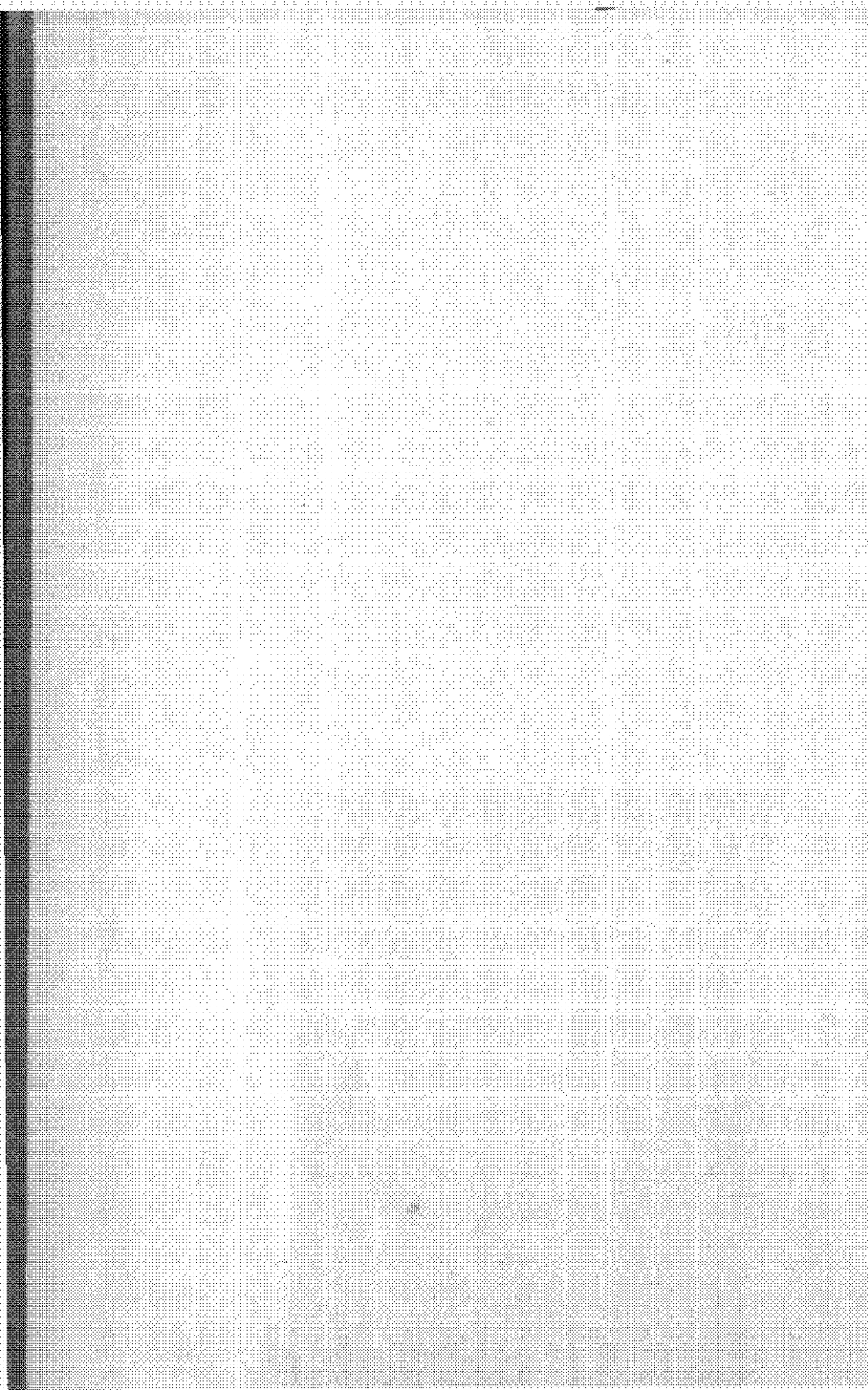


97 коп.

И. Б. КОЛОКОВСКИЙ

ОБЩАЯ МЕТОДИКА  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

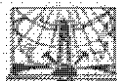
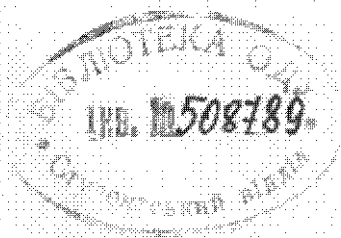
М. ДРА, 1968



✓  
624 15  
Е. К. ...  
✓  
Н. В. КОЛОМЕНСКИЙ

# ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Допущено  
Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР  
в качестве учебника для студентов  
геологических специальностей вузов.*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»  
МОСКВА 1988

**Общая методика инженерно-геологических исследований.**  
Коломенский П. В. Изд-во «Недра», 1968 г., стр. 342.

В учебнике изложена методика инженерно-геологических исследований, описаны условия их применения, приведены основные рациональные методы проведения в зависимости от стадий проектирования сооружений и от инженерно-геологических условий, их последовательность при инженерно-геологической съемке, разведке и опробовании горных пород в инженерно-геологических целях.

Указано назначение и содержание инженерно-геологической документации, а также методы ее составления.

В книге учтен практический опыт по проведению инженерно-геологических работ и современные научные достижения в этой области, показаны возможности использования известных методов, в частности математических, для решения инженерно-геологических задач.

Таблиц 42, иллюстраций 100, библиографий 64.



## ОТ АВТОРА

В учебнике «Общая методика инженерно-геологических исследований» освещены общие вопросы, касающиеся инженерно-геологических исследований, проводимых для всех видов строительства. В нем описана рациональная — с точки зрения технологии и экономики — общая система производства инженерно-геологических исследований. Автор провел обобщение и критический разбор принятых на практике методических указаний, отдельных понятий и терминов, использовал новейшие научные данные и методические проработки, а также результаты исследований, проведенных специалистами кафедры инженерной геологии МГРИ под его руководством. Автор не избегал и спорных вопросов, отмечая необходимость их дальнейшей разработки.

В учебнике не описывается техника производства тех или иных видов инженерно-геологических исследований, освещаемых в других курсах, а охарактеризованы лишь условия применения этих методов. Исключение сделано только для методов и отдельных положений, разработанных и предложенных в последнее время, или еще совсем не освещенных в литературе.

Основные положения, изложенные в учебнике, были представлены на обсуждение ряда организаций — Министерства геологии СССР, Госстроя СССР, Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР и УССР, кафедр ряда вузов — и получили одобрение.

Автор приносит свою глубочайшую благодарность за просмотр рукописи и ценные замечания, позволившие ее улучшить, а также за организацию обсуждения работы Н. Н. Николасву, Е. Г. Чаповскому, Е. М. Сергееву, М. Я. Даниловичу, Е. В. Рихскому, В. Д. Ломтадзе, Н. Д. Морозову, С. В. Дроздову и всем лицам, принимавшим участие в этом обсуждении.

## Г Л А В А IV

### МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

#### § 12. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МЕСТНОСТИ И ПОРОД

##### 1. Наземные наблюдения

В настоящее время для получения инженерно-геологической информации, которая принимается за основу при оценке инженерно-геологических условий и составлении прогнозов, используется большое количество различных методов исследований. Старые методы получения необходимых данных все больше совершенствуются, появляются и новые способы выявления признаков, по которым дается оценка инженерно-геологических условий строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

Необходимо иметь в виду, что на разных циклах инженерно-геологических исследований могут применяться как одни, так и другие способы исследований, а также различные их сочетания. Однако если на разных циклах исследований применяется один и тот же способ получения информации, то цели, которые перед ним ставятся, всегда бывают различными. Так, например, описание пород производится на разных циклах инженерно-геологических исследований, но если при мелкомасштабной съемке оно направлено на определение стратиграфической принадлежности пород, то в процессе инженерно-геологической разведки основной целью такого описания является выделение инженерно-геологических элементов.

Приведем краткую характеристику применимости существующих методов для получения той или иной инженерно-геологической информации, наиболее подробно описывая новые и сравнительно мало применяемые, но перспективные методы ее получения. Технические особенности описываемых методов подробно разбираются в соответствующих учебных пособиях.

Часть необходимой инженерно-геологической информации обычно получают путем описания местности и пород в естественных обнажениях или образцов, полученных из горных и буровых выработок.

По существу методика выбора маршрутов и описание местности не отличаются от применяемых в процессе геологической и гидрогеологической съемок, поэтому на них мы останавливаться не будем. Отдельные специфические особенности изучения местности при инженерно-геологической съемке будут описаны ниже (см. раздел «Инженерно-геологические поиски»). Описание горных пород как в естественных обнажениях, так и в горных выработках имеет некоторые специфические особенности, определяемые конечными целями инженерно-геологических исследований.

