение влажности до полного водонасыщения ведет к незначительному приросту объема образцов. На рис. 166 показан график набухания монтмориллонитовых глин района Волгограда, из которого можно видеть указанную зависимость этого свойства от типа смачивающей воды.

Набухание глинистых пород имеет осмотическую природу и связано с увеличением толщины гидратно-ионных

слов на поверхности глинистых частиц и в межпакетных пространствах кристаллических решеток минералов группы монтмориллонита. Величина набухания зависит от состава глинистых минералов и количественного содержания глинистых частиц. Наиболее способны к набуханию монтмориллонитовые глины. Гидрослюдастые породы набухают значительно меньше. Незначительное набухание присуще глинам, содержащим каолинит и дисперсный кварц.

На величину набухания оказывают влияние также состав обменных катионов, химический состав воды и некоторые другие факторы.

Абсолютная величина свободного набухания определяется в приборах конструкции А. М. Васильева, Ларионова — Уколовой и т. д. Основная часть этих приборов — бронзовое кольцо, в которое заряжается грунт.

Линейная деформация образцов в процессе набухания замеряется при помощи индикаторов. Ее величина оценивается по формуле:

$$i_{\text{наб}} = \left( \frac{h_1}{h_k} - 1 \right) \cdot 100,$$

где  $i_{\text{наб}}$  — величина набухания, %;

$h_k$  — начальная высота образца;

$h_1$  — высота образца после набухания.

Помимо величины набухания, практический интерес представляет также величина давления набухания. Величина последнего в глинах может достигать 5—8 кг/см<sup>2</sup>. В качестве примера, характеризующего набухание различных минералогических типов глин, приведем результаты исследований набухания глин восточного Прикаспия (табл. 25).

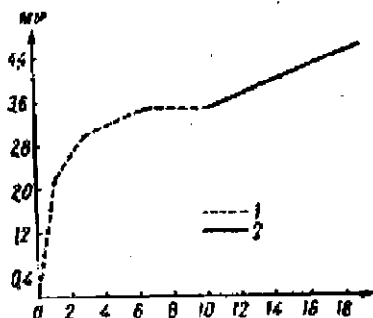


Рис. 166. График набухания хвалынских глин из района Волгограда;

1 — капиллярное насыщение, 2 — полное насыщение

Таблица 25

Зависимость набухания глины от состава ее минералов

Характеристики набухания	Глинистые минералы, образующие глины	Максимальное значение коэффициента набухания
Величина набухания	До 80%	До 12%
Способность к набуханию при изменении влажности	Хорошо развитая	Хорошо развитая
Способность к набуханию при насыщении от капиллярности и водному	Подавляющее большинство	Незначительная
Скорость набухания при погружении	Длительный процесс	Быстрый процесс

Набухание имеет большое значение при оценке строительных свойств глинистых пород. Известны случаи, когда увлажнение глины, лежащие в основании сооружений, увеличивалось в объеме в процессе набухания, вызывая серьезные деформации зданий.

**Усадка.** При понижении влажности глинистых пород возникает усадка — уменьшение их объема. Различают линейную и объемную усадку. Линейную усадку ( $\Delta l$ ) определяют по формуле:

$$\Delta l = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100\%,$$

где  $l_1$  — длина влажного образца;

$l_2$  — длина образца, достигнутого предела усадки.

Объемная усадка ( $\Delta V$ ) имеет значение, определяемое формулой:

$$\Delta V = \frac{V_1 - V}{V_1} \cdot 100\%,$$

где  $V_1$  — первоначальный объем влажного грунта;

$V$  — объем грунта после достижения предела усадки.

В результате усадки грунта раскрываются (рис. 167). Перемещение увлажнения и высыхания, вызывающее то набухание, то усадку поров, приводит к трещинам и разрушению стыков каналов, каменщиков и других сооружений.

**Размокание.** Глинистые породы при погружении в воду способны с большей или меньшей скоростью разрушаться. Скорость размокания их служит качественной характеристикой грунта. Она определяется путем вырезки из породы монолитиков кубической формы с размерами  $2 \times 2 \times 2$  см и последующего погружения их в воду на проволочную сетку, имеющую ячейки  $1 \times 1$  см. Помимо определения времени течения процесса, важно изучение



Рис. 167. Размокание глинистых пород при погружении в воду

характера образующихся продуктов размокания. В одних случаях порода полностью разрушается с образованием тонких частичек, в других остаются крупные комки или листочки, долгое время не размокающие.

Особенно быстро распадаются в воде лессовые породы. Время их размокания колеблется от 15 сек до 1—2 мин. Скорость размокания в определенной степени зависит от начальной влажности грунта: чем она выше, тем медленнее размокание. В процессе размокания в одних случаях образуются скопления тонких частичек, в других — порода распадается на листочки или агрегаты разных размеров.

**Размывание** — свойство, близкое к размоканию, приущее твердым породам, в которых воздействие воды вызывает не полное разрушение, а только уменьшение



прочности. Падение прочности пород характеризуется величиной коэффициента размягчения ( $K_{\text{раз}}$ )

$$K_{\text{раз}} = \frac{R'_{\text{сж}}}{R_{\text{сж}}},$$

где  $K_{\text{раз}}$  — коэффициент размягчения;

$R_{\text{сж}}$  — временное сопротивление породы сжатию до насыщения водой;

$R'_{\text{сж}}$  — временное сопротивление сжатию после насыщения водой.

Коэффициент размягчения косвенно характеризует сопротивляемость пород выветриванию и их морозостойкость. Для горных пород — естественных строительных материалов — величина коэффициента размягчения должна быть не ниже 0,75—0,8.

Степень размягчения зависит от состава цемента, трещиноватости, присутствия в составе породы воднорастворимых минералов и т. д.

Важнейшее свойство горных пород, применяемых в качестве естественных строительных материалов, — морозостойкость — способность подвергаться многократному замораживанию без видимых следов разрушения. Методика исследования на морозостойкость рассматривается в курсе строительных материалов.

## ПОНЯТИЯ О МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ГОРНЫХ ПОРОД

### Общие представления

Механические характеристики грунтов играют важнейшую роль при оценке строительных свойств как рыхлых, так и твердых пород. Для рыхлых грунтов, используемых в качестве оснований различных сооружений, возникает необходимость выявления их механической устойчивости под действием давлений. Если представить себе, что на поверхность грунта воздействует какая-либо сосредоточенная сила, то в грунте возникает система сил.

Если рассмотреть какой-либо элементарный кубик грунта, располагающийся в зоне действия силы, то можно видеть, что воздействующая на него результирующая

сила разделяется на две составляющие: нормальные силы, приложенные перпендикулярно к его граням ( $N_x, N_y, N_z$ ) и тангенциальные силы ( $T_x, T_y, T_z$ ), действующие вдоль граней (рис. 168). Первые стремятся сжать элементарный кубик, а вторые — его сдвинуть.

В результате действия нормальных сил возникает осадка сооружений, а тангенциальные силы порождают

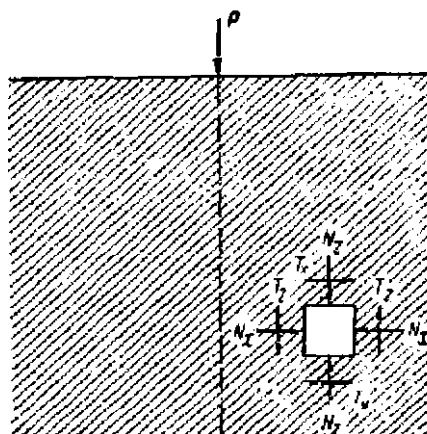


Рис. 168. Схема сил, действующих на микроучасток грунта от приложенной нагрузки

сдвиг и последующее выпирание грунта из-под фундамента, которое может привести к разрушению сооружения. Таким образом, для прочности естественных оснований наиболее опасны силы, вызывающие в грунтах сдвиг.

В соответствии с двумя главными формами деформаций оснований в рыхлых породах их исследуют на сжатие и сопротивление сдвигу.

Массивные горные породы, используемые в качестве естественного строительного камня для кладки, наружной и внутренней отделки, в механическом отношении характеризуются пределом прочности на сжатие. Этот показатель представляет собой напряжение, соответствующее нагрузке, при которой разрушаются образцы массивных пород.

## Сжимаемость рыхлых горных пород

Испытание рыхлых пород на сжатие проводится как в лаборатории, так и в полевых условиях.

В лаборатории грунт на сжатие испытывается в компрессионных приборах. Главной частью этих приборов — бронзовое кольцо, заполняемое при испытании грунтом с ненарушенной структурой, из которого при помощи штампа передается определенная нагрузка.

Сущность испытания рыхлых пород на сжатие сводится к приложению нарастающих ступеней давления (0,5;

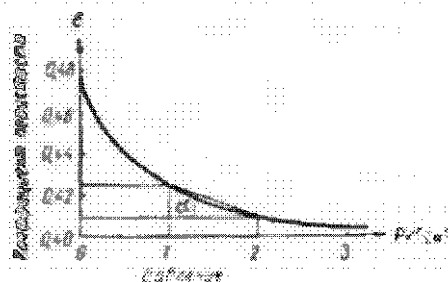


Рис. 169. Компрессионная кривая

1,0; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5,0  $\text{кг/см}^2$ ) и определению уменьшения высоты образца. Считается, что сжатие пород в пределах давлений, не превышающих 5,0  $\text{кг/см}^2$ , происходит за счет уменьшения пористости. Пытаясь, зная величину сокращения высоты образца, можно вычислить соответствующее уменьшение коэффициента пористости:

$$e_1 = e_0 - \frac{\Delta h}{h} (1 + e_0),$$

где  $e_1$  — коэффициент пористости, соответствующий приложенной нагрузке;

$e_0$  — начальный коэффициент пористости;

$h$  — начальная высота образца грунта;

$\Delta h$  — величина уменьшения высоты образца.

По значениям коэффициента пористости, соответствующим каждой ступени давления, строится компрессион-

ная кривая (рис. 169), представляющая собой закон, подобный (1,6).

Таким образом, определенными жесткими кривой — одной из главных характеристик сжимаемости рыхлых пород.

$$C_{\alpha} = \frac{1}{e_0} \frac{1}{1 + e_0}.$$

Величина  $\alpha$  носит название коэффициента сжимаемости. В зависимости от их значения рыхлые породы делятся на:

Сильно сжимаемые	$\alpha > 0,45$
Средне сжимаемые	$\alpha = 0,45 - 0,05$
Слабо сжимаемые	$\alpha < 0,05$

Наиболее яркое проявление сжатия поровых грунтов. Что касается глинистых пород, то здесь оно носит гораздо

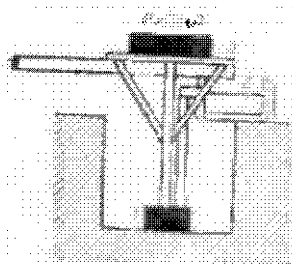


Рис. 170. Установка для испытания грунта компрессионным прибором

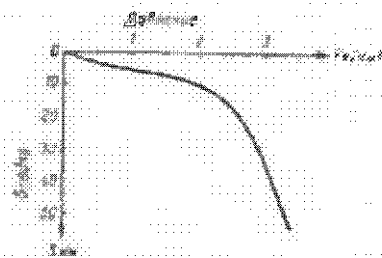


Рис. 171. График зависимости высоты образца от давления

1 — высота; 2 — сжатие; 3 — высота образца.

более сложный характер. Н. Я. Денисов показал, что уплотнение (онне представлял собой сложный комплекс, состоящий из трех видов деформации:

а) упругих — при которых сохраняется пропорциональность между приложенными давлением и величиной уплотнения;

б) структурно-аккреционных — возникающих вследствие изменения толщины пленок воды и мостов контактов частиц и внутри минеральных;

в) структурных — порождаемых взаимоперемещением частиц внутри пород.

В полевых условиях сжимаемость определяют методом статической нагрузки. Он сводится в приложения к штампу площадью 600 или 5000 см<sup>2</sup> последовательно задаваемых ступенями давлений (0,5—1,0—1,5—2,0—2,5—3,0 кг/см<sup>2</sup>). Установка состоит из железного штампа, устанавливаемого на дне специального шурфа или в скважине на заданной глубине, стойки, передающей давление, и грузовой платформы с уравновешиваемым устройством (рис. 170). Измеряя величину осадки при различных давлениях, можно построить график зависимости  $S=f(p)$  (рис. 171).

Опыт проводят до момента разрушения или до заданных давлений.

Результаты испытания позволяют определить величину модуля сжимаемости, характеризующую способность грунта к уплотнению, по формуле:

$$E_0 = (1 - \mu^2) \frac{P}{S_d},$$

где  $E_0$  — модуль сжимаемости, выраженный в кг/см<sup>2</sup>;

$P$  — нагрузка на штамп в кг/см<sup>2</sup>;

$d$  — диаметр круга, равновеликого площади штампа (при  $F=5000$  см<sup>2</sup>,  $d=79,8$  см);

$S$  — конечная осадка, соответствующая нагрузке  $P$ ;

$\mu$  — коэффициент бокового расширения.

Получаемое значение  $E_0$  используется для расчетов величины осадки зданий и сооружений.

В настоящее время распространена полевая оценка относительной плотности грунтов методом зондирования по результатам статического или динамического (ударами) погружения стандартного конуса в грунт.

### Сопротивление сдвигу рыхлых пород

В песчаных грунтах, в которых между частицами нет каких-либо заметных связей, сопротивление сдвигу определяется действием одной лишь силы трения:

$$\tau = N \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $T$  — сопротивление песчаного грунта сдвигу;  
 $N$  — нормальная сила, приложенная к грунту;  
 $\operatorname{tg} \varphi$  — коэффициент внутреннего трения грунта.

Можно видеть, что коэффициент внутреннего трения грунта  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{T}{N}$ . Угол  $\varphi$  носит название угла внутреннего трения грунта и служит важнейшей механической характеристикой рыхлых пород.

В глинистых грунтах сопротивление сдвигу носит более сложный характер. В первом грубом приближении оно оценивается формулой Кулона:

$$T = N \operatorname{tg} \varphi + C,$$

где  $C$  — сила сцепления между глинистыми частицами.

Величина сопротивления сдвигу глинистых пород зависит от их начальной плотности, влажности и некоторых других исходных свойств.

Сопротивление сдвигу определяют в сдвиговых приборах различных конструкций. В основе всех этих приборов

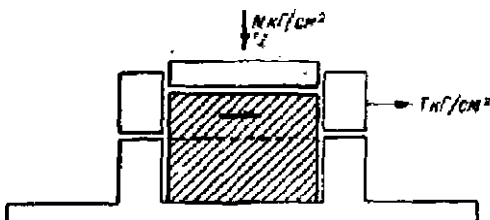


Рис. 172. Принцип определения сопротивления грунта сдвигу

лежит осуществление искусственного сдвига образцов нарушенной или ненарушенной структуры, помещенных в одних приборах в прямоугольную, в других — в круглую обойму, разрезанную на две продольные части (рис. 172). Верхняя часть обоймы прочно закрепляется, а нижняя может свободно перемещаться. На образец сверху с помощью специального устройства прилагается нормальная сила; к подвижной половине обоймы прикладывается нарастающее горизонтальное усилие, действующее вплоть до момента сдвига грунта. Полученное при этом значение  $T$  представляет собой величину сопротивления грунта сдвигу при данном нормальном давлении.

В последнее время сопротивление сдвигу грунтов начали определять в условиях трехосного сжатия путем испытаний на специальных приборах — стабилометрах. Эти приборы позволяют также судить о сжимаемости пород в условиях определенного расширения грунта в стороны.

Все большее значение приобретает полевая оценка сопротивления слабых грунтов сдвигу по результатам испытания вращательным срезом. Последний осуществляется лопастным прибором, представляющим собой две металлические прямоугольные пластины — лопасти, размещенные под углом 90°. С помощью штанги их задавливают в грунт, а затем измеряют усилие, необходимое для поворота их на 360°.

Для определения величины сцепления глин, как в лабораторных, так и в полевых условиях, применяется также метод шарикового штампа Н. А. Цытовича.

#### Механические характеристики массивных пород

Для определения предела прочности на сжатие ( $R_{сж}$ ) массивных горных пород из них изготавливают монолитные образцы, имеющие либо форму кубиков с размером ребер от 3 до 30 см, либо цилиндров или призм. Образцы испытывают на прессах на сжатие до разрушения. Величину прочности на сжатие определяют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P_{раз}}{F} \text{ кг/см}^2,$$

где  $P_{раз}$  — давление, при котором произошло разрушение образца;

$F$  — площадь одной стороны кубика.

Прочность на сжатие некоторых распространенных пород колеблется в следующих пределах:

известняк плотный . . .	350—2 000 кг/см <sup>2</sup>
известняк-ракушечник . . .	5—60 »
песчаник . . . . .	5—5 000 »
гранит . . . . .	900—2 600 »
базальт . . . . .	870—4 350 »

Большое влияние на прочность оказывает трещиноватость массивных пород.

## ДВИЖЕНИЕ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС НА СКЛОНАХ

### Типы движений земляных масс на склонах

При определенных условиях земляные массы, слагающие склоны, могут терять устойчивость и смещаться вниз по уклонам. Пример таких движений — обрушение и оползание откосов, сложенных рыхлыми породами.

В зависимости от величины уклонов и состава пород, слагающих склон, возникают те или иные виды смещения. Главные их разновидности — обвалы, осыпи и оползни.

**Обвалы** представляют собой внезапное обрушение земляных масс, при которых возникает вращение перемещающихся пород. Обвалы наиболее часты на сравнительно крутых склонах (уклоны 25—30°). В горных местностях возникновению обвалов массивных пород способствует их трещиноватость. Количество перемещаемых при обвалах пород колеблется от нескольких тонн до десятков миллиардов тонн. Так, в результате обвала горных склонов, во время которого переместились миллионы тонн горных пород, перегородивших реку Юпшару, возникло запрудное озеро Рица.

Наиболее интенсивное образование обвалов в горных местностях происходит в весеннее время, когда идет таяние льда, цементирующего трещины пород. Могут возникать также обвалы и обрушения крутых откосов каменных карьеров.

Борьба с этим явлением в горных местностях затруднительна. Более эффективно можно вести борьбу с обвалами откосов карьеров. Мероприятия, применяемые для предупреждения неожиданных обвалов, проводятся по двум направлениям:

а) предупредительные — среди которых главное место занимает искусственное обрушение угрожающих обвалом масс пород, производимое либо забиванием клиньев в трещины массивов, либо взрывным методом;

б) инженерные — при которых проводят работы по искусственному укреплению обвалоопасных массивов. Наиболее часто применяют нагнетание цемента в трещины, скрепление обвалоопасных массивов металлическими тяжами и т. д. Помимо этого, иногда возводят защитные



Рис. 171. Осыпи в районе Огоста, возникшие в 1967 г. (фото Г. В. Заватарова)

сооружения, воспринимающее удары обвалывающихся масс горных пород.

**Осыпи** представляют собой скопление в нижних частях крутых склонов обломочного деэволюального материала: щебня, дресвы, песчано-глинистых масс и более крупных обломков пород. По мере накопления обломочного делювия, а также при увлажнении осыпи последняя начинает медленно перемещаться вплоть до момента наступления равновесия. Подобные перемещения носят название оспов. Осыпи могут возникать также и от других причин, например при землетрясениях. Борьба с осыпями осуществляется путем принятия мер против дальнейшего накопления обломочного материала, устройства дренажных сооружений для осушения тела осыпи.

**Оползни** — явления, представляющие собой скопление земляных масс по склонам под действием гравитационных сил и увлажнения, вращения смещающихся масс при этом не возникает. Большинство точек скользящих пород перемещается по траекториям, близким к очерченным поверхностями скольжения. Иногда оползни переходят в обвалы, в этом случае они называются оползнями-обвалами.

Оползни особенно широко развиты на берегах морей и рек. Из старинных летописей широко известны оползни высшего правого берега р. Волга. Больший ущерб ежегодно приносит оползневые массы на высоком берегу Днепра у Киева, у черноморских берегов Канкала, Южного Крыма и в других местах нашей страны. На р.е 173 выказал один из оползней берега Черного моря, возникший в районе Одессы в 1957 г. Оползни могут развиваться на отложениях осадочных пород и выходов, а также и в стенах карьеров (рис. 174).

Научением оползней в СССР занимаются крупные геологи: А. П. Павлов, Ф. П. Саваренский, Н. В. Попов, Н. Ф. Потребов и многие другие. На основе их трудов установлены главные причины образования оползней, дана их классификация и разработаны меры борьбы с ними.

Главными морфологическими элементами оползней являются: а) тело оползня; б) подошва оползня; в) поверхность скольжения; г) поверхность



Рис. 174. Деформация железной дороги при оползне



оползая; 3) оползцовый цирк, возникающий на месте отрыва оползающей массы от склона (рис. 175).

Главный внешний признак оползней — смещение.

1. Развиваясь в верхних частях склонов трещинах, трещинах вдоль талого, их нижние концы постепенно оползают по склону и в конечном итоге выносятся на поверхность склона.

2. Буридность оползающего склона и наличие на нем террасовидных уступов. В разноразмерных оползнях на

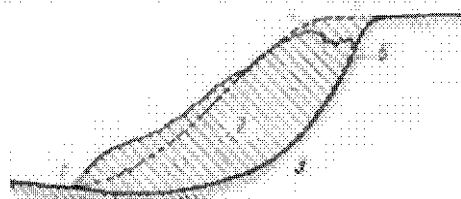


Рис. 175. Оползень оползая.

1 — оползцовый цирк, 2 — оползцовый фронт, 3 — оползцовый фланг, 4 — оползцовый корпус, 5 — оползцовый хвост, 6 — оползцовый язык.

поверхности часто обнаруживаются уступы, возникающие вследствие различных скоростей движения разных участков оползцового тела. Иногда вместе с оползнем образуются буры и неправильной формы. Буридность может возникнуть также при эрозийной выработке оползцовых уступов.

3. Возникновение оползневых цирков на участках отрыва оползающих масс.

4. Образование у подножья оползня характерных линий выпирания вследствие тактильного вынуждения уступов оползцового тела.

5. «Пьяный лес» (рис. 176), возникающий как следствие смещения оползней, при котором корневая система древесных растений, перемещаясь в зависимости от скорости движения участка, придает стволу то или иное направление.

6. Наклон столбов, заборов, заборов. Появление оползневых деформаций в сооружениях, расположенных на склонах.



Рис. 176. Оползень оползая на склоне.

7. Возникновение трещин и плоскостной отрыва на горизонтальных участках, расположенных за бровкой уступа карьеров.

Скорость движения оползней колеблется от сантиметров в год до 10—30 м в день. Для наблюдения за перемещением оползневой массы устанавливается система реперов. Движение оползней может регулироваться также системой маяков, устанавливаемых поперек трещин, что позволяет пометить скорость и направление движения трещины.