При описании местности в инженерно-геологических целях должны быть охарактеризованы: геоморфологические условия, условия залегания горных пород, наблюдаемые физико-геологические явления, гидрогеологические условия и водопроявления (источники, заболоченности и т. д.).

Устанавливается стратиграфическая принадлежность горных пород, выясняется их происхождение обычными при геологическом описании способами с использованием ряда признаков: характера фауны, последовательности напластования, взаимоотношений пород, характера контактов, минерального и механического состава, типа цементации, состава цемента и др.

Целями инженерно-геологического описания горных пород являются:

1. Составление геологических разрезов по данным описания горных пород, которое производится обычными, принятыми в геологии способами. Все же геологические разрезы, составленные для инженерно-геологических целей, отличаются одной очень важной особенностью: степень их детализации зависит не только от принятого масштаба, но и от типа сооружения и стадии инженерно-геологических исследований.

При инженерно-геологических исследованиях приходится учитывать такие элементы разреза, которым обычно не уделяется внимание при составлении геологических разрезов для других целей. В связи с этим необходимо тщательно описывать разрез пород, чтобы в дальнейшем, учитывая характер напряжения, вызванного воздействием сооружения, можно было определить роль каждого из геологических элементов, слагающих естественное основание того или иного сооружения. Кроме того, при построении геологических разрезов для инженерно-геологических целей на них обязательно должны быть отражены гидрогеологические данные, учитываемые при инженерно-геологической оценке условий строительства.

2. Инженерно-геологическая типизация горных пород, однородных в инженерно-геологическом отношении. При этом учитывается их генезис, минералогический состав, текстура, структура, показатели физико-технических свойств, включая результаты пенетрации и наблюдений, полученные в процессе полевого изучения горных

пород, проходки горных и буровых выработок (процент выхода и состояние керна, потери промывочной жидкости, давление на забой и т. п.).

3. Изучение физико-технических свойств инженерно-геологических типов пород с последующим выделением инженерно-геологических элементов горных пород.

Описание горных пород производится в процессе съемки, производства горно-буровых и опытных работ, при отборе монолитов и изучении их в лаборатории.

Различают первичное и контрольное описание пород. Первичное описание пород производится по мере проходки горных выработок: в закопущках, канавах, шурфах, шахтах — по мере проходки 1—1,5 м выработки; при бурении скважин описание производится при каждом извлечении породы из скважины.

Прежде чем приступить к описанию пород в стенках выработки или в кернах, следует очистить их от налетов, свалившейся сверху породы, счистить корочку подешенной породы. Несколько образцов следует разломить на мелкие кусочки, чтобы изучить состав породы и возможные включения. Нужно иметь в виду, что извлекаемый из буровых скважин керн бывает покрыт с поверхности слоем шлама, а в его периферийных частях структура породы может быть нарушена в процессе бурения. Поэтому керн перед описанием очищают от шлама и часть его срезают острым ножом.

Вообще говоря, порядок описания может быть любой, но для сохранения времени и удобства общения материалов следует это описание унифицировать. Ниже приводится более или менее общепринятый примерный порядок описания горной породы: название; цвет (сухой, влажной); минеральный и механический состав; включения (форма, состав, количество); характер цементации и состав цемента; наличие пор и пустот, их характер, размеры, размещение; наличие трещин, их генезис, закономерности размещения в пространстве, характер заполнения, состав заполнителя; сложение породы; наличие, состав и характер распределения нестойких составляющих (растворимых, органических); размер и форма отдельностей; влажность; консистенция; общая прочность массива и прочность породы в отдельных кусках; степень размокаемости; характер наменения породы и ее свойств по простиранию и разрезу; характер контактов в кровле и подошве.

С целью унификации и ускорения работы часто при описании пород используют бланки, изготовленные заранее вручную или типографским способом.

Особое внимание при описании следует уделить слабым прослоям (например, даже тонким прослоям пластичных глин), контактам, трещинам, так как именно по ним может произойти смещение сооружения. Следует иметь в виду, что при проходке буровых скважин такие прослои обнаружить трудно, а иногда и невозможно, так как при ручном бурении нарушается структура пород, и тонкие прослои могут переместиться вместе с породами ниже- или вышележащих



слоев. При колонковом бурении с промывкой слабые прослои могут быть разрушены, а составляющие их минералы вынесены промывочной жидкостью; такие прослои легче обнаружить в горных выработках большого сечения (в шурфах, шахтах) и в естественных обнажениях.

При изучении разрезом правильному выделению слабых прослоев помогает опробование пород на сопротивление вдавливанию штампов (пенетрация). Каждую разновидность породы следует опробовать на сопротивление вдавливанию штампа. Однако этот способ опробования неприменим в естественных обнажениях, где породы уже высохли, подверглись выветриванию и, естественно, изменили свою природную плотность. Особенно ценные данные для инженерно-геологических выводов дает сопоставление описания выветрелых и неветрелых образцов одних и тех же пород.

Как отмечалось выше, при описании горных пород дается и характеристика состояния горных пород, для чего используются простейшие приемы, известные из курса грунтоведения. Трещиноватость горных пород изучается в основном при их полевом описании. При описании трещин необходимо изучать и описывать: 1) расположение трещин; 2) их длину и глубину; 3) степень раскрытости, ширину и частоту; 4) характер трещин и их заполнения; 5) состав и свойства заполнителя. Определение расположения трещин и измерение элементов их залегания производится принятыми в геологии способами.

По степени раскрытости или ширине трещин целесообразно различать:

- 1) трещины закрытые, слабо видимые, иногда едва заметные;
- 2) трещины открытые:
  - а) капиллярные шириной не более 0,25 мм;
  - б) некапиллярные шириной более 0,25 мм.

Наличие закрытых или волосных трещин определяется путем разламывания кусков породы, постукивания по куску породы молотком или прокрашиванием куска породы в лабораторных условиях. Для открытых трещин необходимо измерять ширину и проверять ее изменение по протяженности. Глубину трещин обычно измерить очень трудно, особенно если трещина непрямолинейная или заполнена каким-либо материалом. В свежих прямолинейных трещинах измерение глубины не представляет особого труда и может быть выполнено погружением в трещину стальной рулетки, тонкого металлического прута и т. п. Правда, при этом может быть получена не полная глубина трещины, а глубина лишь некоторой ее части, так как измерительный предмет может проникнуть в трещину на глубину, ограниченную шириной трещины или наличием в ее нижней части какого-либо заполнителя. Так, Г. И. Тер-Степанян предлагает в таких случаях ограничиваться измерением так называемой эффективной глубины трещины, т. е. глубины наиболее открытой ее части, что может представлять большой практический интерес при инженерно-геологической оценке пород.

При описании трещин надо указывать их форму, характер поверхности стенок (гладкая, шероховатая, глянцевая и т. п.), наличие налетов на поверхности (железистые, известковистые и т. д.), приуроченность налетов и характерных форм к определенной глубине, зоне, части трещины.

Следует обращать внимание на распределение в породе не только трещин, но и пустот другой формы — каверн, жезд, каналов, пор; надо отмечать их форму, характер, приуроченность к породам определенного состава, выявлять связи с условиями залегания и т. п. Необходимо также проследивать затухание трещин с глубиной, устанавливать приуроченность их распространения и затухания к определенному типу пород или к условиям их залегания.

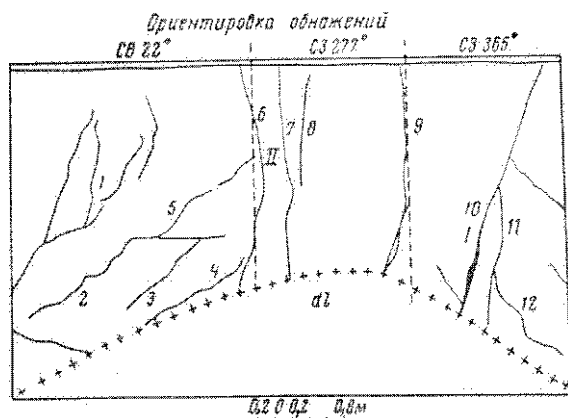


Рис. 21. Зарисовка трещиноватости алевроитов бучакского яруса Нижнего Поволжья (по И. Н. Ивановой)

1 — номера образцов и места их отбора; 2 — номера трещин; крестиками выделена граница детритивального шлейфа

Типичные участки трещиноватости, а также отдельные типичные трещины следует фотографировать или зарисовывать в масштабе, с указанием размера трещин, пустот, блоков и обломков (рис. 21). Все зарисовки и фотографии надо нумеровать и снабжать точными адресами, указывая их номера на разрезе и в журнале.