Причины образования оползней весьма разнообразны. Главные из них — а) нарушение механической устойчивости земляных масс на склонах; б) возникновение суффозионных явлений, в) концентрирование напряжений глинистых пород, г) сейсмические сотрясения; д) деятельность человека.

Нарушение механической устойчивости земляных масс на склонах возникает вследствие разных оборотностей: подмыла берегов рек и морей; допозитального разрушения склонов сооружениями, находящегося в породах, слагающих склоны, гидротехнических и гидродинамических сооружений и др.

Общее уравнение устойчивости земляных масс на склонах может быть записано в виде уравнения:

$$T = N \cdot \frac{1}{2} + F \cdot \frac{1}{2}$$

где  $T$  — сдвигающая составляющая веса массива;  
 $N$  — нормальная составляющая веса;  
 $F$  — поверхность скольжения массива;  
 $c$  — коэффициент сцепления;  
 $\operatorname{tg} \varphi$  — коэффициент внутреннего трения.  
 Из рис. 177 следует, что

$$T = G \sin \alpha, \text{ и } N = G \cos \alpha,$$

где  $G$  — вес оползавшего тела,  $\alpha$  — угол естественного откоса. Путем простых преобразований можно получить, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c \rho}{G \cos \alpha}.$$

Степень устойчивости откоса выражается коэффициентом запаса  $K_{уст}$ , его величина равна:

$$K_{уст} = \frac{N - \operatorname{tg} \varphi + c \rho}{T}.$$

Коэффициент запаса устойчивого склона должен быть всегда больше 1.1. Уменьшение коэффициента трения и величины сцепления, возникающих при увлажнении массива, сложенного глинистыми грунтами, всегда влечет за собой снижение коэффициента запаса и последующее возникновение оползня.

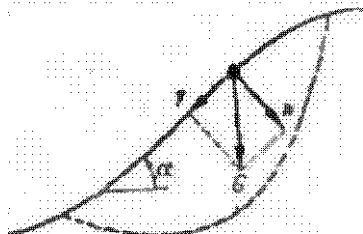


Рис. 177 Схема сил действующих на склоне

В настоящее время многие специалисты считают, что в глинах прочность обусловлена главным образом сцеплением.

Н. Я. Денисов полагает, что для глин коэффициент запаса определяется следующим выражением:

$$K_{уст} = \frac{2c}{\sigma_1 - \sigma_3},$$

где  $c$  — сцепление,  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  — наибольшее и наименьшее главные напряжения в массиве.

Суффозия, или вынос частиц породой водой, возникает при достаточно высоком гидродинамическом давлении.

давлением ( $G_p$ ) грунтового потока. Величина этого давления равна:

$$G_p = \gamma_k \cdot l,$$

где  $\gamma_k$  — объемный вес воды,  
 $l$  — гидравлический уклон.

Суффазия может вызвать понижение прочности грунтов и является причиной возникновения оползней. Пример подобных смещений пород — некоторые оползни района Волгограда. Здесь под шоколадными глинами на высоком правом берегу Волги залегает прослой песка (рис. 178).

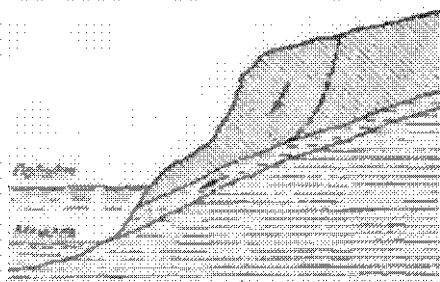


Рис. 178. Схема суффазии оползня на берегах Волги в районе Волгограда.

К ним приурочен горизонт безнапорных подземных вод. При весенних паводках на Волге возникает подпор этого горизонта воды и пески полностью заполняются водой. После быстрого спада паводка вследствие большого значе- ния гидравлических градиентов в песчаном слое образ- зуется высокое гидродинамическое давление, вызывающее суффазийный вынос песка и последующее развитие оползня береговых участков.

Тиксотропные явления, возникающие в водо- насыщенном глинистых породах, действуя вместе с дру- гими факторами, в некоторых случаях влекут за собой образование так называемых пластичных оползней. При сотрясениях глинистых толщ мгновенно развивается тик- сотропия, при которой в определенных частях массива глинистый грунт разжижается, что влечет за собой рез- кое падение сопротивления сдвигу и образование опол- зней. Шоколадные свойства глинистых пород — причина

возникновения ползучести глины, которая, протекая при незначительных разностях давлений, может стать причиной оползания.

При землетрясениях в земляных массивах возникают мгновенные дополнительные горизонтальные усилия, вызванные сейсмическими ударами. Разлагая горизонтальную составляющую сейсмической волны, получаем одно усилие, направленное по линии действия сдвигающей силы ( $T_2$ ), которое при суммировании с действующей гравитационной силой ( $T_1$ ) вызовет возрастание сдвигающего усилия ( $T_1 + T_2$ ), и другое усилие, направленное нормально к поверхности склона и ориентированное в направлении, противоположном действию нормальной составляющей силы тяжести  $N_2$  (рис. 179).

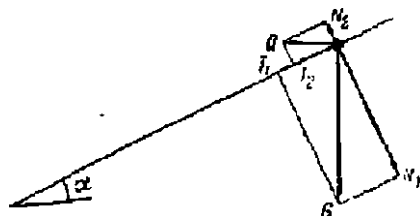


Рис. 179. Схема расположения сил на откосах при сейсмических сотрясениях

Уравнение равновесия изменится, приняв вид:

$$T + T_1 = (N - N_1) \operatorname{tg} \varphi + cF.$$

Таким образом, при сейсмических воздействиях на массивы равновесие нарушается. Это служит главной причиной массового возникновения оползней во время землетрясения на сравнительно устойчивых склонах.

Оползни развиваются также и в других случаях: при подрезке склонов дорожными выемками, при устройстве карьеров, строительстве различных котлованов и вследствие других причин.

### Мероприятия по борьбе с оползнями

Для борьбы с оползневыми явлениями существует большое количество различных мероприятий, которые можно разделить на 4 группы: 1) профилактические; 2) направленные на борьбу с обводненностью оползневых

участков; 3) направленные на увеличение устойчивости склонов; 4) прочие мероприятия.

**Профилактические мероприятия** заключаются в запрещении нарушения природных условий склона: вырубки лесонасаждений, их распахивки, устройства орошения и т. д. К этой же группе относится запрещение подрезки

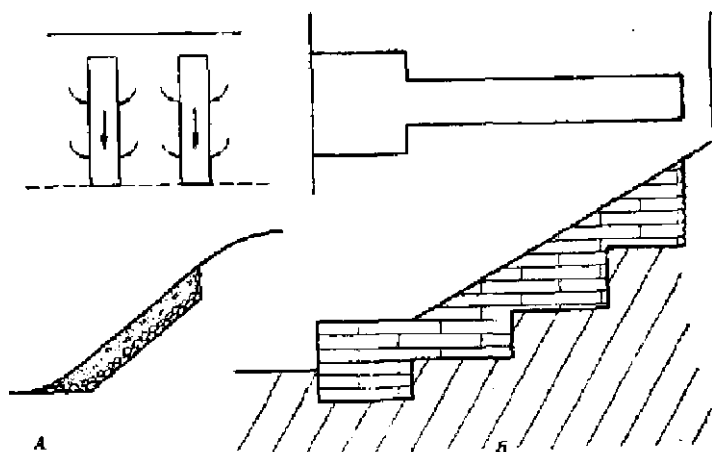


Рис. 180. Дренажная прорезь (А) и контрфорсный дренаж (Б)

склона дорожными выемками, строительными котлованами, траншеями и другими аналогичными сооружениями. Сюда же необходимо отнести мероприятия, предотвращающие подмыв берегов рек и морей. В некоторых случаях приходится запрещать возведение сооружений на оползневых склонах и выполнение взрывных работ.

В группу мероприятий, направленных на борьбу с обводнением оползневых массивов, входит сооружение системы нагорных канав, перехватывающих дождевые воды и отводящих их в стороны от опасных участков склонов, а также планирование поверхности. К этой группе мероприятий относится дренирование и отвод от оползневого массива подземных вод. Для этих целей широко применяется устройство дренажных прорезей (рис. 180, А), контрфорсных дренажей (рис. 180, Б), вертикального дренажа, дренажных штолен и т. д.

К мероприятиям, направленным на повышение устойчивости оползневых склонов, относится постройка противооползневых подпорных стенок, прошивка склона сваями (деревянными, бетонными, железобетонными). Эти мероприятия, как правило, оказываются малоэффективными. К этой же группе относится срезка оползневых склонов для понижения угла естественного откоса.

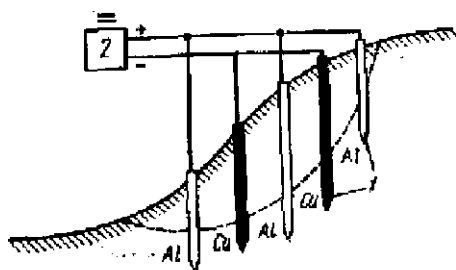


Рис. 181. Схема электрохимического закрепления глинистого оползня:  
1 — сваи, 2 — источник постоянного тока

Помимо перечисленных мероприятий, принимаются меры для повышения прочности грунтов, составляющих оползнеопасный массив. Сюда относятся методы электрохимического закрепления глинистых пород (рис. 181) и некоторые другие.

Прочие мероприятия направлены на пассивную защиту сооружений от разрушительного действия оползней. Примерами служат противооползневые тоннели у подножья оползней, которые в процессе движения погребаются скользящим материалом.

#### Устойчивость стенок карьеров в рыхлых породах

При строительстве и эксплуатации карьеров приходится решать вопросы создания устойчивых откосов уступов.

Категорически запрещается добыча естественных строительных материалов с образованием нависающих

участков стенок. Во всех случаях проектирования карьеров необходимо предусмотреть очертания стенок, обеспечивающие их устойчивость к обвалам и оползням.

Песчаные породы в сухом состоянии являются устойчивыми грунтами и допускают устройство откосов с углами в  $30^\circ$  (отношение высоты к заложению  $1:1\frac{3}{4}$ ).

В рыхлых водонасыщенных песках могут неожиданно возникать катастрофические оползни при взрывных работах или быстрых снижениях уровня грунтовых вод. Так, при разработке в мелкозернистых песках одного из карьеров возник неожиданный оползень, при котором в течение нескольких минут переместилось 1,5 млн.  $m^3$  материала. В водонасыщенных песках, имеющих среднюю плотность, устойчивые откосы определяются величиной в  $25^\circ$  (отношение высоты к заложению  $1:2\frac{1}{4}$ ).

При строительстве карьеров в плывунах необходимо предусматривать либо крепление, либо применение специальных методов проходки.

Устойчивость откосов в глинистых породах определяется целым рядом факторов: а) влажностью, б) строением глинистой толщи и присутствием в ее составе прослоев водонасыщенных песков, в) плотностью глины, г) предрасположенностью их к тиксотропному разжижению.

В сухом состоянии глины легко держат откосы с углом в  $40-45^\circ$ . В мокрых глинах величина устойчивых откосов уменьшается до  $20-25^\circ$  и при земляных работах принимаются минимальные отклонения высоты к заложению  $1:2\frac{3}{4}$ .

В глинах также возможны неожиданные катастрофические оползни, имеющие тиксотропную природу. Особенно часто подобные оползания откосов возникают на глинах, содержащих тонкие прослойки мелкого песка и пыли. Так, Терцаги и Пек описывают оползень на ленточной глине вблизи р. Гудзона (США), возникший неожиданно на откосе высотой 12 м. Он привел к перемещению откоса на 360 м с выпучиванием поверхности перед откосом на 90 м. Оползень произошел настолько быстро, что расположенная поблизости электростанция была мгновенно разрушена и все находящиеся в ней люди погибли.

Гравелистые и галечные породы устойчивы в откосах. Но при наличии примесей песчано-глинистого материала их устойчивость по мере увлажнения

резко снижается. В сухих гравийно-галечниковых породах устойчивые откосы имеют углы  $35-40^\circ$  ( $1:1\frac{1}{2}$  или  $1:2\frac{1}{4}$ ). В водонасыщенных галечниках откосы следует уменьшать до  $1:2\frac{1}{4}$ .

Для обеспечения устойчивости откосов в карьерах устраиваются промежуточные горизонтальные площадки — бермы, осуществляется отвод поверхностных и подземных вод в сторону от откосов.

## ПЛЫВУНЫ

### Понятие о плывунах

Определенные типы рыхлых пород, находясь в водонасыщенном состоянии, способны к плавучести. При вскрытии в таких породах, траншей, котлованов, шурфов, карьеров стенки последних интенсивно оплывают. При земляных работах в плывунах во многих случаях углубление котлованов без проведения специальных мероприятий невозможно. Чем больше извлекается из выемки грунта, тем большее количество поступает его со стенок и дна.

В карьерах и котлованах, пройденных в водонасыщенных рыхлых песках, иногда возникает неожиданное катастрофическое оплывание стенок, при котором перемещаются десятки и сотни тысяч тонн грунта, вызывая серьезные разрушения сооружений и даже гибель людей.

В последнее время И. М. Горькова установила, что истинные плывуны являются определенным типом пород, способных переходить в плавучее состояние вследствие повышенного содержания коллоидных и среди них — особенно гуминовых веществ. Именно они и определяют предрасположенность к оплыванию.

Основываясь на глубоких исследованиях плывунов, А. Ф. Лебедев разделил их на две группы: псевдоплывуны и истинные плывуны.

Псевдоплывуны представляют собой песчаные породы, плавучесть которых обусловлена лишь гидродинамическим давлением грунтовых вод. Переход их в плавучее состояние происходит при критическом гидравлическом градиенте:

$$I_{кр} = (\gamma_f - 1)(1 - n),$$

где  $I_{\text{гп}}$  — гидравлический градиент, при котором песок переходит в плавучее состояние;

$\gamma_s$  — удельный вес песка;

$n$  — пористость, выраженная в долях единицы.

Псевдоплывуны представляют собой не какой-либо определенный тип пород, а их специфическое состояние. Оно может проявляться при определенных условиях в самых различных породах: песках разного гранулометрического состава, супесях, гравелистых породах и т. д.

К псевдоплывунам относятся главным образом пески средне- и мелкозернистые. Для них характерно незначительное содержание пылевато-иловатых и глинистых частиц. Характерная особенность этого типа плывунов — довольно легкая отдача ими воды.

Истинные плывуны в отличие от псевдоплывунов содержат значительную примесь глинистых и пылевато-илистых частиц, что обуславливает их высокую гидрофильность. Для них характерна низкая водопроницаемость. Значение коэффициента фильтрации истинных плывунов колеблется от 0,005 — до 0,0001 см/сек. Плыучесть этого типа плывунов возникает при низких значениях гидравлических градиентов и является следствием поверхностных явлений, развивающихся на границе раздела воды и твердых частиц породы. Значительное развитие этого типа плывунов связано с их высокой удельной поверхностью. В них с особой силой проявляются тиксотропные явления.

Внешние истинные плывуны обнаруживаются по ряду характерных признаков:

а) при откачке воды из котлованов с плывунами откачиваемая суспензия по цвету и консистенции часто напоминает цементное молоко;

б) кусочек плывуна, вынутый из котлована, имеет вид слабовлажного грунта, но если по нему похлопать ладонью, то он расплывается, выделяя при этом воду;

в) поверхность плывуна в шурфе или котловане имеет довольно высокое поверхностное натяжение, по ней можно свободно ходить; при подпрыгивании на ней она упруго вужинит; если на поверхности плывуна некоторое время постоять на одном месте, то она начинает засасывать;



г) в некоторых случаях на способность к плавучести песка может указывать образование при бурении в скважинах водопесчаных пробок.

Наиболее часто окраска плывунов зеленовато-серая, но возможна бурая, светло-серая, темно-серая, желто-бурая и т. д. в зависимости от примесей различных веществ (почвенного слоя, железистого материала и т. д.).

Объемный вес скелета плывунов различен; в псевдоплывунах он колеблется от 1,5 до 1,8 т/м<sup>3</sup>, а в истинных — от 1,6 до 2,2 т/м<sup>3</sup>.

В строительном отношении плывуны отличаются рядом характерных свойств: 1) несущая способность их при наличии замкнутого пространства, исключающего их вытекание из-под сооружений, довольно высокая, но так как в большинстве случаев последнее условие трудно выполнить, то допускаемые давления на естественные основания на плывунах всегда ограничиваются небольшими значениями; 2) открытый водоотлив из котлованов в плывунах опасен для расположенных поблизости сооружений; возникающая суффозия может повлечь ослабление их оснований и вызвать деформации, а в ряде случаев и опрокидывание сооружений; 3) в водонасыщенных песках и в особенности в плывунах хорошо передаются на большие расстояния (до 1,5—2 км) вибрации и динамические удары, которые могут вызвать повреждения сооружений, расположенных подчас в значительном отдалении от места возникновения возмущения.

#### Методы борьбы с плывунами

В зависимости от типа плывунов, их мощности, гидрогеологических условий, а также характера сооружений выбираются наиболее целесообразные приемы производства земляных работ.

**Защита котлованов от плывунов шпунтовыми ограждениями** (рис. 182). Для этой цели применяют деревянные, металлические и железобетонные шпунты. Этот метод дает наибольший эффект при небольшой мощности слоев плывуна.

**Метод сибирских мостовиков.** Впервые он был применен при строительстве мостов через сибирские реки. Строители для проходки плывунов добавляли в котлованы небольшое количество ржаной муки и перемешивали

ее лопатами с плавучим грунтом. Через некоторое время полученная смесь легко вынималась без оплывания стенок.

Для проходки канав, траншей и мелких выемок можно рекомендовать указанный способ, заменяя при этом ржаную муку более дешевыми материалами. Установлено, что аналогичное действие на плывуны оказывает навоз,

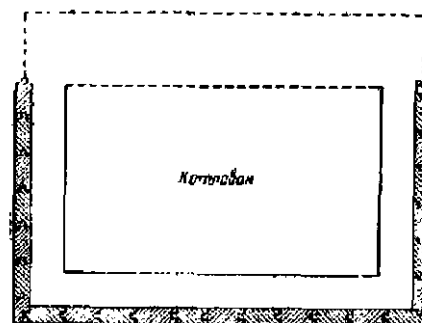


Рис. 182. Шпунтовые ограждения котлованов

активированный уголь и некоторые другие вещества. Теоретически этот метод не обоснован. Нанлучший результат он дает при борьбе с истинными плывунами, приходящими в движение при малых градиентах.

**Метод предварительного понижения уровня грунтовых вод.** Он осуществляется способами, рассмотренными на стр. 340, и применим главным образом для псевдоплывунов, обладающих коэффициентом фильтрации, превосходящим 1,5—2 м/сут.

Эффективная борьба с плывунами может осуществляться путем замораживания водонасыщенных оплывающих пород. При этом используют естественный холод, либо применяют искусственные источники холода.

Естественное замораживание применимо для северных районов страны. Для его осуществления производится проходка котлована на возможную глубину, после чего работу прекращают на некоторое время, необходимое для того, чтобы водонасыщенный грунт промерз на глубину 20—30 см. Затем замерзший слой сня-

мают и переходят к следующему этапу замораживания. Подобные работы требуют значительного времени и длительного периода сохранения низких температур.

Несколько ускоряет процесс замораживания, примененный уральскими строителями, метод заглубления в разжиженный грунт системы труб, по которым при помощи вентилятора постоянно циркулирует холодный воздух.

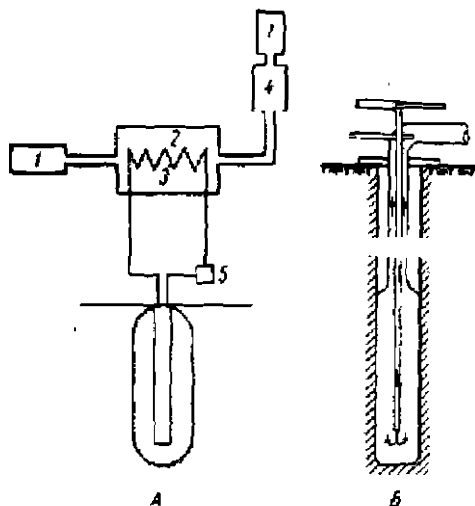


Рис. 183. Схема установки для искусственного замораживания. А — схема установки; Б — морозильная скважина: 1 — баллон с аммиаком, 2 — холодильная камера, 3 — смесь, 4 — компрессор, 5 — насос

Большое распространение получил метод искусственного замораживания. Его схема приведена на рис. 183. Из баллона с жидким аммиаком газ поступает в рефрижератор (холодильник), где испаряющийся аммиак резко понижает температуру. В холодильнике помещен змеевик, по которому циркулирует рассол (обычно раствор  $\text{CaCl}_2$ , температура замерзания которого  $40^\circ\text{C}$ ). Последний подается в скважины при помощи насоса по специальным трубам. Обтекая стенки скважины, он опять возвращается в холодильник. Газообразный аммиак из холодильника или поступает в компрессор для сжижения, или отводится в воду. Процесс промораживания продол-

жается 2—3 месяца. В результате вокруг скважины образуется ледяной столб диаметром от 0,9 до 1,4 м. Располагая скважины для замораживания по периметру котлована, можно создать вокруг него ледяную стену с довольно высокой прочностью (сопротивление сжатию мерзлого грунта 70—150 кг/см<sup>2</sup>). Она позволяет проводить работы в плывучих грунтах.

Х. Р. Хакимов, исследовавший процессы замораживания, пришел к выводу, что продолжительность замораживания при прочих равных условиях обратно пропорциональна абсолютному значению температуры теплоносителя, коэффициенту теплопроводности грунта и прямо пропорциональна квадрату радиуса промерзания. Учитывая это, можно сокращением сроков промораживания путем понижения температуры раствора вызвать соответствующее пропорциональное уменьшение времени процесса. Уменьшение расстояния между замораживающими скважинами в 2 раза позволяет сократить сроки в 4 раза.

В некоторых случаях для проходки в псевдоплывунах применяется метод силикатирования песчаных грунтов (рис. 184). Детально разработал этот метод Б. А. Ржаницын. Силикатизация вызывает окаменение песчаных грунтов, позволяющее резко улучшить их строительные свойства. Силикатизация основана на нагнетании через специальные трубки — инъекторы водного раствора жидкого стекла с последующим введением коагулятора. В качестве последнего чаще всего применяется раствор CaCl<sub>2</sub>. При этом протекает следующая реакция:

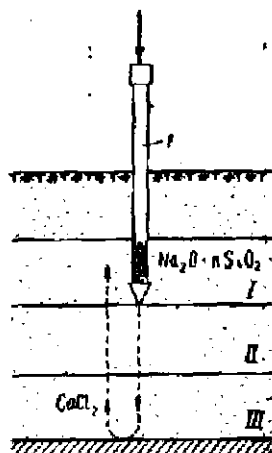
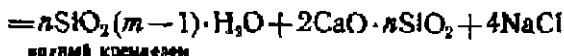
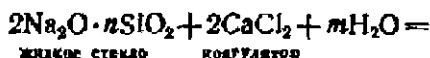


Рис. 184. Схема силикатирования. 1 — инъектор. II — III — зоны очередного насыщения жидким стеклом (вниз) и CaCl<sub>2</sub> (вверх)



Процесс протекает очень быстро, прочность силикатированного грунта уже в первые часы достигает значительной величины. Прочность в значительной степени нарастает в течение первых суток, дальнейшее ее увеличение наблюдается в течение последующих 5—10 суток. Прочность на сжатие силикатированных песков достигает 20—40 кг/см<sup>2</sup>.

Б. А. Ржанницын показал, что силикатизация применима для песков со значением коэффициента фильтрации от 2 до 80 м/сутки. Силикатированный грунт сохраняет прочность в течение многих десятков лет. Недостаток метода силикатизации — его сравнительно высокая стоимость.

В некоторых случаях возможна проходка котлованов путем подводного черпания, без откачки воды. При этом способе производства работ можно несколько увеличить устойчивость стенок котлована введением в воду, заполняющую котлован, глинистой суспензии.

## ПРОСАДКИ

### Общие понятия

Характерная черта лёссовых пород — их недоуплотненность, возникающая вследствие своеобразных условий накопления и последующих процессов изменения, называемых «облессованием». Недоуплотненными породами Н. Я. Денисов называет такие, плотность которых оказывается меньшей, чем этого требуют действующие в массиве напряжения.

Особенность лёссовых пород — высокая пористость и слабая водостойкость агрегатов, слагающих стенки пор. При инфильтрации воды в подобную породу стенки пор частично разрушаются и возникает самоуплотнение под действием собственного веса грунта. Этот процесс самоуплотнения лёссовых пород при увлажнении и воздействии собственного веса называется просадкой. В результате ее возникает прогибание и опускание участков поверхности и появляются своеобразные просадочные формы рельефа. Просадки наносят большой ущерб гидротехническим сооружениям, каналам, водохранилищам, ирригационным системам. Если процесс происходит при участии дополнительного воздействия веса зданий и со-

оружений, то возникают их серьезные деформации. В этом случае говорят о дополнительных осадках лёссовых пород при увлажнении.

Таким образом, эти два процесса — просадка и дополнительная осадка сооружений — имеют сходство (природы) и различие (порождаются давлением разной природы). В первом случае давление определяется собственным весом грунта, а во втором — добавочным весом сооружений.

Величина и характер процесса просадки определяются действием внешних факторов: количеством и химическим составом поступающей в массив воды, ее напором, напряженным состоянием грунтов (действующими давлениями) и появлением вибраций, сотрясений и других динамических воздействий. Способность к просадке лёссовой породы зависит от внутренних факторов: пористости, водопропускной структуры, химико-минералогического состава и др.

### Строение лёссовых пород и стадийность просадки

Рассмотрим особые черты лёссовых пород, способствующие возникновению просадочных явлений.

В лёссовых породах развиты все типы пористости, при этом пористость за счет объемной гигроскопичности практически не сказывается в явлениях просадки. Главную роль играет межчастичная пористость, отличающаяся более значительными размерами. Диаметр межчастичных пор достигает 0,5 мм. Они составляют главную часть пористости лёссовых пород. Их количество достигает 32—36% от объема породы. Межчастичная пористость предопределяет способность лёссовых пород к просадке.

Особое место в лёссовых породах занимают макропоры — крупные поры, хорошо видимые невооруженным глазом. Их диаметр достигает 4,0 мм. Макропоры бывают двух типов: а) первичные, образующиеся при формировании породы, отличающиеся рыхлыми стенками; для них характерны неправильные очертания в поперечном сечении; б) вторичные, возникающие главным образом в результате произрастания травяной растительности.

Стенки их уплотнены и часто покрыты известковыми ту-тунсовыми или железистыми пленками (рис. 185).

Первичные макропоры отличаются неустойчивостью при увлажнении. Их разрушение, возникающее при смачивании пород водой, увеличивает проницаемость пород.

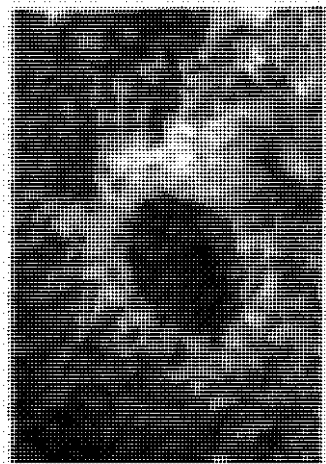


Рис. 185. Макропоры

Вторичные макропоры в большинстве случаев не только не участвуют в процессах просадки, но и представляют собой структурный элемент, повышающий водонепроницаемость пород. Макропоры обычно занимают от 1 до 6% объема пород.

Из других типов пористости в лессовых породах развиты крупные полости, коридоры, червотходы, крошечники, трещины различного происхождения и т. д. Они снижают прочность породы и увеличивают способность ее к просадке.

Общая пористость лессовых пород определяется расчетным путем. Она не включает объема хрупких полостей. Величина ее находится в пределах от 35 до 64%.

Агрегаты, составляющие лессовые породы, в зависимости от степени водостойкости могут быть разделены на четыре типа:

а) неводостойкие — разрушающиеся в момент воздействия воды;

б) водостойкие — разрушающиеся при длительном воздействии воды на породы. Их разрушение может быть ускорено в лаборатории кипячением суспензий;

в) водопрочные — способные распадаться только при химической обработке пород;

г) высоководопрочные — практически не разрушающиеся при воздействии воды и растворов.

По величине все агрегаты могут быть разделены на микроагрегаты (размером  $< 5 \text{ мк}$ ) и макроагрегаты.

(размером  $>5$  мк). Появление в составе лёссовых пород агрегатов с различной водостойкостью объясняется условиями их образования.

Различные лёссовые породы имеют разное количественное соотношение перечисленных типов агрегатов. При преобладании в составе породы неводостойких агрегатов просадка носит прерывальный характер, а в случае значительного участия водостойких агрегатов развивается

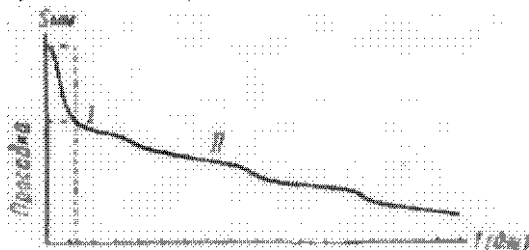


Рис. 186. Консолидация просадки лёссовых пород.  
I — провальная просадка, II — замедленная просадка

длительная по времени замедленная просадка. Характерная черта просадочного процесса, обусловленная особенностями строения лёссовых пород, — его стадийность. Можно выделить 3 стадии просадки: 1) провальная стадия, возникающая в момент замачивания; 2) замедленная стадия, продолжающаяся в течение месяцев и даже лет; 3) суффозионная стадия, возникающая вследствие суффозионного выноса растворимых солей и, возможно, коллоидных частиц. На рис. 186 графически показан ход деформаций лёссовых пород на примере многолетних наблюдений за просадкой объекта, построенного в долине р. Северный Донец.

### Оценка величины просадки

При проектировании и строительстве сооружений в районах, сложенных лёссовыми породами, встает вопрос об оценке способности оснований к просадке. В настоящее время наиболее широко применяется лабораторный метод оценки, рекомендуемый нормами и техническими условиями СНиП II-Б 1—62.

Моколитный образец породы помещают в компрессионный прибор и подвергают обжатию давлением, равным сумме давлений от веса сооружения и вышележащего грунта. После стабилизации (прекращения) осадки образец при том же давлении замачивают. Для оценки служит показатель относительной просадочности:

$$\delta_{пр} = \frac{h_1 - h_1'}{h_1},$$

где  $h_1$  — высота образца при принятом давлении;

$h_1'$  — высота образца, замоченного при том же давлении.

Для вычисления величины просадки лёссовой толщи мощностью  $H$  служит следующая формула:

$$\Delta_{пр} = \sum_{i=1}^n \delta_{пр,i} H_i m,$$

где  $\Delta_{пр}$  — условная просадочность лёссовой толщи, см;

$\delta_{пр,i}$  — показатель относительной просадочности для каждого слоя;

$H_i$  — толщина каждого слоя, см;

$n$  — число слоев;

$m$  — коэффициент условий работы (1,5—2,0).

Грунтовые условия строительных площадок в зависимости от ожидаемой просадки от собственного веса грунта подразделяются на 2 типа: I — просадка не будет превышать 5 см; II — просадка от собственного веса грунтов превысит 5 см.

Просадочность возрастает при воздействии динамических нагрузок и при сейсмических явлениях. Величина ее приращения зависит от ряда факторов и колеблется от 0 до 30%.

В процессе просадки возникают следующие деформации сооружений: 1) появление трещин в стенах и конструкциях; 2) наклон сооружений; 3) опрокидывание стен и обрушение конструкций; 4) опрокидывание сооружений с их полным разрушением.

### Борьба с просадочностью

Для предотвращения просадочных деформаций и разрушений сооружений применяют различные мероприятия. Их можно разделить на три группы:

I. Мероприятия, предохраняющие лёссовые основания от замачивания. Сюда относятся: планировка строительных площадок, гидроизоляция водонесущих сооружений, предохранение зданий от течи водопроводов и т. д.

II. Конструктивные мероприятия, направленные на повышение жесткости сооружений. Сюда относятся устройство железобетонных ленточных фундаментов, фундаментов-плит, повышение жесткости стен и т. д.

III. Мероприятия по устранению просадочных свойств лёссовых пород. Сюда относится употребление однорастворного способа силикатизации (В. В. Аскалонова), термическое укрепление просадочных оснований (И. М. Литвинов), уплотнение оснований глубинными сваями (Ю. М. Абелев), метод предварительного замачивания и некоторые другие.

Однорастворный метод силикатизации отличается от ранее рассмотренной силикатизации песков тем, что в породы нагнетается только один раствор жидкого стекла (10—15%-ной концентрации) с добавкой 2,5%-ного раствора  $\text{NaCl}$ . Второй раствор не вводится, его роль выполняют воднорастворимые соли, всегда входящие в состав лёссовых пород. Процесс окаменения продолжается около 30 суток. Радиус закрепления лёссовой породы от 0,2 до 1,0 м. Силикатизация применима только для пород с коэффициентом фильтрации более 0,1 м/сут. Силикатизация совершенно неприменима к тяжелосуглинистым и глинистым породам.

В последнее время метод силикатизации получил дальнейшее развитие. Стали применять пневматическое нагнетание силикатного раствора с чередованием двух силикатных растворов разной плотности. Успешно применен силикатный раствор на 5%-ном растворе аммиака, который позволил повысить прочность закрепления грунта.

Получил распространение также метод электросиликатизации, при котором силикатный раствор вводится одновременно с приложением электрического поля.

Термическое укрепление заключается в термохимической обработке лёссовых пород путем сжигания различных горючих смесей в толще грунтов (рис. 187). В качестве горючих применяют соляровое масло, нефть, мазут, коксовый газ и т. д.

Вокруг скважины в процессе обжига в течение 5—15

дней образуют укрепленный массив грунта диаметром до 2,5—3 м и глубиной до 10—15 м (термосвая). Прочность на сжатие термически укрепленных грунтов достигает  $1000 \text{ кг/см}^2$  и более. Просадочность лёссовых пород при этом полностью ликвидируется.

Механическое уплотнение лёссовых оснований полу-

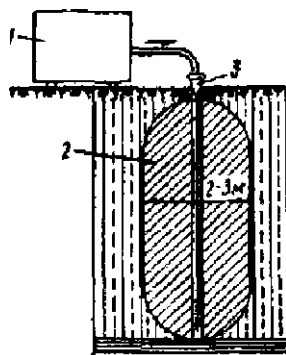


Рис. 187. Схема термического укрепления лёссовых пород:

1 — термическая установка, 2 — зона термического укрепления лёссовых пород, 3 — форсунка для сжигания топлива

чило широкое распространение. Оно заключается в обработке основания тяжелыми трамбовками. Трамбование проводят путем сбрасывания трамбовки, подвешенной к крану, с высоты 3,5—4,0 м. Уплотнение ведется до момента, когда от одного удара понижение уплотняемой поверхности не превысит 1—2 см.

При трамбовании просадочные свойства ликвидируются на глубину до 2 м.

Уплотнение оснований «глубинными сваями» сводится к прохождению скважины и последующему заполнению их перемещаемой суглинистой лёссовой породой, производимому с механическим уплотнением. При

этом прочность основания увеличивается как за счет повышения плотности породы, заполняющей сваю, так и за счет повышения уплотненности прилегающих к стенкам свай частей породы.

Для некоторых гидротехнических сооружений с успехом были применены методы предварительного замачивания лёссовых оснований для предпостроечного вызова просадочного доуплотнения пород.

В последнее время И. М. Литвинов предложил одновременно с предварительным замачиванием лёссовой толщи через скважины производить взрывы зарядов, размещаемых у забоя выработки. Перед взрывом площадку отделяют от соседних участков прорезью, выполняемой фрезерной пилой. Этот метод дает прекрасный результат, полностью ликвидируя просадочность лёссовых пород в пределах строительных площадок.



Понятие о карсте

Карстом называется явление растворения водой некоторых горных пород, в процессе которого образуются различные типы пустот и полостей. В зависимости от пород различают следующие типы карста.

**Известняковый**, когда карстующейся породой служит известняк или доломит. Растворимость карбонатов зависит от содержания в воде  $\text{CO}_2$  и ее температуры. В зависимости от условий для растворения одной части кальция требуется от 1000 до 30 000 частей воды. И. В. Попов дает следующие цифры изменения растворимости кальция в чистой воде в зависимости от температуры.

Температура, °C	Растворимость, мг/л
25	14,33
50	15,04
100	17,79

Растворимость магнезита в чистой воде более значительна и равна (по Н. Любавину) 56 мг/л. Значительно меньшей растворимостью обладает доломит.

**Гипсовый** карст, когда растворение возникает в сульфатных породах: гипсах и ангидритах. Растворимость гипса зависит также от температуры и состава воды. В среднем можно считать, что одна часть гипса растворяется в 480 частях воды.

**Соляной** карст, возникающий в толще каменной соли и слоях, содержащих скопление хлоридов. Этот тип минеральных соединений отличается особенно высокой растворимостью: так, одна часть каменной соли (галит) растворяется в 3 частях воды.

Помимо названных типов карста, сходные формы возникают в результате механической суффозии — выноса тонких частиц, происходящего в глинистых и лёссовых породах. Это явление получило наименование псевдокарста (суффозионного карста).

Характер течения карстовых процессов в значительной степени зависит от геологических и гидрогеологических условий, в которых находится способная к растворению водой порода. В зависимости от положения массов

различают: 1) средиземноморский, или открытый карст, при котором карстующиеся породы располагаются на поверхности земли; 2) континентальный карст, отличающийся тем, что растворяющиеся породы покрыты элювием, хорошо фильтрующим водой; 3) среднерусский, или закрытый карст, широко распространенный в СССР. Он характеризуется тем, что карстующиеся породы сверху перекрыты значительной толщиной нерастворимых в воде и мало водопроницаемых пород.

Одно из условий возникновения карста — наличие трещиноватости водорастворимых пород, чем она выше, тем интенсивнее карстообразование. Имеет большое значение также положение массива относительно так называемого уровня коррозии (т. е. отметки, ниже которой растворение и карстование либо полностью отсутствуют, либо протекают весьма медленно). В большинстве случаев уровень коррозии служит либо границей водопроницаемых пород, либо поверхности подземных вод, обладающих высокой минерализацией.

В зависимости от условий, в которых находится карстующийся массив, можно говорить об активном и пассивном карстах. При активном карсте, происходящем в настоящее время, породы располагаются выше уровня коррозии. При пассивном карсте процесс карстообразования либо незначителен, либо полностью отсутствует. При нем массив располагается ниже уровня коррозии.

В Советском Союзе карст развит во многих районах: в Крыму (открытый известняковый карст), в районах западного Приуралья (закрытый гипсовый и известняковый карст), в районах Русской равнины (закрытый известняковый карст), в Приамурье (известняковый карст) и во многих других местах.

Карстовые формы можно разделить на две группы: поверхностные и внутренние. К первому типу относятся такие, которые образуются на дневной поверхности, во внутренних являются глубинными образованиями, развивающимися в недрах карстующегося массива. Обе выделенные группы карстовых форм связаны между собой генетически. Часто они образуются совместно, порождая одна другую.

Поверхностные формы развиваются как в условиях открытого, так и закрытого карста. При открытом карсте они образуются как следствие процесса растворения

пород, а при закрытом карсте являются вторичными образованиями, возникающими в результате обвалов внутренних карстовых полостей.

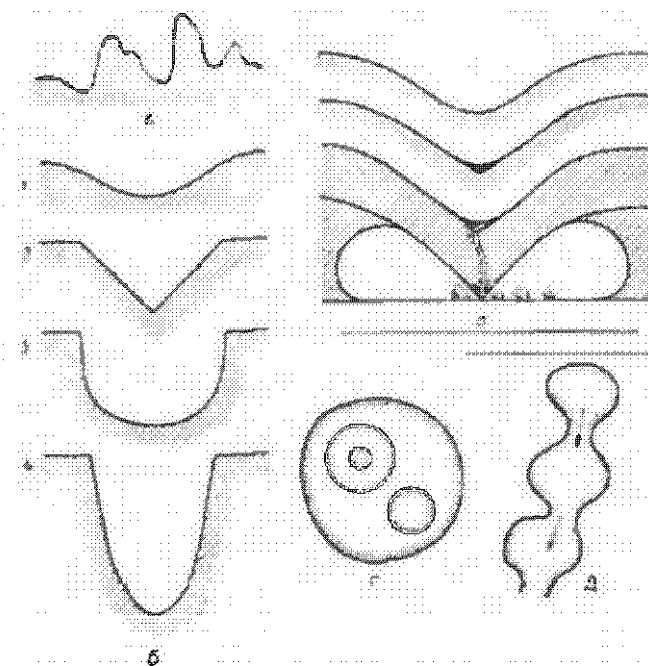


Рис. 188. Формы карста. А — карры, Б — воронки, В — сложная обвалованная поверхность карстовой воронки с галечками, Г — сложная воронка, Д — карстово-трещинный округ, Е — карстовый округ, Ф — карстовый округ.

Главными разновидностями поверхностных форм являются:

1. Карры — мелкие желобки, бороздки и канавки на поверхности карстующейся породы (рис. 188, А); их глубина колеблется от нескольких сантиметров до 1—2 м.

2. Воронки — углубления различных форм и размеров (рис. 188, Б). Различаются блюдцеобразные, конусообразные, чашеобразные и шалтообразные воронки. Для

метр их колеблется от 3—4 до 40—50 м, глубина — от 1—2 до 100 м. Воронки могут образоваться в процессе растворения поверхностных пород путем постепенного расширения трещин или как прогиб поверхности, возникающий при обрушении карстовых пустот (пещер) в глубинах массивов. На дне воронок часто располагаются выходы — каньелы, по которым вода поступает из воронки в недра массива. На рис. 188, В показан механизм образования провальной поверхности воронки при закрытом типе карста в районе г. Уфы. Провальные воронки обладают, как правило, более правильными формами. Характерно расположение карстовых воронок по определенным линиям, соответствующим направлению трещин в массиве. При закрытом карсте возможны случаи образования сложных воронок, как бы вложенных друг в друга (рис. 188, Г).

З. А. Максимов по интенсивности образования воронок дал следующую классификацию устойчивости карстовых районов (излагается по Н. В. Попову):

а) участки весьма неустойчивые: в год возникает до 5—10 воронок на 1 км<sup>2</sup>;

б) участки неустойчивые: в год возникает по 1—5 воронок на 1 км<sup>2</sup>;

в) участки средней устойчивости: одна воронка на 1 км<sup>2</sup> возникает за время от 1 года до 20 лет;

г) участки весьма устойчивые: одна воронка на 1 км<sup>2</sup> возникает за 20—50 лет;

д) участки весьма устойчивые: площадь свободна от воронок или имеется только несколько старых воронок. Свежие провальные формы не отмечались в течение последних 50 лет.

3. Встречаются случаи, когда серия воронок, одна за другой расположенных вниз по склону, с течением времени переходит в карстово-эрозионный овраг, имеющий своеобразную форму (рис. 188, Д).

4. Коплевыми и щелями возникают в результате постепенного объединения воронок или опускания больших участков поверхности над крупными внутренними формами карста. Размеры этих форм различны. Но чаще они могут простираться на сотни метров и даже на километры. Глубина их достигает многих десятков и сотен метров.

Внутренние формы так же разнообразны, как и рассмотренные поверхностные. К ним относятся карстовые каналы, пещеры и гроты. Пещеры и гроты подчас достигают значительных размеров. Так, Максимова пещера в США насчитывает до 200 галерей общей длиной около

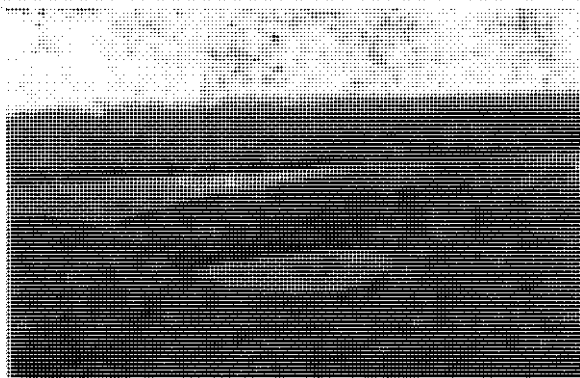


Рис. 189. Карстовая воронка закрытого типа в карсте на берегу р. Белая.

250 км. Высота гротов в этой пещере достигает 40 м. Одна из крупнейших карстовых пещер в Советском Союзе — Кунгурская — имеет длину около 4,5 км. Внутренние карстовые полости часто содержат озера и подземные реки.

Развитие пещер идет как путем растворения дна и стен текучими водами, так и посредством постепенного обрушения пород, слагающих потолочную часть.

При гипсовом закрытом карсте в ряде случаев возникает течение гипса внутрь пещер, происходящее под давлением толщ пород, залегающих в кровле. Подобное течение пород влечет за собой прогибы поверхности, расположенной над пещерами (рис. 189).

#### Инженерно-геологические исследования и строительство в карстовых районах

Строительство на территориях активного развития карста часто вызывает большие затруднения. Для правильного проектирования зданий и сооружений тре-

буются детальные инженерно-геологические исследования карстовых районов. И. В. Попов указывает, что эти исследования должны носить комплексный характер, при котором детально изучаются: климат, растительность, гидрология местности; геологическое строение, гидрогеология и геоморфология; морфология (форм), гидрология и гидрогеология карста; состояние имеющихся в районе инженерных сооружений (в связи с карстом).