Для графического изображения данных, полученных при изучении трещиноватости какого-либо массива или района для инженерно-геологических целей, рекомендуется пользоваться «диаграммой кругом», предложенной Ф. П. Саваренским (1939). По этому способу круг любого диаметра делит по окружности на 360 частей (360 градусов). Через каждые 10 градусов окружность соединяют с центром круга радиусами, разделенными концентрическими кругами на 90 частей (рис. 22), причем одно деление радиуса соответствует одному градусу. Таким образом, для каждой замеренной толщины на диаграмме получится одна точка.

На таком графике, если сделать круг достаточных размеров, можно показать следующие, важные в инженерно-геологическом отношении данные:

- 1) направление падения трещины (по градусной сетке, нанесенной по окружности);
- 2) углы падения трещин (по concentрическим кругам);
- 3) наличие систем трещин (по скоплению группы точек);
- 4) открытость трещин, которую обозначают кружками, квадратами, треугольниками (например, точка № 1) или их закрытость, которую обозначают точками (например, группа точек № 2);

5) заполненность трещины тем или другим материалом — полевнутри знака: кружка, квадрата, треугольника (закрашивается соответствующим цветом или заштриховывается определенным знаком, например точки № 3, 4, 5).

Кроме того, для небольших районов или для массивов на диаграмме можно отразить и размеры трещин, изобразив условные знаки в масштабе. На такую диаграмму полезно нанести направления сбросов, долин рек, линий падения и простирания слоев, а также ориентировку осей сооружений (плотин, шлюзов и т. д.). Более подробные сведения о методике изучения трещин и их графическом изображении можно найти в специальных руководствах<sup>1</sup>.

Частоту трещин оценивают по их количеству, приходящемуся на единицу площади обнажения, стенки, дна шурфа или котлована. Для этой цели выбирают несколько (5—10) типичных участков и тщательно их зарисовывают в масштабе. Измеряя количество и ширину трещин, вычисляют показатели трещиноватости породы. В качестве показателей трещиноватости породы используют следующие.

1. Модуль трещиноватости, предложенный А. И. Силиным-Бектурным в 1939 г., под которым понимается количество трещин, приходящихся на 1 пог. м разреза породы.

<sup>1</sup> См. например, А. Е. Михайлов «Полевые методы изучения трещин в горных породах», Гостеоптехиздат, 1956.

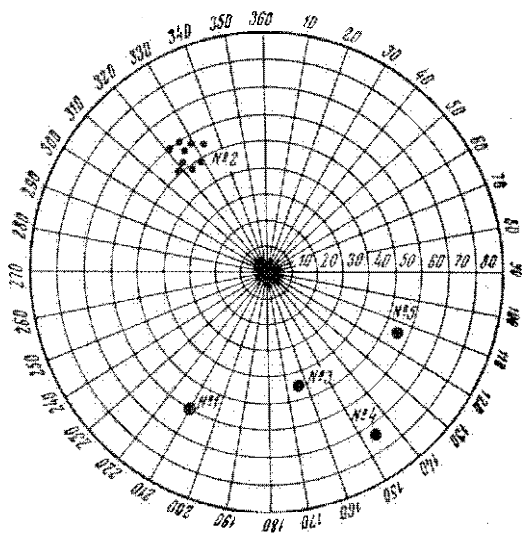


Рис. 22. Диаграмма-круг Ф. П. Саваренского (для простоты на рисунке показаны 9 concentрических кругов вместо 90)

2. Удельное растяжение, предложенное А. В. Королевым в 1951 г., под которым автор понимает отношение объема открытых трещин ко всему объему породы, выраженное в процентах.

3. Удельная густота трещин (Пермяков, 1949 г.), определяемая выражением

$$q = U_{\text{тр}} \cdot t_{\text{ср}},$$

где  $U_{\text{тр}}$  — количество трещин одного направления на 1 м длины изучаемого разреза (берется среднее количество трещин, приходящееся на 1 пог. м, при изучении 20—50 пог. м изучаемого разреза);

$t_{\text{ср}}$  — средняя ширина трещин.

4. Коэффициент трещинной пустотности (Нейштадт, 1957), т. е. отношение площади трещин к площади породы, выраженное в процентах.

Л. И. Нейштадт полагает, что, зная величину коэффициента фильтрации для какого-либо участка и используя предлагаемый ею коэффициент трещинной пустотности, можно с некоторым приближением оценить водопроницаемость трещиноватых пород любого другого участка по соотношению:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{k_{\text{тр}1} \cdot W_1^2}{k_{\text{тр}2} \cdot W_2^2},$$

где  $k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты фильтрации пород соответственно на первом и втором участках;

$k_{\text{тр}1}$  и  $k_{\text{тр}2}$  — коэффициенты трещинной пустотности соответствующих участков;

$W_1$  и  $W_2$  — ширина трещин соответственно на первом и втором участках, мм.

Л. И. Нейштадт совершенно правильно отмечает, что предлагаемый ею метод является для инженерно-геологических целей в известной мере приближенным и что в дальнейшем следует ввести ряд дополнительных коэффициентов, учитывающих рассеянность трещин, изменения их с глубиной и др.

Отметим, также, что при инженерно-геологической оценке трещиноватости горных пород необходимо учитывать происхождение трещин, так как при одном и том же значении коэффициента трещинной пустотности, например тектонические трещины могут распространяться на большую глубину, а трещины выветривания — затухать на незначительной глубине.

5. Количество трещин, пересекаемых буровой скважиной, на единицу глубины скважины. В этом случае подсчет количества трещин производят по керну пород, извлеченных из скважины.

Следует отметить, что этот способ весьма неточен, так как часто в процессе бурения керн разрушается, частично истирается, увлекается в виде окатанных кусков и признаки наличия трещин



исчезают. Кроме того, по керну часто бывает очень трудно определить направление трещин.

6. Процент выхода керна. В этом случае измеряют длину извлеченного из скважины керна, для чего отдельные куски его тщательно складывают и относят к длине рейса. Отношение длины керна к длине рейса, выраженное в процентах, принимается за количественную характеристику трещиноватости пород и наносится в виде графика на разрез скважины. На том же графике отмечают провалы бурового инструмента, когда он попадает в значительные по размерам пустоты.

Следует отметить, что процент выхода керна можно использовать только в качестве косвенной и очень ориентировочной характеристики степени трещиноватости пород, так как исходная величина (длина керна) для вычисления этого показателя может быть существенно искажена за счет истирания породы, вымывания промывочной жидкостью слабых прослоев пород, растяжения и сжатия глинистых пород в процессе бурения. Поэтому процент выхода керна приходится рассматривать как вспомогательную характеристику при наличии данных о степени трещиноватости, полученных другим путем.

7. Количество воды, поглощаемое 1 пог. м ствола скважины (удельное водопоглощение) при ее бурении (поглощение промывочной жидкостью) или при проведении специальных опытов по нагнетанию воды в скважины. Этот показатель также наносят на разрез скважины.

8. Коэффициенты фильтрации, определяемые методами, разработанными в гидрогеологии.

Все количественные показатели степени трещиноватости горных пород, перечисленные выше, могут быть использованы:

- 1) для сравнительной оценки степени трещиноватости пород;
- 2) для классификационных целей;
- 3) для определения степени применимости различных способов улучшения свойств пород (например, цементации трещиноватых пород осуществима только при определенных размерах трещин или при достаточной величине удельного водопоглощения).

Для практического использования многие исследователи предлагали различные классификации трещин, однако наиболее полной, учитывающей большое количество факторов, является в настоящее время классификация, предложенная Л. И. Нейштадт (1957).

## 2. Аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения

При геологической съемке уже достаточно давно применяют аэрометоды: аэрофотосъемку и аэровизуальные наблюдения.

Планные и перспективные фотоснимки с вертолетов и самолетов, сделанные с помощью специально сконструированных аппаратов, позволяют получить представление о морфологии поверхности, особенностях рельефа, растительности, почвах и т. п. В качестве признаков, изучаемых на фотографии, используются тон, цвет, форма

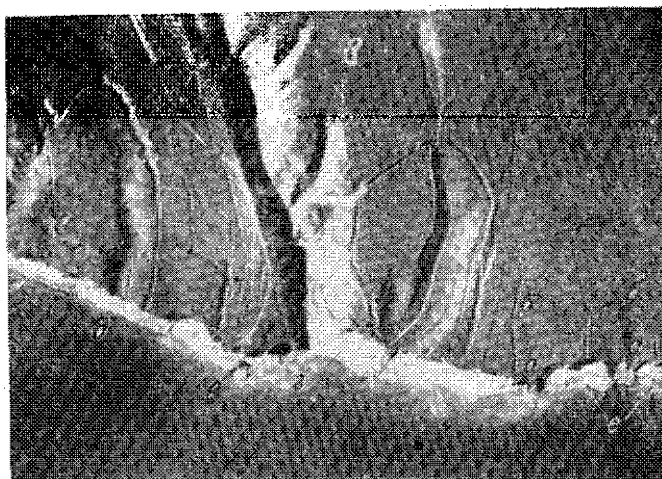


Рис. 23. Оползни на берегу Куйбышевского водохрани-  
лища (из работы Г. К. Бондарика, И. С. Комарова,  
В. Н. Ферронского, 1968)



Рис. 24. Оползень-поток в нижнем течении Волги (из ра-  
боты Г. К. Бондарика, И. С. Комарова, В. Н. Феррон-  
ского, 1968)

и размеры объектов, структура изображения и пр. Следует отметить, что большинство из этих признаков не имеет точных критериев и они в значительной мере субъективны.