Особенно важно выявить расположение открытых и закрытых форм карста. В настоящее время для обнаружения закрытых карстовых полостей широко применяют методы геофизической разведки (электроразведка и сейсморазведка).

Инженерно-геологические исследования позволяют обнаружить и нанести на карту участки, наиболее опасные в карстовом отношении. Как правило, на подобных участках капитальное строительство не рекомендуется.

Особенно опасны карстовые проявления для гидротехнических сооружений. Образующиеся карстовые пустоты могут быть путем для утечки воды из водохранилищ и в обход плотин.

Борьба с карстовыми явлениями крайне затруднительна, но в ряде случаев применение комплекса инженерных мероприятий обеспечивает достаточную устойчивость сооружений. Наиболее часто применяют следующие методы повышения устойчивости карстопроопасных массивов.

1. Планировка поверхности и создание системы водозахватных и отводящих сооружений. Эти мероприятия служат для отвода поверхностных вод с участков строительства.

2. Сооружение дренажных систем для предотвращения поступления грунтовых вод в трещины и карстовые полости.

3. Регулирование поверхностного стока с целью уменьшения высушивания лаводков, во время которых поверхностная вода поступает в карстовые пустоты и трещины пород.

4. Нагнетание в карстовые полости и трещины в породах цементного раствора или горячего битума. Это мероприятие может предотвратить доступ воды в карстопроопасные участки. Цементация одновременно повышает прочность оснований.

## МНОГОЛЕТНЯЯ (ВЕЧНАЯ) МЕРЗЛОТА

### Общие понятия

В северных районах нашей страны на некоторой глубине от поверхности встречаются прослои мерзлых пород, длительное время сохраняющих температуру ниже нуля. Поэтому наблюдающиеся в породах мерзлые грунты условно называют «вечной» мерзлотой.

В настоящее время толщу мерзлых пород делят, по Н. А. Цытовичу, на два класса: многолетний, в которых температура ниже нуля сохраняется от 2—3 до нескольких десятков лет, и вечномерзлый, сохраняющий мерзлоту в течение многих веков, при этом слово «вечно» необходимо понимать как существующий века.

Помимо многолетней мерзлоты, в зимнее время на большей части Советского Союза возникает сезонное промерзание, распространяющееся на некоторую глубину от поверхности земли, которое исчезает в теплый период года. Такие мерзлые породы носят название сезонномерзлых. Изучение мерзлоты было начато русскими исследователями еще при Петре I. Особенно детально и глубоко это явление было изучено после Октябрьской революции, когда советские ученые подробно исследовали специфические особенности мерзлых пород, создали особую отрасль науки — мерзлотоведение. В основу мерзлотоведения были положены работы М. И. Сумгина, А. В. Львова, Н. А. Цитовича, Н. И. Толстикова и ряда других советских ученых.

Возникновение мерзлоты обусловлено рядом причин, главная из которых — низкая среднегодовая температура воздуха в областях ее развития (ниже  $2^{\circ}\text{C}$ ). Появление мощных толщ вечномерзлых пород объясняется образованием их в ледниковые эпохи. В этом случае время сохранения мерзлоты определяется в 20—30 тыс. лет.

Границы распространения многолетней мерзлоты показаны на схематической карте, приведенной на рис. 190. Общая площадь, занятая многолетней мерзлотой в СССР, оценивается М. П. Сумгиным в 47% территории. Большие площади мерзлоты занимает также в Северной Америке, Антарктиде и в ряде других районов земного шара.

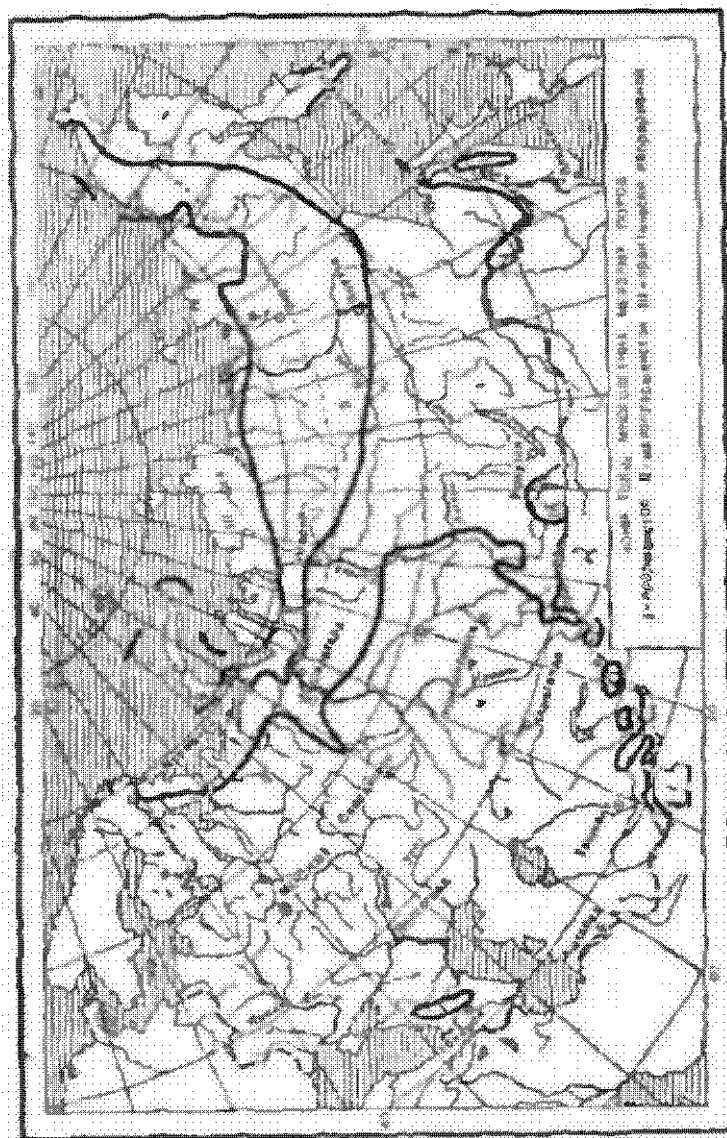


Рис. 190. Схематическая карта распространения типов вечной мерзлоты

В районах многолетней мерзлоты возведение зданий и сооружений вызывает опасность из-за опасности вследствие возможных деформаций оснований, возникающих при изменении теплового режима мерзлых пород. Необходимость широкого хозяйственного освоения восточных районов нашей страны представляет серьезные требования к изучению условий строительства на основаниях из вечной мерзлоты.

### Строение и особенности многолетней и вечной мерзлоты

В районах развитой многолетней мерзлоты верхний слой земли зимой промерзает на определенную глубину, а летом оттаивает. Он носит название деятельного слоя. Его мощность зависит от климатических условий, состава пород, характера растительного покрова и ряда других факторов. В южных районах мощность деятельного слоя достигает 3 м, а в Заполярье не превышает 0,2—0,5 м.

Под деятельным слоем могут непосредственно залежать мерзлые породы либо располагаться прослой талого грунта (талыки). В первом случае говорят о сплошной вечной мерзлоте, а во втором — о несвязывающейся вечной мерзлоте (рис. 191).

Слой вечной мерзлоты представляет собой либо монолитную массу, либо обладает слоистым строением (слоистая вечная мерзлота).

По характеру распространения в плоском отношении вечная мерзлота может быть трех типов:

- а) сплошная мерзлота;
- б) мерзлота с островками талых участков;
- в) островная мерзлота — отдельные участки мерзлых пород среди массивов талых пород.

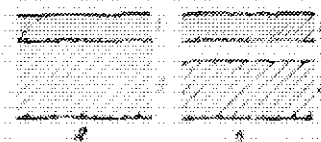


Рис. 191. Схема строения вечной (А) и несвязывающейся (Б) многолетней мерзлоты. 1 — деятельный слой, 2 — талый слой, 3 — слой многолетней мерзлоты

Мощность слоев вечной мерзлоты колеблется от одного-двух до нескольких сотен метров.

В состав вечной мерзлоты может входить лед в виде отдельных кристаллов, часто играющих роль цемента, в других случаях образуются линзы, прослои и более крупные его скопления.

Встречаются также мерзлые песчаные породы, не держащие льда, в этом случае они имеют рассыпчатый характер и носят название «сухой» вечной мерзлоты. Возможны случаи, когда вода в мерзлых глинистых грунтах находится в связанном виде и лед отсутствует. В этом случае говорят о «пластичной» мерзлоте.

В строении вечномерзлой толщи принимает участие также подземная вода, которая может образовывать три горизонта: 1) горизонт надмерзлотных вод, расположенный над слоем вечной мерзлоты; 2) межмерзлотные воды в талниках слоистой мерзлоты; 3) подмерзлотные воды, расположенные под вечной мерзлотой. Подземные воды вечной мерзлоты имеют сложный режим и играют большую роль в устойчивости оснований сооружений.

Мощность вечномерзлых толщ не постоянна, в одних случаях она может с течением времени увеличиваться, а в других — уменьшаться до полного исчезновения. В первом случае говорят о наступлении мерзлоты, а во втором — об отступлении ее. Эти изменения мощности мерзлых толщ носят названия режима мерзлоты. Характер его зависит прежде всего от изменения климата местности. Помимо этого, на режим вечной мерзлоты оказывают влияние изменения растительного покрова, гидрогеологического и гидрологического режима, а также инженерная деятельность человека.

### Процессы, связанные с многолетней мерзлотой

В областях развития мерзлоты возникают своеобразные геодинамические процессы: морозное пучение, образование наледей, развитие ледяных бугров, солякфлюкция, термокарст.

**Морозное пучение.** Это явление развивается в процессе промерзания пород. Внешне оно выражается в увеличении объема пород, возрастающего по мере развития мерзлоты. Пучение — результат действия ряда факто-

ров: появления при промерзании своеобразного гидрогеологического режима, неоднородности состава пород, неравномерности промерзания и некоторых других. Прежде всего пучение вызывается увеличением объема замерзающей воды (составляющего около 9% от ее объема). Резко увеличивает пучение подток воды к замерзающим породам. Возникновение его связано с током пленочной воды, порождаемым уменьшением толщины пленок в зоне промерзания. Этот тип миграции воды зависит от содержания глинистых частиц в составе пород. Чем их больше, тем больше пленочный ток воды. Поэтому пучение песков сравнительно невелико. Наиболее поддаются вспучиванию глины и суглинки.

По мере накопления воды в толще мерзлых пород возможно образование простоев и линз льда.

Пучение может быть причиной повреждения сооружений. Особенно страдают от него дороги, приходящие в течение одного сезона в совершенно непригодное для эксплуатации состояние.

**Наледи.** По мере промерзания в зимнее время поверхностей толщи пород уменьшается сечение талого слоя, в котором происходит движение надмерзлотных грунтовых вод. Это может вести к возникновению напора вод. В замерзающих породах время от времени возникают трещины, из которых может выбрасываться находящаяся под напором вода, разливающаяся по прилегающим участкам. Замерзая, она образует грунтовые наледи — ледяные натечные скопления. Помимо этого, наледи образуются при глубоком промерзании рек, при котором речная вода может выбрасываться на прибрежные участки. Многократные излияния речной воды ведут к образованию речных наледей, покрывающих часто большие площади, достигающие десятков квадратных километров. Мощность грунтовых и речных наледей колеблется от метров до километров.

Различают сезонные наледи, растаивающие летом, и многолетние, сохраняющиеся многие годы.

**Ледяные бугры.** В тех случаях, когда при промерзании пород вода не может пробиться на поверхность, возможно возникновение льдообразования в грунтовой толще, при этом поверхность земли приподнимается в виде бугров (рис. 192). В ядре такого бугра содержится лед. Высота бугров может достигать 10—30 м. Давление, возни-



кающее при образовании льда, вымерзает десятками атмосфер. Вследствие этого подминающиеся ледяные бутры могут вызвать значительные разрушения сооружений, расположенных на их поверхности.

**Содиффузия** — явление течения на склонах разжиженной покровной части пород (главным образом позн). Она возникает в теплые время года при оттаивании пород, порещенных влагой.

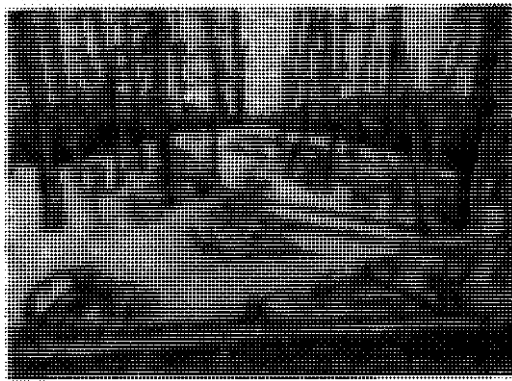


Рис. 122. Ледяной бутыр (по М. В. Гуминскому)

**Термокарст** — одна из форм пеккокарста, порождаяемая таянием ледяных прослоев и ледя в поверхностной толще пород. При этом образуются провалы поверхности. Последовательные формы термокарста приближаются к описанным ранее карстовым типам. Наиболее характерно образование воронок и провалов, в большинстве случаев заполненных водой.

#### Строительство в районах многолетней мерзлоты

Мерзлые горные породы отличаются своеобразными механическими свойствами. При непродолжительном приложении нагрузки они выдерживают давления в

десятки и сотни килограммов на квадратный сантиметр. Но при длительном воздействии давления мерзлые породы переходят в текучее состояние. Пластичность мерзлых пород, как показал Н. А. Цытович, возрастает вследствие присутствия в их составе молекулярной жидкой воды, сохраняющейся даже при низких температурах.

При оттаивании прочности мерзлых пород резко падает и достигает весьма малых значений. При этом возникают явления деформации сооружений, называемые просядкой мерзлых пород. Они напоминают описанные ранее просядки ледяных пород, отличаюсь от последних тем, что причина их возникновения — оттаивание. При просядке мерзлых толщ возможно выдвигание разжиженных пород из под фундамента. Массовые деформации сооружений потребовали разработки специальных методов строительства в районах развития мерзлых пород. В настоящее время они сводятся к трем группам мероприятий.

**Метод возведения сооружений с сохранением мерзлотного режима.** В этом случае мероприятия сводятся к длительному сохранению низких температур мерзлых оснований. Этот метод применяется при большой мощности вечномерзлых слоев, из которых возводятся те или иные типы гражданских и промышленных зданий.

**Метод предпостроечного оттаивания** применяется при небольшой мощности мерзлых слоев (до 7—9 м). Одновременно с оттаиванием предусматривается искусственное укрепление грунтов различными способами для улучшения их строительных свойств.

**Метод приспособления сооружений к неизбежным неравномерным осадкам.** Для этой цели служат различные конструктивные мероприятия, повышающие жесткость сооружений. Этот метод применим только к жестким, гравелистым грунтам и т. д.

При возведении сооружений, помимо решения сложных вопросов, связанных с механическими особенностями мерзлых пород, приходится предусматривать мероприятия по борьбе с теми или иными явлениями, развитыми в областях распространения вечной мерзлоты. Особенно большое значение при решении вопросов проектирования и строительства имеют инженерно-геологические изыскания, которые должны установить: а) строение толщ вечной мерзлоты и соотношение ее с деятельным слоем;

б) свойства веждомерзлых пород; в) режим действительного сплош вечног мерзлоты; г) гидрогеологические характеристики района; д) выявить характер физико-геологических явлений, развитых в районе строительства.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

### ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### Горные породы как строительные материалы

Горные породы — источник получения естественных строительных материалов и сырья для производства различных искусственных строительных материалов. Используемые для этой цели породы называются полезными ископаемыми.

Участки, на которых имеются естественные скопления полезных ископаемых, носят название месторождений.

Естественными строительными материалами называются различные горные породы, применяемые в строительстве после определенной механической обработки. Наиболее часто для получения строительных материалов используются следующие типы пород:

а) магматические интрузивные — граниты, диориты, сиениты, габбро;

б) магматические эффузивные — лапариты, кварцевые порфиры, порфириты, трахиты, андезиты, диабазы, базальты, пемза;

в) осадочные — песчанники, конгломераты, известняки, доломиты, опоки, пески, гравий, щебень;

г) метаморфические — мраморы, гнейсы, кварциты, амфиболиты, филлиты.

Из перечисленных пород изготавливают следующие различные виды естественных строительных материалов:

1. Штучный камень — к которому относятся облицовочные плиты, ступени, стеновой, футеровочный (для ме-



Рис. 193 Штучный камень из известняков (железистых)

таллургических печей) и дорожный (бордюрный, шапка, брусчатка) камень, кровельная плитка. Штучный камень отличается правильной формой и изготавливается либо путем распиловки, либо путем обтесывания горных пород (рис. 193).

2 Рваный камень — бутовый, булыжник, щебень и т. д.

3 Мелкие обломочные материалы — песок, гравия, хриш и др. Эти материалы используются для дорожных насыпей как составная часть бетона, для балластирования, устройства дренажей и многих других целей.

Для оценки пригодности горных пород как естественных строительных материалов необходимо знать следующие их особенности и свойства.

Минералогический состав оказывает большое влияние на качество материалов. Как отрицательные примеси в естественных строительных материалах может выступать ряд минералов.

Пирит обладает способностью быстро выветриваться на воздухе с образованием серной кислоты и бурого железняка, что портит полированные поверхности облицовочных плит и снижает прочность материалов.

Кварц и кремнистые стяжения, встречающиеся в известняках и мраморах, затрудняют их выломку и

обработку (шлифовку и полировку). Отличаясь высокой стойкостью по отношению к выветриванию, эти минералы выступают на поверхности пород в виде некрасивых выпуклых включений. Кроме того, в местах их скопления могут появляться трещины.

Слюда при определенном содержании снижает прочность пород и их сопротивление выветриванию. В гранитах, сиенитах, липаритах и других породах она способна снижать прочность только при скоплениях, превышающих 11—13%. В мраморах и известняках слюда снижает прочность и сопротивление выветриванию уже при небольшом содержании (свыше 2—3%). Влияние слюды особенно возрастает при расположении ее в породе в виде полос. (Например, слюда отрицательно влияет на прочность гнейсов.)

Тремолит легко вымывается водой. Часто встречается в мраморе. В этом случае порода приобретает повышенную способность к раскалыванию по зернам этого минерала.

Глинистые минералы могут встречаться в известняках, песчаниках, выветрелых магматических породах. Они снижают прочность и повышают размягченность пород при действии воды.

Минералы-новообразования, возникающие при выветривании, — серицит, хлорит, лимонит и другие — резко снижают прочность пород, а также ухудшают внешний вид материала.

Трещиноватость — важная особенность горных пород. Она оказывает отрицательное влияние на прочность естественных строительных материалов. Но иногда трещины способствуют более легкой разработке каменного материала. В случае сильной трещиноватости применимость горных пород в качестве штучного камня ограничена. Трещины служат тем путем, по которому развиваются в глубь пород процессы выветривания, снижающие качество строительного камня.

Структура пород в определенной степени отражает способность их к выветриванию. При прочих равных условиях менее поддаются выветриванию мелкозернистые и равномернозернистые породы.

Большое значение имеют физико-технические свойства пород, характеризующие строительные качества материала:

1. Объемный вес и пористость пород определяют вес получаемых материалов, а также дают возможность судить о морозостойкости, звукопроводимости и воздухопроводимости материалов. По объемному весу все материалы делятся на тяжелые, с объемным весом больше 1800 кг/м<sup>3</sup>, и легкие, с меньшим объемным весом.

2. Механическая прочность характеризуется временным сопротивлением сжатию. В отдельных случаях определяют сопротивление изгибу или разрыву естественных строительных материалов. По величине предела прочности на сжатие все каменные материалы делятся на марки: для обыкновенных — 100, 150, 200, 300 и т. д., а для легких материалов — 4, 7, 10, 15, 25, 30, 50, 70, 75.

3. Морозостойкость — способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и без значительного снижения прочности. При удовлетворительной морозостойкости коэффициент размягчения их больше 0,8. Все естественные строительные материалы по морозостойкости делятся на группы по количеству выдержанных циклов: 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200.

4. Истираемость пород характеризуется уменьшением веса или объема, происходящего при трении их о другой материал. Это свойство имеет значение для некоторых видов материалов (дорожных, для полов, ступеней и т. д.).

5. Вязкость материалов проверяется по величине сопротивления удару.

6. Водопоглощение — способность материала впитывать и удерживать воду. Различают объемное и весовое поглощение. Величина весового поглощения равна:

$$B_{\text{вес}} = \frac{g_2 - g_1}{g_1} \cdot 100 \%,$$

где  $B_{\text{вес}}$  — величина весового водопоглощения, %;

$g_1$  — вес материала в сухом состоянии;

$g_2$  — вес материала в насыщенном водой состоянии.

Водопоглощение понижает прочность и морозостойкость пород.

Помимо перечисленных главных свойств, иногда устанавливаются некоторые специальные характеристики: теплопроводность, огнестойкость, коррозионная стойкость, газопроницаемость и др. В качестве примера приведем некоторые требования промышленности к отдельным видам естественных строительных материалов.

Стеновой камень в большинстве случаев изготавливается из известняков, вулканических туфов и некоторых других пород, поддающихся легкой обработке и достаточно пористых. Стеновой камень из вулканических туфов должен иметь размеры от  $250 \times 215$  до  $380 \times 390$  мм. Объемный вес не более 1,24. Временное сопротивление сжатию  $60 \text{ кг/см}^2$ . Водопоглощение не более 50% по весу. По морозостойкости туфы должны выдерживать не менее 15 циклов замораживания.

Стеновой камень из известняка-ракушечника должен обладать объемным весом в пределах от 0,9 до 1,8. Весовое водопоглощение его не должно превышать 30%. Морозостойкость его не менее 10 циклов замораживания. Из ракушечника изготавливают блоки размером  $390 \times 190 \times 190$  и  $490 \times 240 \times 190$ . Марка стенового камня (или его прочность) из этих пород колеблется от 4 до  $50 \text{ кг/см}^2$ .

Мраморные облицовочные блоки изготавливаются размером не менее  $0,3 \text{ м}^3$  при минимальной толщине 0,35 см. Механическая прочность их не регламентируется. Предъявляется требование к способности материала принимать зеркальную полировку. Мраморы должны иметь минимальную пористость ( $n < 1,5\%$ ).

Щебень для бетонов имеет размеры от 5 до 150 мм. Прочность его должна быть в два раза выше марки бетона. Водонасыщение щебня допускается не более 3—5%. Коэффициент размягчения не менее 0,8 и т. д.

Кровельная планка из фидрита изготавливается размером  $120 \times 180$  мм при толщине от 4 до 9 мм. Она должна выдерживать не менее 25 циклов замораживания. Содержание шпирита допускается не более 4%.

Бутовый камень имеет неправильную форму и получается главным образом из песчаников, известняков и доломитов.

Горные породы широко используются также в качестве основного сырья для получения многих искусственных строительных материалов. В отличие от рассмотренных естественных строительных материалов горные по-

роды, применяющиеся как сырье для промышленности стройматериалов, подвергаются разнообразной механической, термической и химической переработке, в результате которой образуются новые искусственные материалы. Так, одним из важнейших вяжущих материалов является портландцемент, получаемый путем тонкого измельчения обожженной до спекания минеральной смеси (клинкера). Для производства цементного клинкера из горных пород составляется шихта, обогащенная необходимыми для производства цемента компонентами  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В состав шихты должны входить карбонатные (известняки, мел, мергели) и глинистые породы. Отрицательные примеси — окись магния, соединения фосфора, серы и щелочи. В минералогическом отношении вредными примесями являются фосфориты, апатит, полевые шпаты, слюды, гипс, пирит.

Породы, подбираемые для шихты, должны легко разбиваться. Химический состав исходной смеси пород должен удовлетворять определенным значениям коэффициента насыщения, силикатного и глиноземного модуля. Они представляют собой следующие показатели:

а) коэффициент насыщения

$$K_{II} = \frac{\text{CaO} - 0,65 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,25 \text{SO}_3}{2,8 \text{SiO}_2},$$

его величина должна быть от 0,80 до 0,92

б) силикатный модуль

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3},$$

значения его от 1,7 до 3,5;

в) глиноземный модуль  $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ , его значения долж-

ны быть в пределах от 1,0 до 2,5.

Воздушная строительная известь — одна из самых распространенных местных вяжущих. Она получается обжигом (при  $t = 1000^\circ\text{C} - 1200^\circ\text{C}$ ) известняков, доломита или мела.

Главное условие при выборе пород для обжига — содержание в их составе не более 8%, глинистых примесей. Известь, помимо применения в качестве вяжущего, идет также для производства силикатного кирпича и силикатита.

Керамические материалы (кирпич, черепица, облицовочная керамика и т. д.) изготавливаются из глинистых пород путем их формования, сушки и обжига. В качестве сырья используют легкоплавкие глины с температурой плавления ниже  $1350^{\circ}\text{C}$ .

В качестве сырья для производства различных строительных материалов, помимо перечисленных горных пород, применяют бокситы, пемзу, трассы, диатомиты, трепел, опоку, пуццоланы, гипс, ангидрит, магнезит, доломит и некоторые другие породы.

Особенно широко используются пески для получения разных силикатных изделий, а также как минеральная составляющая различных строительных растворов и бетонов. Для песков, применяемых в различных материалах, устанавливаются определенные требования. Так, песок для бетонов должен иметь крупность от 0,3 до 5 мм. Содержание фракции менее 0,05 мм допускается не выше 2,5%. Для штукатурных растворов применяются пески с размером зерен от 1,2 до 0,15 мм. При производстве силикатного кирпича годится песок с крупностью зерен от 0,09 до 5 мм.

Вредными примесями в строительных песках являются пирит, гипс, слюда, уголь, торф, а также пылеватые и глинистые частицы. Содержание слюды в песках для обычных бетонов не должно превышать 0,5%, а пирита и гипса — не более 1%.

#### Способы разработки месторождений

Способы разработки месторождений определяются главным образом петрографическим типом, глубиной залегания и формой тела полезных ископаемых.

Месторождение полезных ископаемых может выходить непосредственно на поверхность или быть закрытым толщей каких-либо отложений, называемых в горном деле пустыми породами. В зависимости от глубины залегания полезных ископаемых их разработка осуществляется двумя методами: подземными или открытыми горными работами. В некоторых случаях полезные ископаемые выходят на дне рек, озер, морей. В таком случае ведется подводная разработка их.

Наиболее распространенная форма разработки горных пород для строительных целей — открытая, при ко-

торой упрощается организация добычи, максимально расширяется фронт работ, удешевляется стоимость продукции. Открытая разработка ведется в карьерах, представляющих собой систему открытых выработок, снабженных горнодобывающими механизмами и транспортными средствами.

В зависимости от типа полезных ископаемых выделяют следующие главные виды карьеров: каменные (ломки), песчано-гравийные, глиняные.



Рис. 194. Схема карьерной разработки строительных материалов:

1 — вскрыша, 2 — уступы полезных ископаемых, 3 — отвал

Для добычи полезного ископаемого в карьерах приходится предварительно снимать пустые породы. Этот процесс называется вскрышей. Соотношение объема вскрыши к объему полезного ископаемого носит название горного коэффициента. Он в определенной степени характеризует рентабельность разработки месторождения открытым способом.

Очертания карьера в плане зависят от глубины и формы залегания полезного ископаемого, а также характера рельефа. При разработке вскрыши и полезного ископаемого они разбиваются на ряд горизонтальных слоев, разделенных наклонными участками. Каждый такой слой носит название уступа. Высота уступов зависит от состава пород и применяемых методов разработки. Для каменных карьеров она колеблется от 8 до 27 м, а для рыхлых пород в зависимости от устойчивости откоса и метода разработки — от 3 до 8 м. Схема карьера приведена на рис. 194.

Выбор методов производства горных работ для вскрыши и добычи полезных ископаемых определяется типом пород, требованиями к добываемым строительным материалам, рельефом участка, экономикой и рядом других факторов. Наиболее часто применяются буро-взрыв-

ные способы, механическая разработка (экскаваторами, скреперами, бульдозерами), гидромеханическая (размывом пород), плавучие механические снаряды (землечерпалки).

Полученный после разработки материал в зависимости от назначения подвергают дополнительной обработке: дроблению, сортировке и обогащению. Последняя операция представляет собой процесс очистки добытого материала от вредных составляющих. Так, при обогащении песка и гравия удаляют пылеватые и глинистые примеси.

### Понятие о проектировании карьеров

При проектировании карьеров решают следующие задачи:

1. Выбирают правильное расположение карьера, обеспечивающее необходимый фронт работ.
2. Устанавливают его плановые очертания и формы поперечных разрезов на разных стадиях разработки месторождения.
3. Назначают технологическую схему добычи полезного ископаемого и выявляют комплекс необходимого для этой цели оборудования.
4. Выбирают вид транспорта для полезного ископаемого и пустых пород.
5. Составляют проект организации работ по вскрыше, добыче и дальнейшей переработке полезных ископаемых.
6. Устанавливают потребности в электроэнергии, воде, паре, газе и проектируют соответствующие сети.
7. Выявляют необходимое количество подсобных и складских помещений и проектируют их расположение.
8. Составляют схему карьера и рассчитывают стоимость получаемых материалов.

Проектирование карьеров ведут по определенным стадиям. Во многих случаях проектированию предшествуют поисковые работы, цель которых — обнаружить и дать общую характеристику полезных ископаемых какого-либо района. Проектирование начинают с составления планового задания, в котором содержатся предварительные данные о размещении карьера, требования к качеству материала, необходимой производительности, условиям работы карьера, условиям транспорта продукции и т. д. На этой стадии дается техническое задание на различные работы.

После составления планового задания проводят гео-



логоразведочные работы, после окончания которых составляют проектное задание, содержащее все основные характеристики карьера, генеральный план, технологические процессы обработки полезного ископаемого после его извлечения, калькуляцию себестоимости продукции, смету по укрупненным измерителям и т. д. После составления проектного задания для крупных карьеров могут выполняться некоторые дополнительные геологоразведочные изыскания и лабораторные исследования.

Окончательный этап — техно-рабочее проектирование, в процессе которого прорабатывают все детали карьерного хозяйства и составляют полную смету. Таким образом, проектирование карьеров ведется по трем (или двум) стадиям: планового задания, проектного задания и техно-рабочего проекта.

Для обоснования проекта карьера проводят геологические разведки месторождений. Важнейшие работы, выполняемые в процессе разведки, — геологическое картирование и разведочные работы.

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ

### Общие представления о геологическом картировании

Геологическая карта представляет собой проекцию на горизонтальную плоскость выходов различных по возрасту и составу пластов. Соответствующие геологические комплексы наносят на обычные топографические карты и выделяют определенными условными обозначениями.

Карты по характеру отражаемых комплексов делятся на следующие типы:

геологические, на которые наносят выходы пластов различного возраста;

литологические, отражающие выход на поверхность пластов разного петрографического типа (песков, глин, сланцев, гранитов и т. д.);

геолого-литологические, дающие представление о возрасте и составе пород, слагающих поверхность.

При построении геологических карт четвертичные отложения, как правило, не наносятся, так как они маски-

руют коренные породы. Четвертичные осадки сохраняются лишь в речных долинах и на некоторых участках.

Четвертичные породы, слагающие поверхность, наносятся на карты четвертичных отложений.

Помимо перечисленных типов карт для различных целей составляются так называемые специальные карты. Примером их могут служить карты строительных материалов, дающие представление о распространении на поверхности горных пород, пригодных для использования в качестве естественных строительных материалов и сырья для промышленности строительных материалов;

инженерно-геологические карты, отражающие геологические условия возведения сооружений; гидрогеологические карты, дающие представление о характере залегания подземных вод.

Карты различают по масштабу. По этому признаку выделяют следующие их типы:

1) мелкомасштабные, или обзорные государственные карты, масштаб меньше 1:2500000;

2) обзорные карты — республиканские и краевые — масштаба 1:1000000;

3) крупномасштабные карты: 1:200000, 1:100000 и 1:50000;

4) детальные (гидрогеологические, инженерно-геологические, карты месторождений полезных ископаемых и др.), масштаб которых: 1:25000, 1:10000, 1:5000, 1:1000, 1:500 и даже 1:250.

На всех геологических картах для выделения пород по возрасту и составу употребляют определенные условные обозначения (рис. 195).

Возраст пород обозначают определенным цветом и условными буквенными обозначениями — индексами (табл. 26).

Таблица 26

Наиболее распространенные условные цвета и индексы

Эры и периоды	Цвет на геологических картах	Индекс
<i>Кайнозойская эра</i>		
Четвертичный	Светлый серовато-зеленый	Q
Третичный	Желтый	Tr
Неогеновый	Светло-желтый	N
Палеогеновый	Оранжевый	Pg
<i>Мезозойская эра</i>		
Меловой	Зеленый	Cr
Юрский	Синий	J
Триасовый	Светло-лиловый	T
<i>Палеозойская эра</i>		
Пермский	Коричнево-красный	P
Каменноугольный	Серый	C
Девонский	Коричневый	D
Силурийский	Зеленовато-коричневый	S
Ордовичский	Фиолетовый	O
Кембрийский	Лимовый	Сп
<i>Протерозойская эра</i>	Розовый	Pg
<i>Архейская эра</i>	Розовый	Ar

Для получения детальных данных о геологическом строении местности по какой-либо линии строит геологический разрез, который в отличие от карты представляет собой проекцию границ напластований на вертикальную плоскость. Геологические разрезы могут строиться как по данным полевых наблюдений, так и по геологической карте.

Геологическая карта строится на основании данных, полученных при геологической съемке территории.

#### Геологические съемки

Под геологической съемкой понимается комплекс полевых работ, имеющих целью составление гео-

логических карт и разрезов. При геологических съемках выполняются следующие полевые исследования:

- а) рекогносцировочный осмотр территории съемки;
- б) изучение и описание естественных обнажений;
- в) разведочные работы и их документация для характеристики участков, бедных естественными обнажениями;

г) отбор проб;

д) нанесение на карту объектов геологических наблюдений или их топографическая привязка.

Все полевые исследования и наблюдения вносят в полевые книжки и дневники, которые наряду с картой служат главными документами геологического картирования. Помимо этого, при съемочных работах отбирают образцы и пробы пород; а также выполняют зарисовки и фотографирование различных геологических объектов.

Одни из главных объектов изучения при съемках — естественные обнажения, к которым относятся стенки оврагов, крутые склоны балок, уступы речных террас, промоины и прочие природные углубления и выступы рельефа. Каждое естественное обнажение наносят на карту, нумеруют, детально описывают и зарисовывают. Иногда обнажения фотографируют. Из обнажений отбирают образцы и пробы пород. Особенно тщательно при изучении обнажений определяют элементы залегания пластов (углы падения, простирание), а также их мощность.

**Пример простейшего описания естественного обнажения, заносимого в дневник геологической съемки**

#### Обнажение № 42

Местонахождение: правый берег балки Большой (устьевая часть).

Отметка поверхности: +64,85.

1. Червозем обыкновенный, суглинистый, сухой, с корнями растений. Мощность 0,8 м.

2. Суглинок, желто-бурый, лёссовидный, слабоблажный, содержит редкие корнеходы (образец 42 а). Мощность 4,9 м.

3. Известняк-ракушечник, кавернозный, каверны в верхней части не заполнены, а в нижней части видимого слоя заполнены глинистым материалом. В толще известняков развиты трещины, ориентированные под углом 30° к напластованию. Слой известняка залегает горизонтально. Книзу слой известняка приобретает более темную окраску (серовато-желтую). Видимая мощность 2,1 м.

Ниже склон прикрыт делювием.

Все слои залегают горизонтально.

Описание обнажений сопровождают четкими и ясными зарисовками, выполненными в масштабе 1:20—1:50. Каждая зарисовка должна быть ориентирована на местности. На рис. 196 дано описанное обнажение.

На участках, бедных естественными обнажениями, проводят разведочные работы (шурфование, бурение и т. д.), которые также тщательно документируют.

Методика геологической съемки зависит от ряда факторов, из которых главное значение имеют масштаб съемки, степень обнаженности территории, назначение съемок.

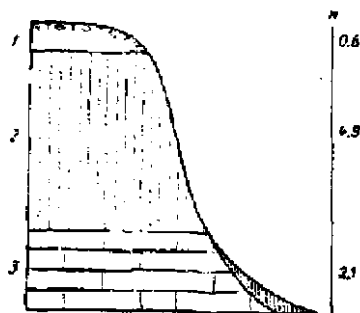


Рис. 196. Зарисовка естественного обнажения

Наиболее распространенные методы крупномасштабных съемок следующие.

**Изучение и оконтуривание отдельных обнажений.** В этом случае карта строится по результатам детального изучения отдельных обнажений. Этот метод применяют при плохой обнаженности района.

**Маршрутная съемка.** Заключается в описании естественных и искусственных обнажений по определенным, заранее намеченным маршрутам. Этот вид съемки особенно необходим для районов, имеющих хорошую обнаженность коренных пород. Маршруты назначают, как правило, вкрест простирания пород.

**Метод прослеживания пластов.** Он заключается в выборе какого-либо пласта (или группы пластов) и прослеживании его выходов с нанесением на полескую карту на возможно большем расстоянии. Этот метод применяют только при хорошей обнаженности территории.

**Съемка профилями.** Заключается в построении разрезов по естественным обнажениям и выработкам на заранее намеченных профилях. Этот вид съемки часто применяется для составления геологических карт полезных ископаемых, залегающих горизонтально или со слабым наклоном.

Площадная съемка, при которой картируется вся изучаемая площадь. Для каждого масштаба съемки необходимо определенное количество точек наблюдений. Если их оказывается меньше чем это требуется, то геологические съемки не соответствуют по детальности выбранному масштабу. П. В. Вейнерман выявил следующую зависимость густоты точек при детальной геологической съемке от разных масштабов.

	1:1000	1:5000	1:10000	1:25000
Площадь клетки, освещаемая одной точкой-обнажением, м <sup>2</sup>	800	10000	20000	125000
Минимальное количество точек-обнажений для освещения 1 км <sup>2</sup> площади	1250	100	25	7
Дополнительное количество точек-обнажений, необходимое для детализации 1 км <sup>2</sup> площади	300—500	30—50	10—20	3—5

При полевых съемках для составления гидрогеологических и инженерно-геологических карт, помимо общегеологических наблюдений, проводят специальные обследования.

При гидрогеологической съемке тщательно изучают и документируют все выходы подземных вод (источники, колодцы, ключи и т. д.), устанавливают минерализацию воды, выявляют все водопроявления на участках съемки, выясняют наличие взпорных и менапорных подземных вод и т. д.

При инженерно-геологическом картировании исследуют и документируют физико-геологические явления и инженерно-геологические процессы, развитые в районе, исследуют физические и механические свойства пород, изучают явления деформации ранее возведенных зданий и сооружений и т. д.

Для составления специальных карт строительных материалов применяется ряд методов, из которых распространен метод С. Ф. Малявкина, когда картируют горные породы — строительные материалы, за-

легающие на глубине 4 м, при этом материалы в зоне выше 4 м отбрасываются. Недостаток этого метода — отсутствие учета материала из четвертичных пород.

Очень удачна раздельная съемка четвертичных и коренных пород. При этом дается детальная петрографическая характеристика первой и второй группы пород. Пример подобных съемок — карты, составленные в 1938 г. Н. П. Малуковым для европейской части СССР.

#### Некоторые понятия о построении геологических карт и разрезов

В результате обработки полевых съемочных материалов составляют геологическую карту. Главная задача, стоящая перед геологом, — проведение на карте граничных линий выходов пластов на горизонтальную поверхность. При построении их используют полевые данные о характере залегания пластов в обнажениях, анализ общих геологических условий района, а также определенные правила построения проекций. Часто геологу приходится по отдельным разрозненным обнажениям восстанавливать истинное положение выходов коренных пород на участках, скрытых от его взора толщами четвертичных отложений. Если пласты залегают горизонтально, то на карте их граничные линии будут параллельны горизонталям (рис. 197, А).

Граничные линии пластов, имеющих угол падения 90° (т. е. вертикально падающих), будут представлены прямыми линиями, пересекающими карту в направлении простирания пластов (рис. 197, Б).

Наконец, если на поверхность земли выходят наклонно падающие пласты (моноклинальные залегания), то их выходы будут образовывать криволинейные линии, находящиеся под разными углами к горизонталям (рис. 197, В). Получающиеся граничные линии будут пересекать горизонтали. На участках пониженного рельефа они будут отклоняться в направлении падения пород, а на возвышениях — в направлении, противоположном падению. Чем больше угол падения пород, тем меньше граничные линии отклоняются от прямой.

По геологической карте с горизонталями можно легко определить элементы залегания наклонно падающих

пластов, их мощности и рассчитать глубину залегания в любой точке местности.

Складчатые дислокации пластов на карте образуют сложный рисунок, зависящий от степени расчлененности рельефа. Возможно образование нескольких изолированных участков либо одного сложного зигзагообраз-

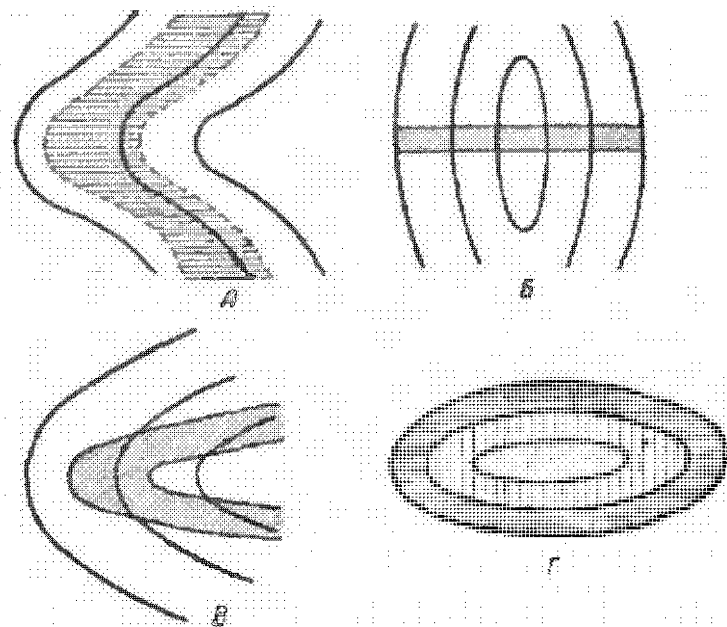


Рис. 197. Изображение на карте выходов пластов: А — горы складчатые; Б — горные складчатые; В — антиклиналь; Г — выход на поверхность синклиналь.

ного выхода. Синклинали и антиклинали образуют на плоской поверхности замкнутые эллипсовидные выходы (рис. 197, Г).

Геологические разрезы, имеющие большое значение при проектировании карьеров, могут строиться либо по основаниям полевых данных («наблюденные»), либо по геологическим картам («построенные»). Для составления разрезов выбираются направления, идущие вкось

простирая (перпендикулярно). Наблюденные разрезы могут строиться как по обнажениям, так и по результатам бурения и шурфования (рис. 198). По геологическим

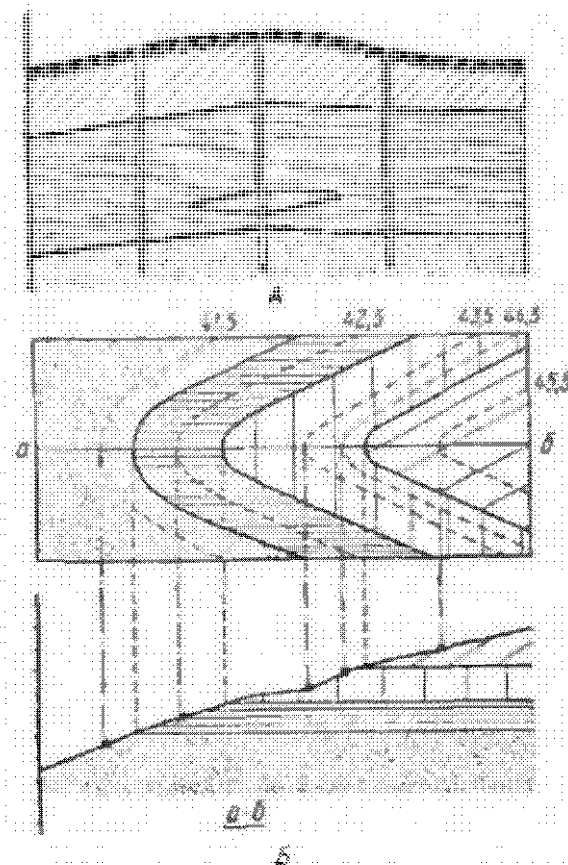


Рис. 198. Геологические разрезы: А — по бурению скважины («наблюденный»); Б — по карте («построенный»).

картам, включая горизонталь, построение разрезов не представляет особого труда. При горизонтальном залегании пластов их границы линии совпадают с горизонтальными.

Построение разреза начинается с выбора его масштаба. В большинстве случаев горизонтальный масштаб берется тот, который имеет геологическая карта, а вертикальный масштаб соответственно принимается крупнее в 2—10 и даже 20 раз.

Далее построение разреза по геологической карте имеет следующую последовательность (рис. 198).

1. По топографическим правилам строят профиль поверхности по заданной линии.

2. Под полученной профильной линией в соответствии с положением граничных линий выходов пластов проводят горизонтальные поверхности слоев. Затем виды пород обозначают принятыми условными обозначениями.