Таким образом, непосредственные признаки, учитываемые при инженерно-геологической оценке местности, на аэрофотоснимках почти не отображаются. Исключения составляют явные тектонические нарушения и некоторые физико-геологические явления, например оползни и карст, которые довольно четко выражены на аэрофотоснимках (рис. 23, 24, 25, 26).

Рельеф, растительность, характер почвы и другие признаки с той или иной точностью могут быть отражены на аэрофотоснимках, но в дальнейшем они должны быть связаны с геологическими факторами (например, с горными породами, подземными водами), а последние должны получить инженерно-геологическую оценку. По тону, цвету, форме, размерам, структуре фотоснимков определяются геоморфологические, гидрографические, геоботанические, почвенные условия, а также характер хозяйственного освоения территории. В дальнейшем по перечисленным выше признакам выявляются геологические условия: состав пород, условий залегания подземных вод и пр. Для этого используются так называемые коррелятивные зависимости. Действительно, в природных условиях часто проявляется взаимовлияние различных факторов. Например, характер растительности зависит от глубины залегания подземных вод, состава и свойств пород и т. п. Однако эти коррелятивные зависимости носят сложный характер (например, на характер растительности влияет не один, а множество факторов, удельное значение которых неодинаково), они проявляются постепенно, иногда резко затухают с глубиной и не всегда дают возможность однозначного решения вопроса. В силу этого приходится предварительно с помощью комплекса наземных исследований (геоботанического изучения, проверки бурением и т. п.) выявлять природные взаимосвязи, проводя контрольные маршруты или изучая отдельные так называемые эталонные участки. Например, приходится устанавливать, какой глубине грунтовых вод отвечает то или иное растительное сообщество. Выявленные таким образом геоморфологические и геологические условия интерпретируются в инженерно-геологическом отношении.

Дешифрирование аэрофотоснимков дает возможность составить предварительное представление об инженерно-геологических условиях изучаемой местности, оно обычно проводится до наземного изучения территории (а иногда параллельно с ним) и в значительной мере ускоряет процесс инженерно-геологической съемки. Однако оно требует специальных знаний и опыта.

Более непосредственные представления об инженерно-геологических условиях местности можно получить с помощью аэровизуальных наблюдений, производимых с вертолета или самолета с различной высоты. В этом случае исследователю очень помогают естественные цвета наблюдаемых объектов (например, цвет обнаженных пород), которые в той или иной мере искажаются на фотоснимках,

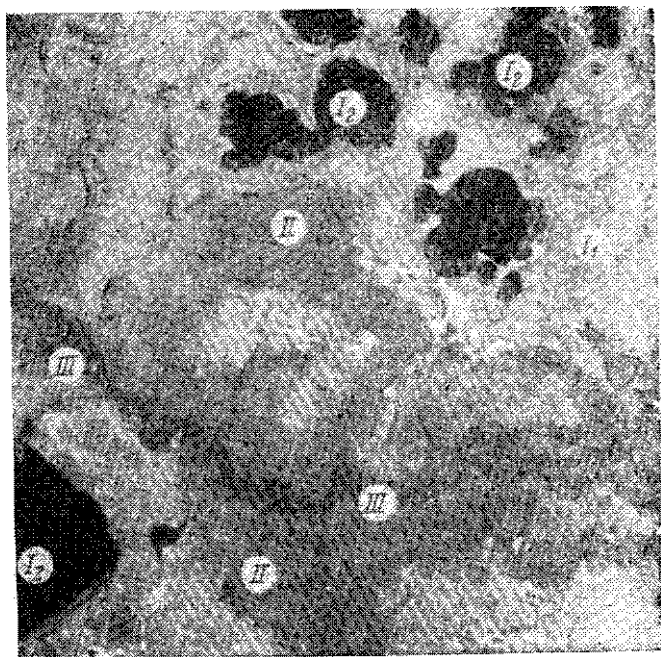


Рис. 25. Термокарстовые озера на первой террасе Оби  
(фото В. М. Валиха)

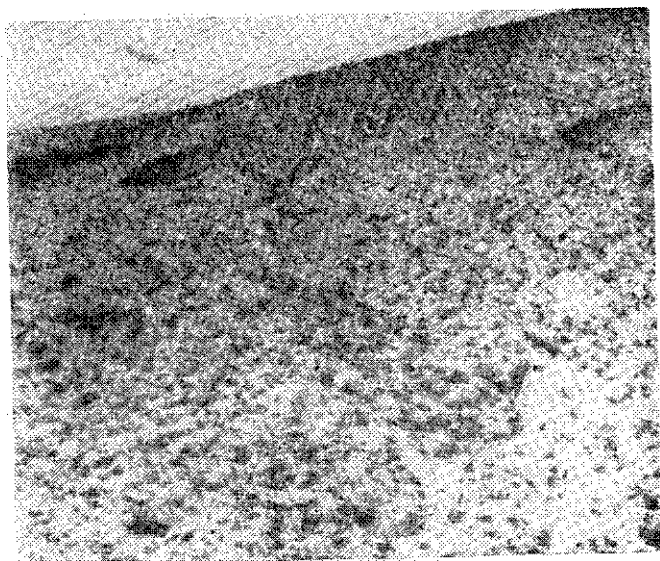


Рис. 26. Карстовые воронки (из работы Г. К. Бондарица, Н. С. Комарова, В. И. Ферроногова, 1968)



широкий диапазон обзора местности (что достигается изменением высоты облета), возможность изучения местности в природном виде, а не по «модели», отображаемой на фотоснимке. Однако основа метода здесь та же, что и при аэрофотодешифрировании, т. е. визуально наблюдаются и регистрируются морфологические и ландшафтные признаки, а затем на основании коррелятивных связей дается их инженерно-геологическая расшифровка.

Следует отметить, что и аэровизуальные наблюдения требуют определенных знаний и навыков, так как различаемость объектов, их цвет, конфигурация и т. п. в значительной мере зависят от высоты облета, скорости полета, состояния атмосферы и т. п.

Аэровизуальные наблюдения дают возможность уточнить результаты дешифрирования аэрофотоснимков, более четко выявлять геоморфологические особенности местности, фиксировать места проявления некоторых физико-геологических процессов (оползней, карста, просадок и т. п.), иногда отмечать местоположение возможных месторождений строительных материалов (песка, гравия, камня и т. п.).

Применимость аэрометодов зависит от масштаба съемки — чем крупнее ее масштаб, тем менее целесообразно применение аэрометодов. Действительно, при съемке, например, в масштабе 1 : 2000 или 1 : 5000 изучению подвергается обычно территория площадью 0,25—0,5 км<sup>2</sup>, реже до нескольких квадратных километров. При таких площадях экономически нецелесообразно, а технически весьма трудно организовать аэрофотосъемку, тогда как при съемках масштаба 1 : 100 000 и мельче, когда съемкой покрываются обширные площади, аэрометоды дают значительный экономический и технический эффект.

При культурном освоении территории в большей или меньшей степени подвергаются изменению или полному уничтожению признаки, положенные в основу дешифрирования аэрофотоснимков — естественная растительность уничтожается и насаждается искусственная; производятся срезки и поделки земли, искажающие естественную морфологию; спрямляются, изменяют свое направление, размеры и форму (искусственные водоемы) водотоки и т. п. Тем самым нарушаются существующие в природе коррелятивные зависимости между ландшафтными признаками и геологическими условиями, в силу чего аэрофотометоды становятся или совершенно неприменимыми или весьма условными. Следует признать, что применение аэрофотометодов наиболее целесообразно при изучении неосвоенных в народно-хозяйственном отношении территорий, например, северо-восточных районов СССР.

## § 13. ГОРНЫЕ И БУРОВЫЕ ВЫРАБОТКИ И ЗОНДИРОВАНИЕ

### 1. Горные выработки

Во всех случаях производства инженерно-геологических исследований в первую очередь следует использовать естественные обнажения и искусственно вскрытые разрезы — строительные котлованы,

дорожные выемки, выбросы землероющих животных и т. п. При плохой обнаженности местности приходится прибегать к искусственному вскрытию разреза с помощью различных горных выработок.