Несколько усложняется построение разреза при наклонном (моноклиналиином) залегании пласта. В этом случае построение геологического разреза такое же, как и при горизонтальном залегании, но пластам дается уклон, равный углу падения. Величину его находят по геологической карте с горизонталями.

Рис. 199. Определение угла падения наклонных пластов по геологической карте с горизонталями

Можно видеть, что если на рис. 199 на линии, соответствующей кровле пласта, найти точки пересечения с горизонталями 30 (точки  $a$  и  $a'$ ), затем с горизонталью 20 (точки  $b$  и  $b'$ ), то полученные линии  $a-a'$  и  $b-b'$  будут представлять собой линии простирания, проведенные в плоскости пласта на отметках 20 и 30. Если измерить по масштабу расстояние между этими линиями ( $k_1 - k_2$ ), представляющее собой проекцию действительного расстояния между ними, а также установить разность отметок точек  $k_1 - k_2 = H$ , тогда (см. рис. 199)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k_1 - k_2}{H} = \frac{H}{l}$$

Во взятом примере:  $l=76$ , а  $H=30-20=10$ , отсюда  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{10}{76} = 0,13$ , угол  $\alpha \approx 8^\circ$ . Угол падения может быть

также найден графически, как это показано на рис. 199.

Зная величину угла падения, можно легко построить геологический разрез моноклиналииной залегающей группы пластов и определить их действительную мощность.

Если на участке есть те или иные формы дислокаций, то разрез строится на основе анализа тектонического строения района.

## РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

### Разведочные выработки

При разведке месторождений, геологической съемке, инженерно-геологических исследованиях строительных площадок и в других случаях для выявления характера геологического строения участков выполняют разведочные работы. Среди них главное значение имеет проходка различных типов разведочных выработок.

Разведочные выработки проходятся путем проведения горных работ. Наиболее широко применяют расчистки, копуши, шурфы, канавы, штольни, шурфы с квершлагами, буровые скважины.

Скорость горнопроходческих работ и способы их ведения в значительной степени определяются требуемой глубиной выработки и составом пород.

Рассмотрим главные типы разведочных выработок.

**Копуши (закопушки)** — мелкие поверхностные вертикальные выработки сечением  $0,4 \times 0,4$  или  $0,4 \times 0,6$  м. Их глубина не превышает 0,8 м. Копуши применяют при малой мощности рыхлых покровных пород.

Расчистки служат для снятия рыхлого дежюви и выветрелых частей пород с наклонных поверхностей естественных обнажений (например, стенок оврагов). Для сокращения объемов работ они устраиваются уступами (рис. 200, Б).

**Канавы и траншеи** — выработки шириной до 0,8 м и глубиной до 3 м (рис. 200, А). Проходятся вручную или с помощью экскаватора. В зависимости от глубины и состава пород стенкам канавы придают тот

или иной откос. В процессе проходки канав их описывают и зарисовывают в специальных журналах и указывают места отбора проб и образцов.

Шурфы представляют собой вертикальные разведочные выработки. Форма их поперечного сечения квадратная или прямоугольная. Площадь сечения до 2 м<sup>2</sup>.

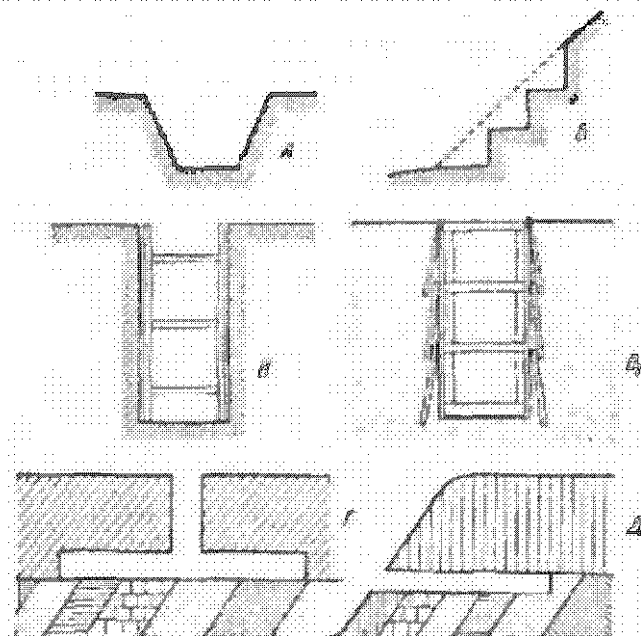


Рис. 200. Горные выработки: А — канавы; Б — расчистка; В — с распорками крепления; В<sub>1</sub> — забойное крепление; Г — шурф с креплением; Д — шторм

(1,25×1,0, 1,5×1,0, 1,6×1,25 м). Иногда применяют шурфы с круглым сечением, называемые дудками. Диаметр дудок принимается равным 0,9 м. Глубина шурфа может достигать 30 м и более, на практике шурфы в большинстве случаев доводят до глубины 10—15 м.

В сыпучих и слабых глинистых породах проходка шурфов осуществляется с креплением стенок. Наиболее простой способ крепления — распорный, при кото-

ром стенки укрепляются досками, удерживаемыми системой распорок (рис. 200, В). В сухих сыпучих породах устраивают забойное крепление, при котором грунт укрепляют крепью, состоящей из досок, забиваемых по внешнему периметру специальных рам.

Наконец в некоторых случаях при необходимости длительной службы шурфа устанавливают срубное крепление из пластин либо круглого леса.

При проходке шурфов ведется шурфовый журнал, в котором детально записывают данные о вскрываемых

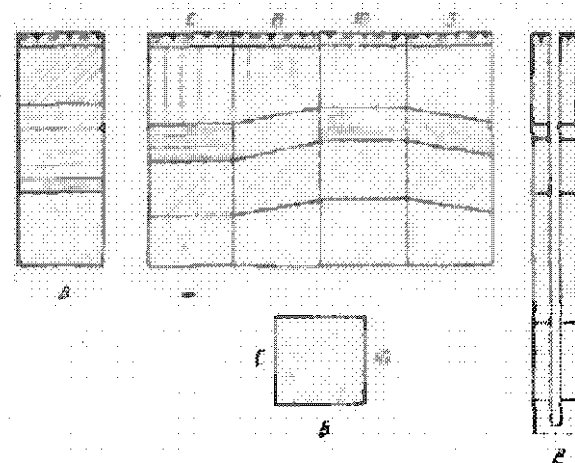


Рис. 201. Геологические разрезы и планы горных выработок: А — разрез; Б — разрез шурфа; В — буровая колонна; Г, В, Ю, З — стенки шурфа

породах, условиях их залегания, появлении грунтовых вод и т. д. Помимо этого, зарисовывают разрез шурфа, на который наносят строение одной стенки. При неоднородном генетическом строении разных стенок шурфа строится его развертка (рис. 201). Шурфы позволяют детально изучать особенности строения и залегания горных пород. Они дают возможность получать качественные образцы пород-монолитов (сохраняющих естественную структуру).

Отрицательные стороны шурфования — сравнительно высокая стоимость работ, трудность проходки шурфов



в условиях притока грунтовых вод и сравнительно больших затрат времени.

В настоящее время для проходки неглубоких буровых диаметром до 2000 мм стали применять специальные виды механического бурения (шнековое, роторное и др.), которые позволяют значительно ускорить производство работ.

Шурфы с кавершлагами представляют собой комбинацию шурфа с квершлагом — подземной горизонтальной выработкой, направленной вкось простирания пород и выходящей в шурфе (рис. 200). Они применяются при условии значительной толщи пустых пород, прикрывающих моноклинально залегающие пласты полезного ископаемого.

Штольня представляет собой горизонтальные разведочные выработки, имеющие один выход на поверхность. Они прокладываются на склонах в глубь массива (рис. 200). Их целесообразно применять при наличии значительной толщи пустых пород, прикрывающих круто падающие пласты полезных ископаемых. Штольней прикрывается трапециевидное сечение высотой 1,5—1,8 м. При этом нижнее основание берется равным 1,3—1,5 м, а верхнее — 0,8 м. Стенки штольни, как правило, крепятся.

### Бурение

Один из главных видов разведочных работ — бурение, которое заключается в проходке в толще земной коры круглых вертикальных или наклонных выработок малого диаметра, называемых буровыми скважинами. Верхняя часть скважины имеет уширение — устье, а дно — забой.

В зависимости от способа работ различают бурение ударное, ударно-вращательное, вращательное и вибрационное.

При ударном бурении скважина разрабатывается ударами по забою, производимыми с помощью специальных инструментов — долот.

Ударно-вращательное бурение широко применяется при инженерно-геологических изысканиях и представляет собой комбинированную разработку скважины ударами и вращением.

Вращательное бурение наиболее распространено. При нем режущий инструмент разрабатывает грунт вращением с постепенным перемещением в глубину пород.

Вибрационное бурение позволяет погружать в грунт буровой инструмент при помощи специального механизма — вибратора.

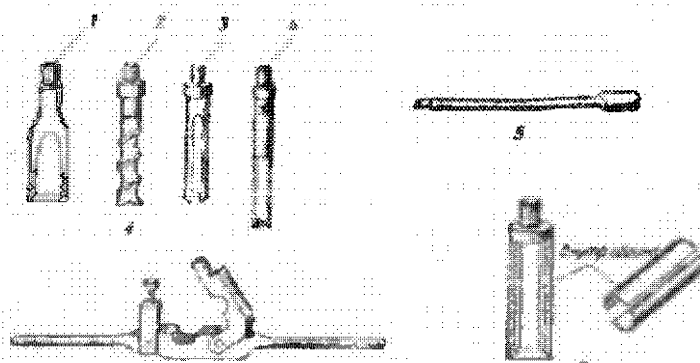


Рис. 201. Инструмент для бурения: 1 — насаждение; 2 — долото; 3 — буровая ложка; 4 — шнек; 5 — шнек с муфтой; 6 — жембе; 7 — грунтосос.

Бурение может быть ручным и механическим.

Ручное бурение применяется для проходки скважин глубиной до 50—100 м. Набор инструментов, употребляемых при ручном бурении (буровой комплект), следующий: *буровой наконечник*, представляющий собой набор инструмента для непосредственной разработки скважины. Главные типы наконечников (рис. 202): *долото*, применяемое для разработки ударами твердых пород; *буровая ложка* — для бурения в суглинках, супесях и других мягких породах; *жембе*, употребляемый при проходке пластичных пород, а также суглинков, содержащих гравийные включения; *шнек*, используемый для проходки в лессовых породах и разжиженных пылевато-глинистых породах. Для того чтобы всякий грунт можно было извлекать на

поверхность, желонки на конце снабжаются специальными клапанами.

Наконечники укрепляют на металлических *штангах*, представляющих собой стальные трубы диаметром 33—48 мм. Длина штанги различна — от 1 до 3,5 м. По мере углубления скважин штанги наращивают, соединяя

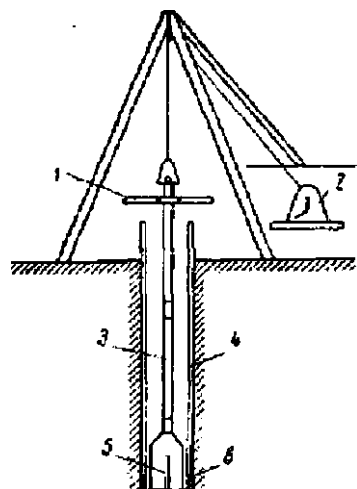


Рис. 203. Схема ручного ударно-вращательного бурения:

1 — жимок, 2 — лебедка, 3 — штанга, 4 — обсадная труба, 5 — бур наконечник, 6 — башмак

при помощи муфт. Вращение штанг и буровых наконечников осуществляется при помощи *хомутов* (жимков) специальных *ключей*, захватывающих штанги.

Для закрепления стенок скважин применяют *обсадные трубы*. На конце они снабжены специальными *башмаками*, имеющими несколько больший диаметр, чем трубы. Они снабжаются режущими зубьями, что облегчает погружение обсадных труб в породы.

В качестве вспомогательного инструмента применяют различные приспособления: деревянные *хомуты* для погружения обсадных труб, подкладные *вилки*, *задерживающие* и *разъединяющие* и т. д.

Отбор проб с ненарушенной структурой проводится при помощи специальных *грунтоносов*; схема одной из конструкций *грунтоносов* приведена на рис. 202.

На рис. 203 показана схема ручного ударно-вращательного бурения. Для удобства поднятия и опускания колонны штанг в скважину применяют буровые треноги или вышки, а также лебедки разных типов. Ручное ударно-вращательное бурение может быть различных диаметров: 3", 4,5", 6", 8", 10" и 12".

Механическое бурение получает все большее распространение в практике разведочных и инженерно-

геологических работ. Наибольшее применение находит вращательное бурение. Буровые станки для этого вида бурения представляют собой комбинации следующих частей:

а) механизмов, приводящих в движение инструменты, разрабатывающие грунты;

б) лебедок, осуществляющих подъем и спуск рабочего оборудования;

в) механизмов, позволяющих в процессе работы осуществлять непрерывную подачу (опускание) разрабатываемого инструмента;

г) насоса для нагнетания промывающей жидкости в скважины. Ее назначение — охлаждение инструмента и очистка забоя от буровой муки.

Механизмы буровых станков приводятся в движение либо электродвигателями, либо двигателями внутреннего сгорания.

При вращательном бурении разработка скважин ведется двумя методами: сплошным или кольцевым забоем (колонковое бурение).

При сплошном забое разрабатывается все сечение скважины. Таким путем осуществляется роторное бурение. Рабочей частью бурового станка этого вида бурения служит укрепленное на конце колонны штанг специальное долото (рыбий хвост, шарошечное), приводимое ротором во вращение вместе с системой штанг.

Станки для бурения сплошным забоем (рис. 204) в настоящее время выпускаются смонтированными на автомашинах. Можно назвать ряд самоходных станков, выпускаемых советской промышленностью (марки АББ-100, АББ-3-100). Они обеспечивают бурение на глубину до 100—150 м.

Колонковое бурение (с кольцевым забоем) проводится путем разработки забоя скважины специальными коронками. Коронки выкливают из пород столбик, который входит внутрь трубчатых штанг. Режущие части коронок снабжаются пластинками твердых сплавов, алмазами и т. д.

В результате колонкового бурения получается керн — столбик породы, выпиленный коронкой. Его отрыв от породы осуществляется при помощи специального устройства — рвателя. Бурение ведется с промывкой скважины

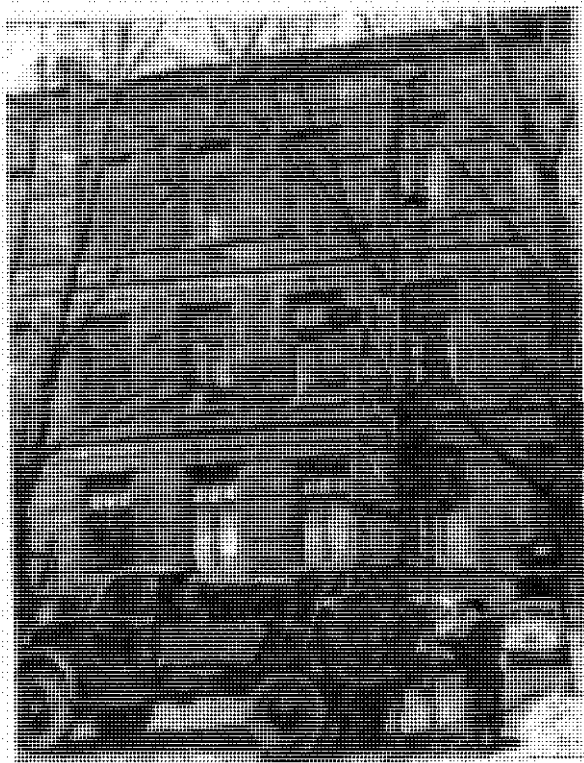


Рис. 20. Буровой станок, смонтированный на машине.

водой, которая охлаждает коронку и выносит продукты истирания пород (шлам). Наиболее распространенные станки для этого типа бурения КА 2М-300, КАМ-500 и др.

Почваи разнообразия механического бурения — проходка скважин при помощи шнеков — непрерывных винтовых лопастей, винтообразно охватывающих шланги. Шнековое бурение позволяет проходить скважины диаметром от 100 до 1500 мм.

Глубина этого типа бурения возможна до 100 м. Скорость проходки шнековым бурением достигает в рыхлых породах  $>5$  м/мин.

Советская промышленность в настоящее время выпускает шнековые станки, смонтированные на автомобильных.

Вибробурение применяют для погружения и породы буровых наконечников и обсадных труб. Для этого на шланге или на наконечнике устанавливают вибратор. Последний создает колебание высокой частоты, передаваемые на разрыхляющийся инструмент. Вибробурение позволяет достичь больших скоростей проходки. Этому способствуют тиснотрассные явления, возникающие в трубах при вибрировании. Скорость бурения в мягких грунтах  $5$  м/мин.

Документация бурения осуществляется путем ведения бурового журнала, куда вносят данные о применяемых наконечниках, трудности бурения, величине проходки за смену, глубине погружения обсадных труб, отобранных образцах, описании пород, подземных водок и т. д. По данным бурения составляется колонка (разрезы) буровой скважины, образец которой показан на рис. 201.

Бурение дает возможность наиболее быстро и дешево исследовать условия залегания горных пород, а также отобрать пробы из всех встреченных прослоев. Недостаток его — малая точность полученных сведений о тонких прослоях и трудность отбора образцов с ненарушенной структурой.

#### Геофизические методы исследования

В последнее время все большее распространение при геологических съемках и инженерно-геологических исследованиях находят геофизические методы. В большинстве случаев они применяются как вспомогательные методы, позволяющие сократить объемы горно-проходческих работ и значительно ускорить темпы геологических исследований.

Геофизиками созданы различные методы исследования геологического строения поверхности, каждый из которых основан на тех или иных физических свойствах пород. Рассмотрим главные из них.

Сейсмические методы основаны на различии в скоростях распространения упругих колебаний, возникающих как от естественных причин, так и от специально производимых взрывов.

Магнитные методы основаны на исследовании магнитных аномалий, возникающих на отдельных участках земной коры. Эти методы особенно эффективны для выявления некоторых полезных ископаемых (гематита, магнетита и др.).

Наибольшее распространение в практике геологических съемок и инженерно-геологических исследований



Рис. 206. Схема электроразведки:

1 — прибор, 2—3 — электроды

получила электроразведка, которая применяется для исследований месторождений естественных строительных материалов, а также для различных инженерно-геологических целей.

При поисках месторождений крепких известняков в Подмоскowie стоимость работ на площади 100 км<sup>2</sup>, по данным М. А. Шибанова, составила при разведке с применением бурения 3 млн. рублей. Применение геофизических методов, стоимость которых для указанной территории составила лишь 200 тыс. рублей, позволило сократить объем бурения, а вместе с ним и стоимость работ в несколько раз.

Электроразведка основана на исследовании искусственно создаваемого и пороках электрического поля, характер которого зависит главным образом от величины удельного электрического сопротивления. Наибольшее распространение получили две разновидности электроразведки: электроразведка и вертикальное электроразведывание (ВЭЗ).

При электропрофилировании на исследуемом участке забивают серию створов и на каждом из них измеряют сопротивление пород путем перемещения установки с фиксированным положением электродов (рис. 206). Перемещая эту систему электродов (без изменения их расстояния) вдоль створов, можно получить

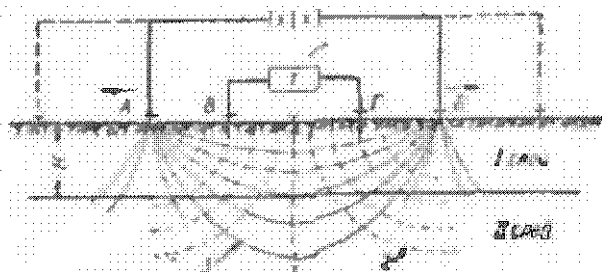


Рис. 206. Схема вертикального электрического зондирования (ВЭЗ):

Г — источник тока, АББГ — электроды, 2 — эквипотенциальные линии, 3 — линии токов

сведения об изменении на участке удельного сопротивления пород. Обработка полученных данных измерений на ряде профилей позволяет устанавливать участки с нарушенным геологическим строением (определяемым по аномальным значениям удельного сопротивления пород). Электропрофилирование с успехом применяют для обнаружения карстовых пустот.

Для получения данных о глубине и условиях залегания разнородных пластов используют метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Сущность его заключается в том, что по мере увеличения разности (расстояния между питающими электродами А и Б) возникает перемещение линий токов на большую глубину (рис. 206). Поэтому по мере возрастания разности электродов АБ будет происходить увеличение глубины электрозондирования (Н). Последняя может быть определена из простой зависимости:

$$H = \frac{1}{2} AB$$

В процессе зондирования измеряют силу тока в питающей сети, а при помощи потенциометра ЭП-1 и электродов В и Г устанавливают кажущееся сопротивление перелом (р). Исследование сводится к серии измерений,

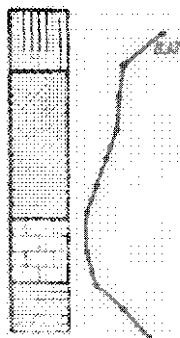


Рис. 207. Кривая ВЭЗ, соответствующая кривой ВЭЗ бурения

выполняемых с постепенно возрастающим риском. Результаты позволяют составить разрез, в котором выделяются слои с различной величиной кажущегося удельного сопротивления. На рис. 207 показаны кривые ВЭЗ, сопоставленные с данными бурения. Точность разрезов, получаемых с помощью ВЭЗ, зависит от ряда факторов. При упомянутой выше разведке известняков в Подольском разломе между границами слоев, полученными бурением и ВЭЗ, составили  $\pm 3$  м. Наибольшие погрешности ВЭЗ наблюдаются при малой глубине разведываемой поверхности разреза пластов (2—3 м), а также при значительной глубине ее залегания (более 15 м).

Методы электроразведки дают большую экономичность во времени и средствах, откуда вытекает необходимость широкого внедрения их при инженерно-геологических исследованиях и геологоразведочных работах для поисков и разведки месторождений строительных материалов.

## ПОИСК И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

### Понятие о разведке месторождений

Цель геологоразведочных работ — получение данных о характере залегания полезного ископаемого, его качестве и запасах, необходимых для проектирования горнодобывающих предприятий.

Разведочные работы выполняются по стадиям, тесно взаимосвязанным друг с другом. Выделяются следующие виды разведки: 1) поиски; 2) предварительная разведка; 3) детальная разведка; 4) эксплуатационная разведка.

При поисковых работах перед геологами ставятся следующие задачи:

а) исследовать намеченный район с целью обнаружения месторождений строительных материалов;

б) получить данные для сопоставления встреченных на территории поисков месторождений и выбрать из них наиболее подходящие для разработки;

в) сделать отбор проб для начальной качественной характеристики строительных материалов;

г) получить приближенные данные о запасах полезных ископаемых.