При инженерно-геологических исследованиях применяются почти все типы горных выработок, проходится выработки с помощью того же технического оборудования, которое вообще применяется в геологоразведочном деле. Условия применения этих технических средств, режимы проходки горных выработок, а иногда и сами технические средства существенно изменяются в зависимости от тех задач, которые ставятся перед инженерно-геологическими исследованиями.

Специфической особенностью инженерно-геологических исследований, определяющей тип и режим проходки горных выработок, является необходимость:

1) выделения в разрезе таких иногда мелких элементов разреза, например тонких ослабленных прослоев глин, которые определяют устойчивость и долговечность сооружений;

2) изучения состояния и свойств пород, что связано с применением особой аппаратуры непосредственно в горной выработке, с отбором проб воды или пород с естественной структурой и влажностью при помощи грунтоносов различных систем;

3) производства в горных выработках инженерно-геологических и гидрогеологических наблюдений и опытных работ (наблюдения за положением уровня подземных вод, производство опытных нагрузок, откачек и т. п.).

В связи с этими особенностями проходки горных выработок для инженерно-геологических целей следует отметить два важных обстоятельства. Во-первых, в большинстве случаев для производства инженерно-геологических исследований предпочтительны так называемые открытые горные выработки, т. е. такие, которые обеспечивают непосредственный доступ наблюдателя к горным породам с целью их осмотра, испытания, отбора проб, т. е. шурфы, скважины большого диаметра и т. п. Однако это часто противоречит экономическим соображениям, так как в большинстве случаев проходка открытых выработок обходится значительно дороже бурения скважин, что необходимо учитывать при составлении плана работ. Во-вторых, инженерно-геологические особенности проходки горных выработок нередко требуют изменения норм, установленных для других отраслей геологоразведочных работ, а также особого режима проходки. Например, необходимость проведения наблюдений за установлением уровня подземных вод нередко заставляет на длительное время останавливать проходку выработки, для отбора проб слабых пород с ненарушенной структурой и естественной влажностью приходится уменьшать давление на забой, сокращать число оборотов бурового снаряда, ограничивать, а иногда и совершенно прекращать подачу промывочной жидкости.

Каждый тип горной выработки применим только в определенных условиях, и при оценке инженерно-геологических условий местности

позволяет решать только определенные задачи. Ниже приводится краткая характеристика условий применения различных типов горных выработок.

**Закопушки** — мелкие воронкообразные выработки диаметром 0,2—0,3 м и глубиной 0,5—0,8 м проходят в основном при инженерно-геологической съемке с целью вскрытия тонкого почвенного слоя, делювиальных и других отложений для составления разреза пород, залегающих под этими слоями, и для прослеживания контактов коренных пород. Часто описание закопушек можно заменять описанием имеющихся на местности углублений: промоин, нор различных землероющих животных и выбросов из нор, стенок кюветов дорог, воронок от бомб и т. п. Из закопушек отбирают образцы для составления геологического разреза и определения классификационных показателей свойств пород (гранулометрического анализа, показателей пластичности и пр.).

**Канавы**, траншеи, открытые выработки, проходят независимо от рельефа местности для вскрытия пластов с крутым падением. Задают их обычно вкrest простирания пластов и врезаются в них на 0,2—0,5 м. При работе «на выброс» глубина канавы может достигать 3 м, более глубокие канавы проходить нецелесообразно. В канаве удобно отбирать образцы пород с ненарушенной структурой и естественной влажностью, производить фотографирование, делать описания и зарисовки условий залегания пород.

**Расчистки** проводят на склонах, при расчистках производят свал делювия или осыпей со склона с целью обнажения залегающих под ними пород. Часто расчистками снимают и выветрелый слой коренных пород. Расчистки удобно проводить, сваливая породы сверху вниз, иногда их делают ступенчатыми.

Расчистки удобны тем, что они не требуют большого объема земляных работ и позволяют изучать породу в выветрелом состоянии. Из расчисток чаще всего отбирают образцы для построения геологического разреза и определения классификационных показателей свойств пород. Образцы пород с ненарушенной структурой и естественной влажностью отбирают только в том случае, когда есть уверенность, что расчисткой снят весь выветрелый слой породы.

**Шурфы и дудки**, вертикальные горные выработки прямоугольного (шурфы) или круглого (дудки) сечения проходят в сухих рыхлых породах, залегающих горизонтально или с небольшими углами падения. Изредка шурфы проходят с применением водоотлива. Глубина шурфа обычно составляет 10—12 м, в отдельных случаях до 30 м. Шурфы и дудки, как и другие открытые горные выработки, удобны тем, что они доступны для непосредственного осмотра наблюдателем. В шурфах и дудках можно не только производить описание пород, их зарисовку и фотографирование, но и опробовать каждый пласт с помощью пенетromетра с целью определения консистенции пород. Из шурфов и дудок отбирают образцы для построения геологического разреза и определения классификационных

показателей, монолиты пород с ненарушенной структурой и естественной влажностью.

За последнее время появились специальные шурфокопательные машины, позволяющие проходить шурфы круглого сечения диаметром до 1,3 м и глубиной до 30 м (КШК-30). В Мосгоргеотресте сконструирована и опробована для инженерно-геологических целей шурфокопательная машина ШКМ-1, позволяющая проходить шурфы диаметром до 800 мм на глубину до 10 м. Эта машина проста в обращении, обслуживается бригадой из 3 человек, позволяет проходить шурфы в рыхлых связных и сыпучих породах, ее производительность в четыре раза превышает производительность проходки шурфов ручным способом.

Шахты имеют то же назначение, что и шурфы, но используются для опытных работ более крупных масштабов. Шахты являются весьма дорогостоящими выработками, их проходят только на крупных объектах силами специализированных организаций.

В неблагоприятных условиях при проходке шахт и шурфов прибегают к искусственному улучшению свойств пород, например к замораживанию, если выработка проходит в плавкунах или в обводненных рыхлых породах. Для проведения инженерно-геологических наблюдений и опытов в шахтах в каждом отдельном случае применительно к конкретным условиям составляют специальные программы инженерно-геологических исследований.

Штольни, горизонтальные горные выработки, проходят чаще всего на склонах, по простиранию или вкрест простирания пластов. Назначение штолен различное. Их проходят при изучении трещиноватости пород, слагающих береговые склоны в местах возведения плотин, для оценки потерь воды из водохранилища в обход плотины, для решения вопроса о необходимости и размерах противофильтрационной завесы и т. д.

Например, штольня была пройдена в правом примыкании Волгоградской плотины. В правом примыкании Мингечаурской плотины штольни проходились для изучения трещиноватости пород и определения мощности оползневой тела, прикрывающего коренные породы. В районе размещения здания Атарбекинской ГЭС, сложенного сильно дислоцированными меловыми известняками, штольня была пройдена для изучения элементов залегания и трещиноватости пород, так как исследователи опасались крупных вывалов пород; эта штольня вскрыла прослой глинистых продуктов выветривания этих пород, находящиеся в разжиженном состоянии. При исследовании района предполагаемого строительства Ткварчельской ГЭС с помощью штолен были вскрыты огромные карстовые пещеры. Как отмечает Ф. П. Саваренский (1939), только штольни могут помочь обнаружить поверхности или зоны скольжения оползневых тел.



## 2. Буровые скважины

Вести инженерно-геологические исследования с помощью буровых скважин менее удобно, чем с помощью горных выработок, в которых наблюдатель непосредственно может осматривать породы. Однако проходка глубоких шурфов и длинных штолен значительно дороже бурения скважин и часто представляет большие технические трудности, удлиняет сроки работ. Кроме того, в ряде случаев скважины дают вполне достаточный и надежный материал для решения практических вопросов, например, когда изучаются прочные породы, из которых можно извлекать керна хорошей сохранности.

Бурение широко применяется в основном для исследования горизонтальных или пологопадающих пластов. При сложном геологическом строении применяется бурение наклонных скважин, которые проходятся иногда и для решения специфических задач. Так, например, на оползневом склоне в Гурауфе было пройдено несколько горизонтальных скважин, предназначенных для вывода воды из щебенисто-глинистых оползневых накоплений, обилие которой было одной из причин интенсивных оползневых подвижек.

При инженерно-геологических исследованиях применяются главным образом следующие виды бурения скважин:

- 1) ручное ударно-вращательное,
- 2) вращательное колонковое,
- 3) вибрационное,
- 4) шнековое.

Другие виды бурения, которые не дают возможности отбора керна, либо вообще не применяются для инженерно-геологических исследований (ротаторное), либо применяются редко (ударно-канатное бурение). В последнее время, в связи с конструированием малогабаритных гидротурбин, известную перспективу применения при инженерно-геологических исследованиях получило гидротурбобурение.

Ручное ударно-вращательное бурение, несмотря на крупные недостатки, еще часто применяется при инженерно-геологических исследованиях. При ударно-вращательном бурении с наконечников отбирают перемятые, а иногда и перемешанные породы. Так, например, при разведке месторождения песков, предназначенных для намыва земляных плотин Горьковской ГЭС, проводившейся этим способом бурения, были получены вполне удовлетворительные данные о качестве песков. Однако при вскрытии месторождения в процессе строительства в песке было обнаружено значительное скопление органических веществ, которое не было замечено в процессе бурения, так как при отборе буровых образцов песок смешивался с органическим веществом.

Применение этого вида бурения встречает большие затруднения при проходке обводненных рыхлых несвязных или слабосвязных пород (песков, супесей, илов и т. п.), так как из них редко удается извлечь удовлетворительные образцы пород. При извлечении из скважины порода часто смывается с бурового наконечника, а

применение желонки ведет к сильному перемешиванию пород, вследствие чего нельзя установить не только структуру и текстуру пород, но часто даже и порядок напластования.

При ударно-вращательном бурении для инженерно-геологических целей широкое распространение получили грунтоносы, которые позволяют отбирать образцы с естественной структурой и влажностью.

Колонковое бурение наиболее часто применяется при инженерно-геологических исследованиях, оно позволяет получать керн с сохранившейся структурой и влажностью.

Колонковое бурение нельзя применять при проходке скважин в рыхлых несвязных отложениях (песках, галечниках и т. п.) и в породах, разрушенных выветриванием, так как в этом случае нельзя получить керна хорошей сохранности. Опыт показал также, что при обычных скоростях вращения и при бурении с промывкой супесчаных, суглинистых и глинистых пород, содержащих слабые прослой, нарушается структура пород, изменяется их влажность и происходит размывание слабых прослоев. Чтобы получить керн пород с ненарушенной структурой и влажностью увеличивают диаметр бурения, уменьшают до минимума длину рейса проходки и количество промывочной жидкости, а иногда даже вообще отказываются от промывки.

К сожалению, в настоящее время еще не разработаны режимы бурения, обеспечивающие сохранность естественных структур и влажности пород применительно к различным типам пород и к их физическому состоянию. Обычно на практике поступают следующим образом. При изучении объектов с малым объемом работ и при проходке более или менее изученных пород применяют режимы бурения, оправдавшие себя на опыте. При изучении крупных объектов и при проходке малоизученных пород следует подобрать оптимальный режим бурения путем постановки простейших опытов. В этом случае визуально изучают структуру пород, извлеченных из скважины, отмечают признаки нарушения их структуры (скручивание, растягивание, степень раздробления керна, изгибы проиастков и т. п.), в кернах, выбуренных при различных режимах бурения. Такие нарушения особенно заметны при сравнении породы в кернах с породой, вскрытой в естественных обнажениях. Кроме того, на свежеразрезанного по диаметру керна (от периферии к центру) отбирают 4—5 небольших образцов для определения естественной влажности, по степени изменения которой определяют ее изменения в процессе бурения.

Используя этот метод, З. А. Макеев в 1935 г. установил, что при отборе кернов плотных пород (например, глины) с помощью колонкового снаряда, оснащенного зубчатками или коронками, армированными твердыми сплавами (например, победитом), необходимо подвешивать снаряд так, чтобы ограничивать его давление на забой скважины и таким образом уменьшить нарушение структуры породы. На основании результатов своих опытов З. А. Макеев рекомендует

бурить такие породы со скоростью, не превышающей 50—60 оборотов в минуту.

В последнее время для проходки скважин при инженерно-геологических исследованиях стали применять **вибрационный метод бурения**. Вероятно, в силу новизны этого метода и недостаточной изученности его применимости в различных естественных условиях в настоящее время существует несколько точек зрения на целесообразность его применения для инженерно-геологических целей. Д. Д. Баркан, впервые предложивший использовать виброметод для погружения в породы свай и пилунтов, а также для бурения скважин, считает, что он весьма эффективен и не искажает физико-технические свойства пород. В подтверждение своего мнения Д. Д. Баркан приводит данные М. Г. Ефремова, показывающие сравнительно небольшие расхождения между значениями показателей физико-технических свойств пород, полученных по образцам, извлеченным из шурфов и из виброскважин.

Д. Д. Баркан считает, что виброметодом можно проходить скважины в рыхлых породах на глубину 25—30 м примерно по 2 м за рейс. Для этого он предлагает использовать легкие вибромолоты мощностью 1,5—2 *квт* и весом 100—120 *кг*. Н. Ф. Пальников отмечает, что «... этот способ бурения позволяет проходить скважину глубиной в 10 м за полчаса вместо 8—10 час, которые затрачивались при ручном способе бурения. Вибрационное бурение скважин позволило повысить производительность бурения мелких скважин в 15—25 раз по сравнению с ручным бурением, а стоимость проходки скважины уменьшилась в 3—6 раз». В. С. Москалев, исходя из опыта Мосторгостреста, приводит сравнительные данные опробования в основном четвертичных пород. Из этих данных следует, что при вибробурении уменьшается пористость пород на 2,2% и их влажность на 2,4%, а объемный вес увеличивается до 0,02 *г/см³*, что едва ли имеет большое практическое значение.

Следует отметить, что при проходке скважин с помощью вибрации трудно, а иногда и невозможно фиксировать уровни подземных вод.

**Шнековое бурение** скважин применимо только в рыхлых породах и далеко не всех. Этот метод отличается большой скоростью проходки выработок, но имеет ряд существенных недостатков:

- 1) при проходке трудно определять границы различных пород;
- 2) трудно, а иногда и вообще невозможно фиксировать уровни подземных вод;
- 3) при извлечении из выработок нарушается структура пород.

По этим причинам шнековый способ проходки скважин может быть использован только для бурения скважин, подтверждающих в основном ранее изученный разрез пород и уже установленную глубину залегания подземных вод.

### 3. Зондирование (пенетрация)<sup>1</sup>

В последние годы как в СССР, так и за границей получила распространение проходка выработок методом статического и динамического зондирования. Зондирование позволяет значительно сокращать объемы картировочных разведочных работ и с достаточной для практических целей точностью решать следующие задачи:

1) детально расчленять геологический разрез при наличии сети опорных горных выработок;

2) определять относительную плотность пород;

3) определять плотность и модули деформации песчаных разнотелых пород;

4) определять консистенцию глинистых пород.

Сравнительная простота оборудования и производства работ определяют большую экономичность этого метода.

Весьма показательны в этом отношении сравнительные данные (табл. 5), полученные А. Н. Лужецким при проведении работ в районе Херсона.

Таблица 5  
Сравнение производительности бурения скважин  
и динамического зондирования

| Время выполнения работ  | Пробу-<br>рени, м | Количе-<br>ство<br>станко-<br>месяцев | Скорость<br>проходки,<br>м на станко-<br>месяц |
|---|-------------------|---------------------------------------|--|
| Бурение инженерно-геологических скважин<br>станком СБУД 150-ЗИБ |                   |                                       |  |
| Май   | 291,4             | 0,73                                  | 400  |
| Июнь  | 260,7             | 0,26                                  | 769  |
| Сентябрь  | 187,0             | 0,29                                  | 545  |
| Динамическое зондирование                                       |                   |                                       |  |
| Ноябрь  | 500,0             | 0,31                                  | 1500   |
| Декабрь   | 1501,0            | 0,81                                  | 1810   |
| Февраль   | 580,2             | 0,22                                  | 2673   |

Зондирование пород используется при инженерно-геологических поисках и разведке, а также при инженерно-геологическом опробовании пород. При инженерно-геологических исследованиях могут применяться забивные зонды (динамическое зондирование) или зонды, погружаемые задавливанием (статическое зондирование).

В зависимости от задач исследований, определяющих глубину зондирования, применяются:

1) установки глубинного зондирования (до глубины нескольких десятков метров), при изысканиях для гражданского, промышленного и гидротехнического строительства;

<sup>1</sup> Раздел составлен Ц. И. Ивановой.

2) пелотномеры и ударники различных систем для мелкого зондирования (до глубины 1,0—1,5 м) при исследованиях для дорожного и аэродромного строительства.

Установки статического зондирования позволяют проводить исследования до глубины 40—60 м, динамического — до 30 м.

#### 4. Динамическое зондирование

Динамическое зондирование при инженерно-геологических изысканиях в СССР применяется более широко, чем статическое, из-за простоты оборудования и сравнительной быстроты получения данных. Сущность метода заключается в измерении сопротивления породы при забивке в нее свободно падающим молотом стального конуса (наконечника). Наибольший диаметр конуса 74 мм, угол при вершине 60°.