При предварительной разведке получают следующие данные:

а) выявляют тектонические условия залегания полезных ископаемых (характер геологического разреза, структурные особенности, формы рудного тела и т. д.);

б) выделяют участки для дальнейшей детальной разведки месторождений;

в) качественное спробование месторождений;

г) уточняют запасы полезных ископаемых.

Детальная разведка призвана решить задачи:

а) детального выявления геологии месторождений;

б) гидрогеологических и инженерно-геологических условий эксплуатации месторождений;

в) дальнейшего уточнения запасов полезного ископаемого;

г) окончательной оценки качества строительных материалов.

Эксплуатационная разведка имеет главной целью уточнение запасов полезных ископаемых в процессе разработки карьеров. Она осуществляется лишь в особых случаях.

Геологические исследования месторождений ведутся в соответствии с проектами поисковых и разведочных работ. Каждый вид разведки состоит из трех этапов: подготовительного, полевого и камерального. Прежде чем приступить к выполнению поисковых и геологоразведочных работ, проводятся подготовительные работы. Они заключаются в проведении ряда важных мероприятий:

а) сбор и изучение архивных, фондовых и литературных материалов по территории разведки;

б) в подборе необходимых геологических и топографических карт;

в) организации партии (подборе сотрудников, приобретении и доставке к месту работы механизмов, транспорта и т. д.).

Полевые работы заключаются в выполнении намеченных геологосъемочных и разведочных работ (бурении, шурфовании, опробовании и т. д.).

Камеральный этап сводится к увязке всех полученных полевых данных, составлении разрезов, геологических карт, написании отчета и утверждении подсчета запасов в Государственной комиссии по запасам при Совете Министров СССР (ГКЗ) или Территориальной комиссии по запасам (ТКЗ).

Особенно ответственная часть работы — составление отчета. Последний включает следующие разделы:

1. Введение, в котором излагаются задачи исследований, их юридическое обоснование, сроки и сметная стоимость работ.
2. Географическое положение месторождения.
3. Экономические сведения о районе.
4. Орогидрография территории месторождения.
5. Климатическая характеристика района.
6. История геологической изученности месторождения.
7. Геологическая характеристика района.
8. Геологическое строение месторождения.
9. Гидрогеологическая характеристика месторождения.
10. Описание выполненных геологоразведочных работ.
11. Требования к строительным материалам и качественная характеристика месторождений.
12. Гидрогеологические условия эксплуатации месторождения.
13. Подсчет запасов.
14. Экономика и эффективность проведенных геологоразведочных работ.
15. Заключение.

Отсчет сопровождается графическими (карты, разрезы, колонки, развертка и т. д.) и текстовыми приложениями (журналы, ведомости лабораторных испытаний, петрографические и минералогические описания, акты и т. д.).



## Классификация месторождений по признакам, определяющим методы разведочных работ

Месторождения строительных материалов крайне разнообразны по условиям залегания, геологическому возрасту, минералого-петрографическому составу, происхождению. По классификации ВИМСа (Всесоюзного института минерального сырья), с точки зрения выбора методов разведочных работ все месторождения делятся на 4 группы:

**I группа** — пластовые и пластообразные месторождения. Они характеризуются горизонтальным (или слабонаклонным) залеганием. Эта группа месторождений делится на следующие подгруппы:

выдержанные месторождения, в которых качество полезных ископаемых выдерживается на протяжении сотен метров;

невыдержанные месторождения, в которых качество полезных ископаемых изменяется на небольших расстояниях;

месторождения, образованные мало-мощными пластами.

В первую группу входят месторождения многих строительных материалов: известняков, мергелей, гипса, огнеупорных глин, суглинков, песчаников, конгломератов, галечника и некоторых эффузивных пород.

**II группа** — пластовые и пластообразные месторождения с нарушенным залеганием. Здесь также выделяются подгруппы месторождений, выдержанных и невыдержанных по качеству.

Характерная черта месторождений этой группы — наличие складчатых и дизъюнктивных дислокаций пластов полезных ископаемых. Сюда же относятся моноклинально залегающие пластовые месторождения с углами падения более  $20^{\circ}$ — $30^{\circ}$ , а также месторождения, нарушенные карстовыми и оползневыми процессами. В эту группу входят месторождения известняков, гипса, мергелей, глин, песчаников, метаморфических пород и других строительных материалов.

**III группа** — месторождения линзовидной, вытянутой или неправильной формы. Эта группа месторождений отличается разнообразием очертаний в плане. Сюда входят

залежи элювиальных и аллювиальных огнеупорных и тугоплавких глин и суглинков, отдельные месторождения гипса, ледниковые, аллювиальные, флювиогляциальные скопления песчано-гравийного материала и некоторые другие.

IV группа — месторождения, в которых породы залегают в виде крупных штоков и неправильных залежей, а также образуют куполообразные и грядкообразные массивы. В эту группу входят главным образом месторождения глубинных магматических пород, отличающиеся выдержанностью качественных показателей каменных материалов в глубину и по простиранию.

Сюда же входят некоторые месторождения известняков.

Для каждой из рассмотренных групп месторождений приходится применять определенный подход при выборе методики проведения разведочных работ.

#### Методы оценки запасов полезных ископаемых

Определение запасов полезных ископаемых — важнейшая задача геологоразведочных работ. В зависимости от степени разведанности месторождений запасы подразделяются на 5 категорий:

Категория  $A_1$  соответствует запасам, определенным на основании эксплуатационной разведки на действующих карьерах. Эта категория запасов используется для производственного планирования.

Категория  $A_2$  — запасы, подсчитанные на основании данных детальной геологической разведки. Категория  $A_2$  служит для обоснования технического проекта карьера.

Категория В — запасы, установленные на площадях, разведанных и оконтуренных горными выработками. Подсчет по этой категории проводится, как правило, в результате предварительной разведки месторождений. Природные типы полезных ископаемых и промышленные сорта при этом подсчете устанавливаются без детализации. Эта категория запасов достаточна для составления проектного задания карьеров.

Категория  $C_1$  — запасы подсчитываются на основании редкой сети разведочных выработок или обнажений. Эта

категория запасов может быть установлена при детальных поисковых работах. По категории  $C_1$  составляются перспективные планы развития добычи строительных материалов.

Категория  $C_2$  — запасы, подсчитываемые по геологическим и геофизическим данным, подтвержденным отдельными выработками. Для подсчета этой категории запасов достаточны данные поисковой разведки.

Расчет запасов полезных ископаемых проводится на основании данных геологоразведочных работ, дающих представление о мощности пласта полезного ископаемого и положении его в пространстве. Наиболее простой прием подсчета запасов — способ среднего арифметического. При этом способе предварительно определяют площадь месторождения  $S$ . Запасы ( $V$ ) подсчитывают по формуле:

$$V = SH_{\text{ср}},$$

где  $H_{\text{ср}}$  — средняя мощность пласта полезного ископаемого, определяемая как среднеарифметическая из частных мощностей, замеренных в выработках

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n}{n}$$

При определении мощности пластов полезного ископаемого необходимо иметь в виду, что при значительной толщине пород за нижнюю поверхность пласта может приниматься плоскость, проходящая на отметке максимальной глубины разработки материала.

Более трудоемкими, но более точными, являются методы треугольных и многоугольных призм. Определение запасов этими способами заключается в том, что площадь месторождения разбивают на треугольники или многоугольники, в вершинах которых располагают шурфы или скважины. Зная среднюю мощность пласта, в пределах каждой призмы устанавливают их объем. Запас месторождения представляет собой сумму частных объемов призм

$$V = \sum_{i=1}^n V_{\text{пр}i}$$

где  $V_{\text{пр}}$  — объем призм;

$n$  — число призм.

При расчете способом треугольника объем призм равен (рис. 208):

$$V_{\text{пр}} = \frac{1}{2} a h H_{\text{ср}},$$

где  $a$  — основание треугольника;

$h$  — высота треугольника;

$H_{\text{ср}}$  — средняя мощность пласта в пределах треугольника, равная

$$\frac{H_1 + H_2 + H_3}{3}$$

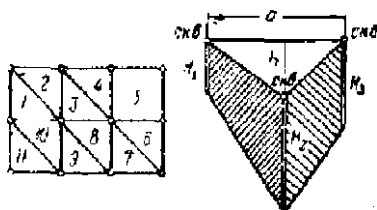


Рис. 208. Схема подсчета запаса методом треугольников

Запас месторождения при подсчете по треугольным призмам определяют по формуле:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i h_i H_{\text{ср},i}$$

где  $a_i$ ,  $h_i$  — соответствующие частные значения оснований и высот;  $H_{\text{ср},i}$  — средняя высота призм,  $n$  — число призм.

Для более точных расчетов применяют другие, более сложные методы.

## **Разведочные работы и опробование при исследованиях месторождений строительных материалов<sup>1</sup>**

Поисковые работы всегда должны предшествовать комплексу предварительных и детальных геологических разведок месторождений строительных материалов. Это обусловлено тем, что данные геологических карт недостаточны для оценки пригодности пород в качестве полезных ископаемых. Основанием для организации поисковых работ в данном районе является благоприятный комплекс геолого-литологических признаков и соотношения экономического порядка.

Главный метод поисков — маршрутное обследование, осуществляемое либо одновременно с геологической съемкой масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000, либо на основе имеющихся топографических и геологических карт соответствующих масштабов. Расстояния между маршрутами принимаются от 0,5 до 3 км в зависимости от степени обнаженности и масштаба топографической основы.

Помимо маршрутных обследований, в необходимых случаях проходятся шурфы, канавы, расчистки, мелкие скважины и другие типы выработок. При благоприятных геологических условиях возможно применение электро-разведки.

В процессе поисковых работ осуществляется также начальное опробование полезного ископаемого.

При благоприятных результатах первого этапа поисковых работ для определения наиболее перспективных месторождений проводятся детальные поиски. Поисковые работы позволяют наметить участки месторождений, рентабельных для дальнейших разведочных работ.

Благоприятны также участки, на которых горный коэффициент не превышает единицы. Для отдельных видов полезных ископаемых (например огнеупорных глин) горный коэффициент может быть больше (до 5 и даже 10).

---

<sup>1</sup> Раздел написан в соответствии с методическими указаниями, составленными ВИМСов.

Детальные поиски состоят в геологической съемке масштаба 1:10 000—1:3 000 и комплексе разведочных выработок, количество которых определяется требованиями подсчета запасов по категории С.

Для характеристики строения месторождения по вертикали в процессе детальных поисков производится необходимое количество глубоких выработок (шурфов и скважин).

Оборудование при детальных поисковых работах должно быть достаточным для предварительного изучения

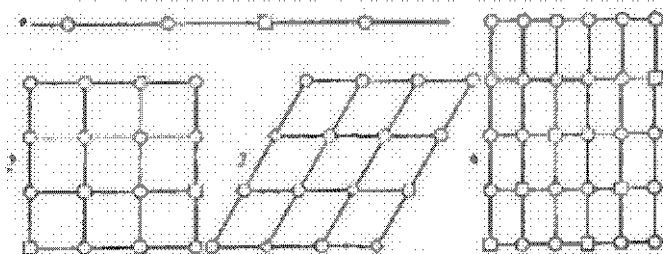


Рис. 209. Разведочные скважины и разведочные линии (1) и (2).

1 — скважины, 2 — разведочные линии

технологических свойств строительных материалов, позволяющего решить вопрос о пригодности исследуемых пород для промышленной добычи.

Предварительные и детальные разведки, как правило, проводятся без разрыва во времени. Предварительные разведки имеют целью выявить участки с лучшим качеством полезных ископаемых и наиболее благоприятными горнотехническими условиями для строительства карьера. По результатам предварительных разведок подсчитывают запасы по категории В.

Детальные разведки проводят на выбранном в процессе предварительной разведки участке с наиболее благоприятными условиями и качеством материала.

При проведении разведочных выработок (скважины, шурфы, канавы) располагают либо по разведочным линиям,

либо по квадратной, прямоугольной, ромбической и другим видам сеток (рис. 209).

Расстояние между выработками определяется типом месторождений, категориями подсчета запасов и некоторыми другими факторами.

Для подсчета запасов месторождений I группы по категории В расстояние между выработками принимается от 120 до 300 м, а по категории А<sub>2</sub> — от 60 до 300 м.

При разведке месторождений II группы выработки размещают по разведочным линиям, расположенным в крест простирания пород. Расстояние между разведочными линиями принимается при необходимости подсчета запасов по категории В от 100 до 400 м, а по категории А<sub>2</sub> — от 50 до 200 м.

Разведка месторождений III группы осуществляется аналогично месторождениям I группы, но расстояние между выработками принимается при подсчете запасов по категории В от 30 до 300 м, а по категории А<sub>2</sub> — от 25 до 150 м.

Месторождения IV группы исследуются выработками, расположенными по правильным сеткам. Расстояние между выработками принимается для подсчета запасов по категории В от 30 до 500 м, а по категории А<sub>2</sub> — от 200 до 300 м.

При разведке месторождений применяется ударно-вращательное, шнековое, вибрационное и козонковое бурение. Диаметр его должен быть не менее 50 мм.

Для изучения горизонтально залегающих пластов закладывают шурфы, глубина которых может достигать 20 м и более. При исследовании крупнопластовых пластов роют канавы глубиной до 2—3 м при ширине 1 м.

В процессе разведочных работ тщательно изучают гидрогеологические условия месторождений. Для этой цели выполняют гидрогеологическую съемку, опытные откачки, регулярные наблюдения за уровнем подземных вод и т. д. Разведочные работы всегда сопровождается крупномасштабной геологической съемкой.

Большую роль в оценке месторождений строительных материалов играет их опробование. Отбираемые пробы необходимы для дальнейшего определения химического, минералогического и granulометрического состава полезных ископаемых, определения их физических и механических свойств, а также для проведения техно-

логических исследований сырья. В зависимости от намеченного комплекса лабораторных исследований применяют следующие типы опробования: бороздовое, керновое, монолитное (штуфное), валовое.

**Бороздовое** опробование проводят для определения состава пород и их технологических свойств. Оно выполняется следующим способом: а) снимается выветрелый слой породы; б) проводится перпендикулярно к напластованию борозда шириной 10—15 см и глубиной 5—10 см. Весь извлекаемый из нее материал высыпают на фанерный лист либо на брезент. Длина борозды определяется мощностью пласта. При значительной величине ее отбор проводится участками длиной в 1,0 м.

**Керновое** опробование применяют при колонковом бурении. Полученный керн раскалывают вдоль на две половины: одна идет на исследование состава породы, а вторая остается для документации выработки.

**Монолитное (штуфное)** опробование служит для оценки свойств каменных материалов. При этом методе из каждого слоя отбирают монолиты кубической формы размером 20×20×20 или 25×25×40 см.

**Валовое** опробование применяется при разведке гравийно-песчаных месторождений. При этом методе в пробу входит весь материал, извлекаемый из шурфа или дудки, либо определенная его часть.

Количество отбираемой пробы зависит от типа материала и необходимых лабораторных исследований. Для лабораторных исследований рыхлых пород необходим отбор пробы в количестве 50 кг. Для полужаводских технологических испытаний количество материала в пробе может достигать 10—15 т. Для анализа цементного сырья отбирают пробы известняка весом 100 кг, мела — 200—400 кг и глины — 100—150 кг.

Иногда объем отобранной пробы пород оказывается большим, чем это необходимо. В этом случае их дробят и сокращают. При этом материал перемешивают и квартуют (на фанерном листе пробу разбивают на четыре части и противоположные из них выбрасывают).

При сокращении проб для химических анализов их необходимый вес устанавливают по формуле:

$$Q_1 = k a^2,$$

где  $Q_1$  — необходимый вес пробы, кг;

$k$  — коэффициент, учитывающий однородность пород (например, для карбонатных пород его величина берется от 0,05 до 0,1);

$d$  — диаметр дробленых частиц, мм.

Каждую пробу снабжают соответствующей этикеткой и отметку о ее взятии заносят в полевые журналы.

### Районирование территории СССР по видам строительных материалов

Районы обширной территории Советского Союза различны по геологической истории и рельефу. Это определяет неравномерность распределения месторождений естественных ископаемых. Попытка районирования территории европейской части СССР по распространению каменных материалов была предпринята Н. П. Мамлюковым. Им выделены 5 классов.

I класс — районы, полностью обеспеченные качественным каменным материалом из кристаллических пород. Сюда относятся юго-западная Украина, Карелия, Кольский полуостров и другие районы.

II класс — районы с мощными месторождениями известняков и песчаников. Районы распространения песчаников: Овручский, Прионежский, Донецкий, Западный Урал и т. д. Районы развития мощных толщ известняков: Ленинградская область, Подмосковский бассейн, Уфимское плато и др.

III класс — районы, в разной степени обеспеченные известняками и песчаниками средней и ниже средней крепости. Районы развития известняков: часть Ленинградской области, Подмосковский бассейн и некоторые другие места. Отдельные районы развития песчаников встречаются на Урале, в Поволжье.

IV класс — районы с мелкими месторождениями известняков и песчаников невысокого качества. Это главным образом области развития меловых отложений средней полосы европейской части СССР.

V класс — районы, лишенные каменных материалов. Сюда относят Северный Прикаспий, Прикубанские степи и ряд других районов.

Обеспеченность различных районов Советского Союза естественными строительными материалами зависит от

геологической истории районов. Так, крупнейшие месторождения гипсов приурочены к пермским отложениям западного Приуралья; известняки-ракушечники широкой полосой распространены от ст. Цимлянкой на Нижнем Дону до западных границ нашего государства, связаны с комплексом неогеновых морских осадков. В центральных районах европейской части СССР распространены мергели, трепелы, меловые отложения, образовавшиеся в мелководных морях мелового периода, и т. д.

Каменные материалы магматического происхождения концентрируются в районах развития горных систем Кавказа, Средней Азии, Восточной Сибири, Урала, Карелии и в районах с близким залеганием к поверхности складчатых структур (Украина). Южный Крым богат месторождениями диорита и известняка; Закавказье — вулканическими туфами; Центральный Кавказ — гранитами, диоритами, песчаниками, известняками, излившимися и метаморфическими породами.

В районах Русской платформы широко развиты месторождения осадочных пород: суглинков, глин, песчанников, известняков, песков, галечников, трепела и других строительных материалов.

Районирование распространения естественных полезных ископаемых — важная государственная задача, позволяющая составлять перспективные планы развития промышленности строительных материалов в различных районах нашей Родины.

#### **ПОНЯТИЯ ОБ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ**

##### Общие представления

В Советском Союзе проектирование промышленных и гражданских зданий и сооружений ведется по двухстадийной системе:

- 1) расширенное проектное задание;
- 2) техно-рабочий проект.

В соответствии с этим инженерно-геологические изыскания на площадках промышленного и гражданского строительства делятся также на две стадии:

1) изыскания на стадии проектного задания (предварительные);

2) изыскания на стадии техно-рабочего проекта (детальные).

Объемы инженерно-геологических исследований на каждой стадии устанавливаются в зависимости от следующих факторов:

- а) капитальности, конструктивных особенностей, размеров и стоимости проектируемых объектов;
- б) геологической изученности районов: чем больше изученность, тем меньше объем исследований;
- в) сложности геологических условий: тектоники, литологического разнообразия пород и т. д.;
- г) степени развития физико-геологических явлений и инженерно-геологических процессов (оползней, карста, просадок и т. д.);
- д) особенностей инженерно-геологических грунтов.

#### Изыскания на стадии проектного задания

Объем предварительных инженерно-геологических работ должен дать достаточный материал для составления проектного задания. На этой стадии решают следующие вопросы: 1) дают инженерно-геологическое обоснование для выбора наиболее благоприятного варианта размещения площадки строительства; 2) получают общую характеристику физических и механических свойств основных генетических и литологических типов пород; 3) выявляют и делают общие описания развитых в районе физико-геологических явлений и инженерно-геологических процессов; 4) дают характеристику подземных вод.

Для решения перечисленных вопросов выполняют следующие инженерно-геологические работы: а) инженерно-геологическую съемку района; б) закладывают сеть разведочных выработок; в) отбирают пробы для лабораторных исследований грунтов; г) проводят гидро-геологические исследования территории; д) организуют режимные наблюдения за колебаниями уровня подземных вод (как правило, изучаются грунтовые воды); е) выполняют лабораторные и полевые исследования грунтов.



После окончания полевых работ проводится камеральная обработка полученных материалов и составляется отчет.

Остановимся на некоторых особенностях инженерно-геологических изысканий на стадии проектного задания.

Инженерно-геологическая съемка осуществляется в масштабах 1:500, 1:1000, 1:5000, 1:10000. Этот вид съемки носит комплексный характер. В процессе ее проведения изучают рельефные (геоморфологические), геологические, литологические и гидрогеологические особенности районов строительства. Особое внимание при этом отводят изучению и картированию геодинамических процессов (размыва, оползней, карста и т. д.). Особенность инженерно-геологической съемки — изучение состояния существующих зданий и сооружений. При обнаружении деформаций, связанных с осадками грунтовых оснований, устанавливают причины последних и учитывают их при районировании территории.

В результате инженерно-геологической съемки составляют инженерно-геологическую карту (рис. 210). На ней обязательно районировать территорию по степени ее благоприятности для данного строительства.

Разведочные работы осуществляют буровыми комплектами при диаметре скважины не менее 59 мм. Скважины и шурфы при изысканиях на стадии проектного задания располагают по правильным сеткам, разведочным линиям или одиночным выработкам.

Глубина скважин принимается от 10 до 20 м. Глубина шурфов чаще всего определяется уровнем грунтовых вод, а в случае ее отсутствия или глубокого залегания доводится до 3—10 м.

Количество выработок и расстояние между ними в разведочных створах устанавливают в зависимости от геологических условий и характера проектируемых сооружений.

Для получения достаточного числа монолитных образцов количество шурфов должно составить не менее  $\frac{1}{3}$  от всего количества выработок.

Из скважин и шурфов отбирают, как правило, образцы с ненарушенной структурой — монолиты. При отборе их из шурфов им придают форму кубиков с размерами сторон 20×20×20 см. Монолиты из скважин отбирают с помощью грунтомера. Отбираемые образцы

с неизменной структурой покрывают парафином или эпоксидной мастикой для сохранения естественной влажности при транспортировании их в лабораторию.