Конический наконечник насаживают или навинчивают на штангу диаметром 42 мм. Если наконечник свободно насажен на штангу, то при извлечении штанг после зондирования он остается в породе, если же наконечник навинчен, то его извлекают вместе со штангами. При свободной насадке конуса на штангу облегчается извлечение штанг из породы, так как их диаметр меньше диаметра конуса.

При забивке конуса определяют число стандартных ударов, необходимых для погружения зонда на определенный интервал. Это число является условным измерителем динамического сопротивления породы внедрению в нее наконечника.

Изложим методику производства динамического зондирования в песках и обработки результатов зондирования, разработанные В. А. Дуранте. В. А. Дуранте предложил выражать сопротивление породы внедрению зонда числом ударов молота  $N$ , необходимым для погружения зонда на 1 *дм*

$$N = \frac{5}{\Delta S},$$

где  $N$  — условная величина сопротивления породы;

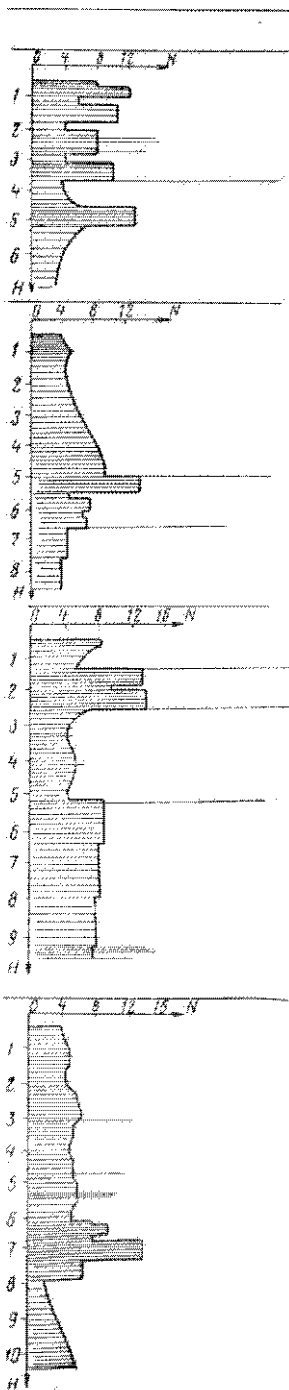
5 — число стандартных ударов молота (залог);

$\Delta S$  — действительное погружение зонда от одного залогов. *дм*.

Таблица 6

Исправленное число ударов в залого для алаувиальных песков Волги (по В. А. Дуранте)

| Глубина зондирования, м | Динамическое число ударов в залого, n | Исправленное число ударов в залого, n <sub>1</sub> | Глубина зондирования, м | Динамическое число ударов в залого, n | Исправленное число ударов в залого, n <sub>1</sub> |
|-------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------------|--|
| 0—2                     | 5                                     | 5,0  | 10—12                   | 5                                     | 2,8  |
| 2—4                     | 5                                     | 4,3  | 12—14                   | 5                                     | 2,6  |
| 4—6                     | 5                                     | 3,8  | 14—16                   | 5                                     | 2,4  |
| 6—8                     | 5                                     | 3,4  | 16—18                   | 5                                     | 2,2  |
| 8—10                    | 5                                     | 3,1  | 18—20                   | 5                                     | 2,1  |



После каждых пяти стандартных ударов молота замеряют нарастающую глубину погружения зонда, результаты замеров заносятся в журнал. В фактическое число ударов в залоге (пять) вносятся поправочные коэффициенты, учитывающие: 1) изменение веса зонда за счет наращивания штанг и 2) трение штанг о породу, которое искажает истинное значение показателя зондирования.

Коэффициенты, учитывающие трение штанг, получают экспериментальным путем, а коэффициенты, учитывающие изменение веса штанг, вычисляются по формулам. Значения исправленных чисел ударов ( $n_1$ ) в залоге для аллювиальных песков Волги, учитывающие оба этих фактора, приведены в табл. 6.

**Способы обработки получаемых данных.** По результатам зондирования строят графики, а при массовом опробовании пород методом глубинного зондирования составляют также профили и карты. На графике зондирования в произвольном масштабе по оси абсцисс откладывают число ударов, приходящихся на 1 дм погружения зонда ( $N = \frac{n}{\Delta S}$ ), а по оси ординат — нарастающую глубину погружения зонда, выражая ее в дециметрах или метрах. График дает представление об изменении сопротивления породы внедрению зонда, величину внедрения зонда на графике показывают отрезками, параллельными оси абсцисс. Пример обработки результатов зондирования толщи четвертичных отложений приведен на рис. 27.

## 5. Статическое зондирование

В настоящее время все более широко входят в практику установки, в которых наконечник (конус) задавливается не уда-

Рис. 27. Примеры интерпретации результатов зондирования толщи ледниковых отложений (по Г. Н. Бондаренку)

рами, а приложением статического давления. В основе статическое зондирование не отличается от динамического, но имеет перед ним ряд преимуществ: увеличение скорости задавливания наконечника, возможность автоматической регистрации результатов и т. д. В последнее время ЦКБ Министерства геологии СССР спроектирована самоходная установка для статического зондирования, снабженная каротажным устройством, которая значительно расширяет возможности получения характеристик для многих свойств пород. Эта установка позволяет производить пенетрацию рыхлых пород до глубины 25 м со скоростью задавливания штанг до 4 м в минуту. Зонды с датчиками, используемые для регистрации различных показателей свойств пород, навинчиваются на конец штанги. При помощи комплекса датчиков можно производить статическое зондирование, гамма-гамма-каротаж, нейтрон-нейтронный каротаж, гамма-каротаж, электрический каротаж. Эта установка позволяет: расчленять разрез по свойствам пород, оценивать степень однородности и изменчивости свойств пород, определять положения уровня подземных вод, определять объемный вес и влажность пород. Применяя специальный грунтонос можно, кроме того, отбирать образцы пород для их дальнейшего изучения.

Методы статического и динамического зондирования позволяют получать следующие данные, которые используются при инженерно-геологической оценке условий строительства.

**Детальное расчленение геологического разреза.** При инженерно-геологических исследованиях часто возникает необходимость детального геологического расчленения разреза отложений, залегающих в зоне влияния различных сооружений, с целью получения инженерно-геологической характеристики толщи в целом или отдельных элементов ее строения. Как показал опыт инженерно-геологических изысканий в СССР и за рубежом, эту задачу можно решать с помощью зондирования. Чаще всего зондирование выполняется в комплексе с бурением редких опорных скважин или проходкой открытых горных выработок. В том случае, когда известно геологическое строение участка, детальное расчленение его разреза может быть проведено по результатам только одного метода зондирования.

Высокая чувствительность наконечников зондов к сопротивлению различных пород статическому или динамическому внедрению позволяет:

- 1) расчленять геологический разрез на слои или линзы различного литологического состава;
- 2) выделять в разрезе маломощные ослабленные прослои;
- 3) определять наличие включений обломочных пород;
- 4) качественно оценивать степень однородности пород разреза;
- 5) отбивать контакты пород различной прочности с точностью до нескольких (1—5) сантиметров.

По данным зондирования можно построить геологический разрез и уточнить разрезы, составленные только по результатам бурения, поскольку различные по литологическому составу и свойствам

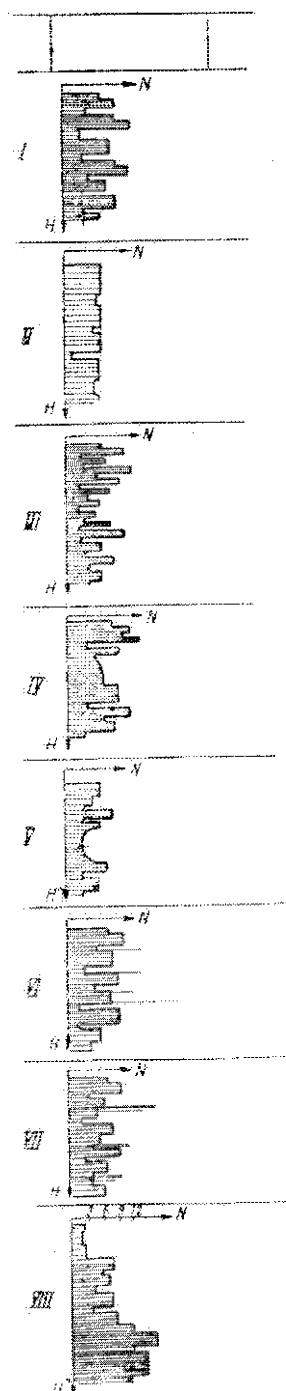


Рис. 28. Интерпретация графиков зонирования флювиогляциальных песков (по Г. К. Бондаренку)

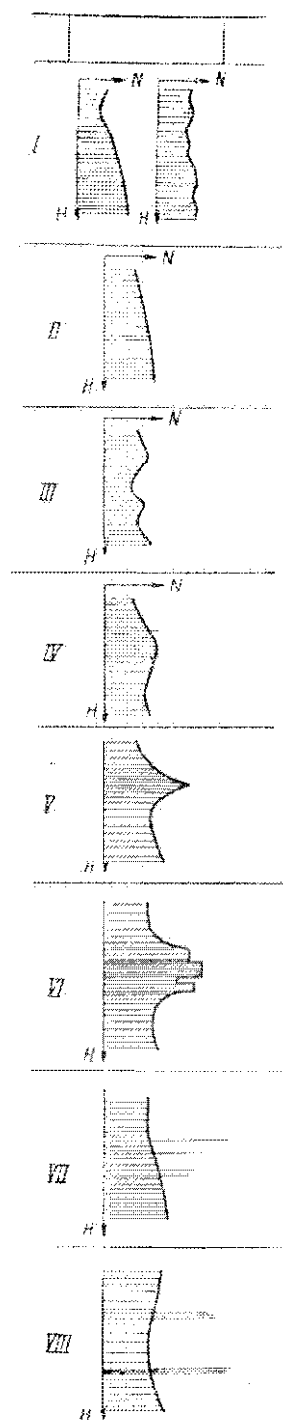


Рис. 29. Интерпретация графиков зонирования моренных суглинков (по Г. К. Бондаренку)



отложения дают графики зондирования, отличающиеся своими параметрами и формой так называемой индикационной линии.

Индикационной линией Г. К. Вондарик называет кривую или ломаную линию, соединяющую на графиках зондирования концы отрезков, выражающих условное сопротивление пород (число ударов на 1 дм погружения зонда). Индикационная линия может быть проведена и по точкам, отвечающим среднему числу ударов для отдельных интервалов, выделенных по глубине.

Анализ графиков динамического зондирования песчано-глинистых отложений ледникового комплекса показывает, что при внедрении зонда в породы разного литологического состава или различной консистенции меняется форма индикационной линии. Следует иметь в виду, что формы индикационных линий установлены только для песчано-глинистых пород ледникового комплекса, для других типов пород формы могут быть существенно иными. Рекомендуется в каждом конкретном случае опытным путем устанавливать форму индикационных линий для изучаемого комплекса пород и в дальнейшем при расчленовке разрезов использовать закономерности, установленные опытным путем.

Опишем формы индикационных линий для некоторых типов песчано-глинистых пород ледникового комплекса.

Флювиогляциальные пески. Индикационная линия для этих пород в большинстве случаев имеет ступенчатую форму (рис. 28), поскольку в пределах однородного по свойствам слоя число ударов  $N$ , определенное без учета поправок, постоянно. В этом случае индикационная линия имеет форму прямой, параллельной оси ординат. В переслаивающихся песках различной плотности индикационная линия приобретает форму ступени, причем по ее изгибам очень точно отбиваются границы слоев. Отступление от ступенчатого характера графика определяется наличием прослоев пластичных пород, а резкое увеличение числа ударов  $N$  включениями валуново-галечного материала.

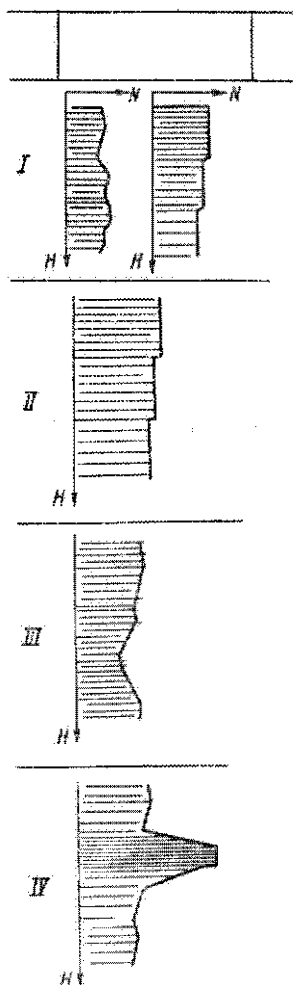


Рис. 30. Интерпретация графиков зондирования суше-сей (по Г. К. Вондарик)

Моренные суглинки. В однородных суглинках (рис. 29) индикационная линия имеет вид слабоизогнутой кривой или прямой, в неоднородных разностях она приобретает форму ломаной или кривой линии с резкими перегибами.

В однородных суглинках изгибы индикационной линии возникают вследствие увеличения с глубиной сил трения о боковую поверхность зонда. При наличии прослоев оесчаненных суглинков или супесей, в которых индикационная линия приобретает ломаный характер,

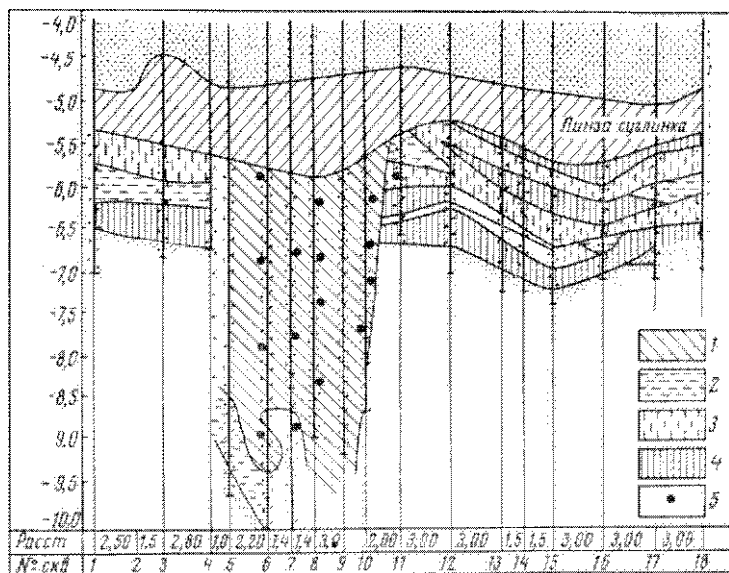


Рис. 31. Изменение плотности песков в основании бетонной плиты, установленное с помощью динамического зондирования (по В. А. Дуранте)

Зоны плотности песков, соответствующие погружению зонда на 10 см при различном количестве ударов: 1 — до 5; 2 — от 5 до 10; 3 — от 10 до 15; 4 — более 15; 5 — места отбора проб

прослой песков выражается ступенчатой формой индикационной линии.

По графику зондирования можно ориентировочно оценивать и изменения состояния суглинков по разрезу. В однородных суглинках разной консистенции индикационная линия имеет различную форму. Для однородных суглинков текучей консистенции это слабоизогнутая прямая или слабоизогнутая кривая, поскольку сопротивление внедрению зонда почти отсутствует. В суглинках мягкопластичной консистенции индикационная линия имеет ту же форму, но условное сопротивление породы увеличивается.

Для тугопластичных однородных суглинков индикационная линия — прямая, параллельная оси ординат, так как трение зонда

мало (скважина не запыливает), и график отражает только сопротивление породы наконечнику.

С у н е с и. Графики зондирования для этих пород похожи на графики для песков и суглинков (рис. 30). Индикационная линия однородных сунесей имеет ступенчатую форму, но величина ступенек в отличие от линии для песков закономерно уменьшается, так как число ударов от интервала к интервалу вниз по разрезу уменьшается на одну и ту же величину. Это закономерное уменьшение числа ударов с глубиной при зондировании однородных сунесей объясняет-

| Колонка по данным бурения   |         | Колонка по результатам зондирования |  |
|---|---------|-------------------------------------|--|
| Описание породы   | Колонка | Колонка                             | Описание породы  |
| Сунесь коричневатая-серая, средняя глистая, плотная, влажная  |         |                                     |  |
| Суглинок коричневатый-бурый, средний, однородный, влажный   |         |                                     | Суглинок коричневатый-бурый, средний, однородный, пластичный                             |
|   |         |                                     | Песок красно-бурый, среднезернистый, кварцевый, плотный, однородный, средней влажности   |
| Песок красно-бурый, крупнозернистый, маловлажный  |         |                                     | Сунесь плотная, влажная  |
| Песок серый, мелкозернистый, однородный, влажный, кварцевый с редкими прослоями сунеси мощностью до 10 см |         |                                     | Песок серый, мелкозернистый, кварцевый   |
|   |         |                                     | Сунесь   |
|   |         |                                     | Песок плотный, однородный  |
|   |         |                                     | Песок  |
|   |         |                                     | Песок серый, мелкозернистый, кварцевый, плотный, однородный с крупной и мелкой фракциями |

Рис. 32. Пример уточнения геологического разреза буровой скважины с помощью зондирования (по