При инженерно-геологических изысканиях на стадии проектного задания применяют геофизические методы (электропрофилирование и ВЭЗ). Отчет по предварительным изысканиям должен давать геологическую, гидрогеологическую и инженерно-геологическую характе-

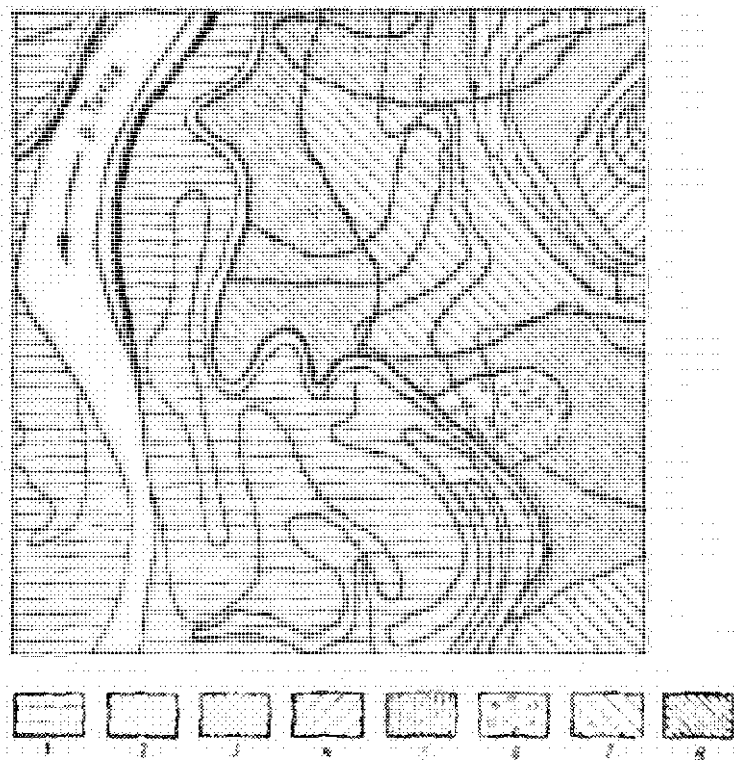


Рис. 210. Инженерно-геологическая карта

1 — возмущенная территория, сложенная глинами с прослоями ила. Глизиновые илы на Савинском реке; 2 — Район работ, предназначенный для строительства; 3, 4, 5, 6 — возмущенные территории с прослоями, сложенными глинами, илами, суглинками; Район, предназначенный для строительства; 7 — участок, предназначенный для строительства; 8 — участок, предназначенный для строительства.

ристики всего изученного района и обоснование выбора наиболее благоприятного варианта размещения строительной площадки.

### **Изыскания на стадии техно-рабочего проектирования**

Инженерно-геологические изыскания на стадии техно-рабочего проекта должны решить следующие главные задачи:

а) дать детальную характеристику геологических условий непосредственно на площадках размещения сооружений;

б) подробно охарактеризовать механические и физические свойства грунтов в пределах площадок сооружений, необходимых для расчетов оснований;

в) выявить гидрогеологические условия строительной площадки с прогнозами колебания уровня и состава подземных вод.

Для решения этих задач проводят полевые работы, лабораторные исследования, камеральную обработку материала и составляют отчет.

Разведочные работы имеют целью изучение геологических и гидрогеологических условий под сооружениями. Скважины и шурфы располагают в пределах контуров сооружений. Глубину выработок устанавливают в зависимости от пределов распространения в основаниях напряжений от сооружений (от 5 до 25—30 м).

Обязательную часть выработок составляют шурфы (или, как их называют, технические выработки). Последние дают возможность отбора качественных монолитов для лабораторных исследований свойств грунтов основания.

Полевые опытные работы проводят для получения ряда расчетных характеристик, необходимых при проектировании строительных объектов. Наиболее распространены следующие опытные работы:

1. Гидрогеологические (определения методом налива и откачки коэффициентов фильтрации, скорости и направления потоков грунтовой воды методами красящих веществ, эквипотенциальных поверхностей и т. д.).

2. Испытания несущей способности пород при помощи пробных статических нагрузок.

3. Наблюдения за опытными котлованами, опытными участками каналов для выявления характера развития просадочных явлений и величины устойчивых откосов.

4. Пробные испытания свай статическими нагрузками, позволяющие получить необходимые данные для расчета свайных оснований.

5. Пробная бойка свай, производимая для той же цели.

6. Наблюдения за глубинами промерзания грунтов, осуществляемые с помощью специальных приборов — мерзлотомеров.

7. Полевые определения сопротивления сдвигу.

Лабораторные исследования при детальных изысканиях проводят для получения исчерпывающих характеристик физических и механических свойств грунтов. Их объем зависит от типа пород, вида проектируемых сооружений и некоторых других факторов. Часть лабораторных исследований осуществляют в полевых лабораториях.

Отчет по изысканиям на техно-рабочий проект должен содержать детальную характеристику инженерно-геологических условий строительства площадок под проектируемыми сооружениями.

## ЛИТЕРАТУРА

### Общие руководства

- Горшков Г. П., Якушова А. Ф. Общая геология. Изд-во МГУ, 1957.  
 Гуманский Б. М. Основы геологии для строителей железных дорог. Трансжелдориздат, М., 1955.  
 Денясов Н. Я. Инженерная геология и гидрогеология. Гостройиздат, М., 1957.  
 Коломенский Н. В. Инженерная геология. Гостеоллиздат, М., 1951.  
 Коломенский Н. В., Комаров И. С. Инженерная геология. «Высшая школа», М., 1964.  
 Маслов Н. Н. Инженерная геология. Гостройиздат, М., 1957.  
 Обручев В. А. Основы геологии. Изд-во АН СССР, М., 1956.  
 Попов В. В. Геология в военно-инженерном деле (военная геология). Изд. ВИА, 1958.  
 Попов И. В. Инженерная геология. Гостеоллиздат, М., 1951.  
 Сергеев Е. М. Грунтоведение. Изд-во МГУ, 1952.  
 Чарыгин М. М. Общая геология. Гостоптехиздат, М., 1956.  
 Keil K. Ingenieur geologie und Geotechnik. W. Knapf, Halle, 1951.  
 Kettner R. Allgemeine Geologie. DVW, Berlin, 1958.  
 Sürchinger H. Geologie und Gesteinskunde, Berlin, 1958.

### К I, II, III частям

- Аншелес О. М. Начала кристаллографии. Изд-во МГУ, 1952.  
 Белянкин Д. С. Петрография технического камня. Изд-во АН СССР, М., 1952.  
 Белянкин Д. С. и Петров В. П. Кристаллооптика. Изд-во АН СССР, М., 1951.  
 Бетехтин А. Г. Курс минералогии. Гостеоллиздат, М., 1951.  
 Давыдович А. Н. Основы геологии, минералогии и петрографии. «Будівельник». Киев, 1956.  
 Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. Изд-во АН СССР, М., 1955.

Зубков В. В. Краткий курс общей петрографии. Углетехиздат, М., 1956.

Критский В. В. и Четвериков С. Д. Краткий курс минералогии и петрографии с начальными сведениями по кристаллографии. Углетехиздат, М., 1953.

Лодочников В. Н. Главнейшие породообразующие минералы. Гостеолтехиздат, М., 1955.

Лучицкий В. И. Петрография. Гостеоллиздат, 1947.

Попов Г. М. и Шафрановский И. И. Кристаллография. Гостеоллиздат, М., 1955.

Рухин Л. Б. Основы литологии. Гостоптехиздат, М., 1953.

Седлецкий И. Д. Методы изучения коллоидно-дисперсных минералов. Изд. КГУ, Киев, 1955.

Справочное руководство по петрографии осадочных пород, т. I и II. Гостоптехиздат, М., 1958.

Торопов Н. А. и Булак А. Н. Курс минералогии и петрографии с основами геологии. Промстройиздат, М., 1953.

Торопов Н. А. и Астреева О. М. Петрографический контроль портландцементного клинкера и доменного шлага. Труды «НИИЦЕМЕНТ», вып. I. Промстройиздат, М., 1948.

Торопов Н. А. Химия цементов. Гостройиздат, М., 1956.

Флинт Е. Е. Начала кристаллографии. Гостеоллиздат, М., 1952.

Швецов М. С. Петрография осадочных пород. Гостеоллиздат, М., 1958.

### К IV части

Будялов Н. И. Структурная и полевая геология. Гостоптехиздат, М., 1953.

Гаркуша И. Ф. Почвоведение. Сельхозиздат, М., 1954.

Горшков Г. П. Землетрясения на территории Советского Союза, М., 1949.

Кленова М. В. Геология моря. Учпедгиз, М., 1948.

Леуктес Я. М. Историческая геология с основами палеонтологии. Гостеолтехиздат, М., 1956.

Мазарович А. И. Историческая геология. Изд. ГОНТИ, 1938.

Светловский А. Е. Цунами. Изд-во АН СССР, 1957.

Страхов Н. М. Основы исторической геологии. Гостеоллиздат, М., 1948.

Федорович В. А. Лик пустыни. «Молодая гвардия», 1952.

### К V части

Ананьев В. П. Минералогический состав и свойства лёссовых пород. Изд-во Роствск. ун-та, 1964.

Богомолов Г. В. Основы гидрогеологии. Гостеоллиздат, М., 1955.

Богомолов Г. В. и Силин-Бекчури А. И. Специальная гидрогеология. Гостеолтехиздат, М., 1955.

Гармонов И. В. и Лебедев А. В. Основные задачи по динамике подземных вод. Гостеоллиздат, М., 1952.

Денисов Н. Я. Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков. Госстройиздат, 1953.

Каменский Г. Н., Климентов П. П., Овчинников А. М. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых. Госгеоллиздат, М., 1958.

Ланге О. К. Основы гидрогеологии. Изд. МГУ, 1958.

Ларионов А. К., Приклонский В. А., Аняньев В. П. Лёссовые породы СССР и их строительные свойства. Госгеоллиздат, М., 1958.

Ларионов А. К. Инженерно-геологическое изучение структурных осадочных пород. «Недра», М., 1966.

Ларионов А. К. Занимательная инженерная геология. «Недра», М., 1968.

Литвинов И. М. Термическое укрепление просадочных лёссовых и других грунтов в основаниях различных зданий и сооружений. Изд. АН УССР, Киев, 1955.

Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеоллиздат, М., 1952.

Приклонский В. А. Грунтоведение. Ч. I, 1952; ч. II 1956. Госгеоллиздат, М.

Саваренский Ф. П. Инженерная геология. Изд. ОНТИ НКТП СССР, 1937.

Семихатов А. Н. Гидрогеология. Сельхозгиз, М., 1954.

Сергеев Е. М. Грунтоведение. Изд-во МГУ, 1959.

Флейшман С. М. Селевые потоки. Географгиз, М., 1951.

Цытович Н. А. Основания и фундаменты на мерзлых грунтах. Изд-во АН СССР, М., 1958.

## К VI части

Аверин Н. Д. Карьерное хозяйство. Госстройиздат, М. — Л., 1958.

Временные технические условия и инструкции на исследование грунтов оснований промышленных и гражданских зданий и сооружений. Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, М., 1954.

К методике геологической съемки при поисках и разведках месторождений полезных ископаемых. Госгеоллиздат, М., 1955.

Малюков Н. П. и Мейтус М. Э. Основы инженерной геологии. М., 1947.

Методические указания по производству геологоразведочных работ, вып. VIII, «Разведка месторождений строительных материалов». Госгеоллиздат, М., 1957.

Павлюков П. Н. Инженерная геология. Госгортехиздат, М., 1962.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр
Предисловие ко второму изданию	3
Введение	5
Общие сведения о Земле	11
Земля как планета	11
Солнечная система	11
Происхождение Солнечной системы	14
Форма и строение Земли	16
Форма Земли	16
Строение Земли	16
Понятие о геологических процессах	21
Структура земной коры	23

## Часть I

### Основы кристаллографии

Понятие о кристаллическом веществе, кристалле и кристаллографии	26
Внутреннее строение и важнейшие свойства кристаллов	27
Законы кристаллографии	30
Классификация кристаллов	33
Форма кристаллов	35
Кристаллические двойники	38
Параметры и индексы граней	39
Оптические свойства кристаллов	43
Поляризационный микроскоп	48
Назначение и типы поляризационных микроскопов	48
Устройство поляризационных микроскопов	49
Подготовка микроскопа к работе	52
Препараты для микроскопического исследования	53
Исследование препаратов под микроскопом	54
Методы исследования высокодисперсных кристаллов	61
Электронномикроскопический анализ	62
Структурные анализы	64
Термические исследования	65
Химический анализ	66

## Часть II

### Основы минералогии

	Стр.
Общие понятия	47
Физические свойства минералов	47
Химические свойства минералов	72
Процессы образования минералов	74
Понятие о тектонических минералах	74
Эволюционный состав минералов	74
Эволюционный состав минералов	74
Метаморфический состав минералов	75
Классификация минералов	76
Характеристика основных минералов	76
Класс I — силикаты	76
Класс II — карбонаты	91
Класс III — окислы	95
Класс IV — сульфиды	96
Класс V — сульфаты	96
Класс VI — галогениды	101
Класс VII — фосфаты	101
Класс VIII — фосфаты	101
Класс IX — бораты	106
Класс X — самородные элементы	107
Искусственные минералы	109
Общие представления	109
Искусственные минералы технических продуктов	112
Силикаты кальция	112
Алюминаты кальция	113
Алюмокальций кальция	116
Алюмокальций	117
Силикаты кальция в природе	117
Алюмоферрит кальция	118
Ферриты кальция	119
Силикаты и гидроксили	119
Типы и продукты его образования	121
Продукты образования силикатов	123
Искусственные алюмокальциевые кристаллы	123

## Часть III

### Основы петрографии

Общие сведения	124
Магматические горные породы	126
Глубинные и вулканические породы	128
Формы залегания магматических пород	128
Химический состав магматических пород	130
Минералогический состав магматических пород	131
Структура и текстура магматических пород	132
Трещиноватость и ступенчатость магматических пород	136
Главные типы магматических пород	138

Абсолютные породы	138
Кислые породы	139
Средние породы	141
Щелочные и щелочноземельные породы	141
Осадочные породы	145
Экстракционные породы	145
Осадочные породы	145
Общие представления	145
Химический и минералогический состав осадочных пород	145
Обливиновые породы	145
I. Рудные осадочные породы	145
Грубооблавленные породы	145
Песчаные породы	145
Песчаные породы	145
Глинистые породы	145
Глинистые породы	145
II. Силикатные породы	145
III. Перекарбонатные породы	145
Химические породы	145
Глины и сульфаты	145
Карбонатные породы	145
Аллювиальные породы	145
Осадочные породы	145
Кремнистые породы	145
Аллювиальные породы (аллювиальные)	145
Твердые аллювиальные	145
Жидкие аллювиальные	145
Метаморфические породы	145
Понятие о метаморфических процессах	145
Классификация метаморфических пород	145
I. Местные (первичные) метаморфические породы	145
II. Силикатные породы	145
Методы петрографического изучения горных пород	145
Тектоническая петрография	145
Понятие о тектонической петрографии	145
Осадочные материалы	145
Аллювиальные	145
Кремнистые материалы	145
Шлаки	145
Низшие вещества	145
Продукты стекловатого процесса	145

## Часть IV

### Основы геологии

Процессы внутреннего движения Земли	145
Движение земной коры	145
Понятие об орбитальных и геосинклинальных движениях	145
Определение подвижных элементов в тектонике	145
Складчатые движения	145
Разрывные движения	145
Сейсмические явления	145

	Стр.
Общие представления . . . . .	221
Механизм землетрясений . . . . .	223
Оценка силы землетрясения . . . . .	225
Строительство сооружений в прибрежных карьерах и сейсмических районах . . . . .	230
Процессы внешней динамики землет . . . . .	232
Выветривание горных пород и строительных материалов . . . . .	232
Сущность процесса выветривания . . . . .	232
Физическое (механическое) выветривание . . . . .	234
Химическое выветривание . . . . .	236
Органическое выветривание . . . . .	237
Элювий и делювий . . . . .	238
Борьба с выветриванием естественных и искусственных строительных материалов . . . . .	241
Геологическая деятельность ветра . . . . .	244
Общая характеристика . . . . .	244
Дефляция и коррозия . . . . .	244
Перенос и аккумуляция . . . . .	246
Геологическая деятельность тектонич . . . . .	248
Общие понятия . . . . .	248
Образование оврагов . . . . .	248
Сети (рысьи потоки) . . . . .	251
Деятельность рек . . . . .	254
Геологическая деятельность моря . . . . .	256
Общая характеристика океанов и морей . . . . .	256
Разрушительная работа моря . . . . .	260
Перенос и аккумуляция . . . . .	266
Геологическая деятельность ледников . . . . .	267
Общие представления о ледниках . . . . .	267
Разрушительная и аккумулятивная деятельность ледн . . . . .	269
Основы геологической хронологии . . . . .	272
Абсолютный и относительный возраст горных пород . . . . .	273
Общие сведения . . . . .	273
Абсолютный возраст горных пород . . . . .	273
Относительный возраст горных пород . . . . .	275
Геологическая хронология . . . . .	277
Краткая характеристика геологической истории территории СССР . . . . .	279
Архейская и протерозойская эры . . . . .	279
Палеозойская эра . . . . .	281
Мезозойская эра . . . . .	287
Кайнозойская эра . . . . .	289

## Часть V

### Значения гидрогеологии

Понятие о подземных водах . . . . .	293
Общие сведения . . . . .	293
Пути накопления подземных вод . . . . .	294
Виды вод в горных породах и водные свойства пород . . . . .	296
Виды вод в горных породах . . . . .	296

Свойства горных пород и вод . . . . .	300
Классификация подземных вод . . . . .	300
Виды подземных вод . . . . .	300
Верховодка . . . . .	306
Грунтовые воды . . . . .	306
Напорные (артезианские) воды . . . . .	306
Прочие виды подземных вод . . . . .	310
Глубина залегания и поверхность грунтовых вод . . . . .	310
Химический состав и агрессивность подземных вод . . . . .	313
Понятие о химическом составе подземных вод . . . . .	313
Агрессивное действие подземных вод на бетон . . . . .	315
Режим подземных вод . . . . .	318
Основной закон движения подземных вод . . . . .	318
Связанные коэффициенты фильтрации . . . . .	320
Общие сведения . . . . .	320
Расчетные методы . . . . .	320
Лабораторные методы . . . . .	321
Полевые методы . . . . .	323
Методы измерения определения направления и скорости потока грунтовых вод . . . . .	328
Способ трех скважин . . . . .	328
Метод красящих веществ . . . . .	330
Электрометрический метод . . . . .	329
Метод дебитогидравлических линий . . . . .	331
Расход потока грунтовыми вод и расчеты водоносных вод в раз- личном выработках . . . . .	332
Расход плоского потока . . . . .	332
Расчет притока воды в колодезь . . . . .	336
Расчет притока воды в траншею и канал . . . . .	338
Определение притока воды в карьерах . . . . .	339
Методы борьбы с подземными водами при разработке карьеров и строительных коллекторов . . . . .	340
Общие представления . . . . .	340
Открытый водоотлив . . . . .	340
Горизонтальный дренаж . . . . .	341
Вертикальный дренаж . . . . .	342

## Часть VI

### Практические вопросы инженерной геологии и разработки строительных материалов

Понятие об инженерно-геологическом изучении пород и инже- нерно-геологических процессах . . . . .	346
Инженерно-геологическое изучение пород . . . . .	346
Классификация грунтов . . . . .	347
Основные физические свойства рыхлых горных пород . . . . .	349
Общие понятия . . . . .	349
Общие физические свойства . . . . .	349
Коллективные свойства . . . . .	352
Консистенция и пластичность глинистых пород . . . . .	353
Водно-физические свойства . . . . .	358



	Стр.
Понятия о механических свойствах горных пород . . . . .	362
Общие представления . . . . .	362
Сжимаемость рыхлых горных пород . . . . .	364
Сопротивление сдвигу рыхлых пород . . . . .	366
Механические характеристики массивных пород . . . . .	368
Движение земляных масс на склонах . . . . .	369
Типы движений земляных масс на склонах . . . . .	369
Оползни . . . . .	371
Меропреятия по борьбе с оползнями . . . . .	378
Устойчивость стенок карьеров в рыхлых породах . . . . .	378
Плывуны . . . . .	380
Понятия о плывунах . . . . .	380
Методы борьбы с плывунами . . . . .	382
Просадки . . . . .	386
Общие понятия . . . . .	386
Строение лёссовых пород и стадийность просадки . . . . .	387
Оценка величины просадки . . . . .	389
Борьба с просадочностью . . . . .	390
Карст . . . . .	393
Понятие о карсте . . . . .	393
Инженерно-геологические исследования и строительство в карстовых районах . . . . .	397
Многолетняя (вечная) мерзлота . . . . .	399
Общие понятия . . . . .	399
Строение и особенности многолетней и вечной мерзлоты . . . . .	401
Процессы, связанные с многолетней мерзлотой . . . . .	402
Строительство в районах многолетней мерзлоты . . . . .	404
Геологические исследования месторождений строительных материалов и строительных площадок . . . . .	406
Общие понятия о месторождениях строительных материалов . . . . .	406
Горные породы как строительные материалы . . . . .	406
Способы разработки месторождений . . . . .	412
Понятие о проектировании карьеров . . . . .	414
Геологическое картирование . . . . .	415
Общие представления о геологическом картировании . . . . .	415
Геологические съемки . . . . .	418
Некоторые понятия о построении геологических карт и разрезов . . . . .	421
Разведочные работы . . . . .	425
Разведочные выработки . . . . .	425
Бурение . . . . .	428
Геофизические методы исследования . . . . .	433
Поиски и разведка месторождений . . . . .	436
Понятие о разведке месторождений . . . . .	436
Классификация месторождений по признакам, определяющим методы разведочных работ . . . . .	439
Методы оценки запасов полезных ископаемых . . . . .	440
Разведочные работы и опробование при исследованиях месторождений строительных материалов . . . . .	443
Районирование территории СССР по видам строительных материалов . . . . .	447

	Стр.
Понятие об инженерно-геологических изысканиях на строительных площадках . . . . .	448
Общие представления . . . . .	448
Изыскания на стадии проектного задания . . . . .	449
Изыскания на стадии технико-рабочего проектирования . . . . .	452
Литература . . . . .	454

*Анатолий Константинович Ларионов  
Всеволод Петрович Ананьев*

## **ОСНОВЫ МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОГРАФИИ И ГЕОЛОГИИ**

Редактор Н. А. Соколова  
Художник В. П. Гякунов  
Художественный редактор Т. А. Коленкова  
Технический редактор А. К. Нестерова  
Корректор Е. К. Штурм

---

Г—12006 Сдано в набор 17/III—69 г.  
Подл. к печати 12/VIII—69 г. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>  
Объем 14,5 печ. л. 24,36 усл. п. л.  
Уч.-изд. л. 22,71 Изд. № Е-161 Тираж 15 000 экз.  
Цена 94 коп.

Тематический план издательства  
«Высшая школа» (вузы и техникумы) на 1969 г.  
Позиция № 142.  
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,  
Издательство «Высшая школа»

---

Московская типография № 8 Главполиграфпрома  
Комитета по печати при Совете Министров СССР,  
Хохловский пер., 7. Зак. 3481.



# ОСНОВЫ МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ ПЕБОЛОГИИ

ИЗДАНИЕ  
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

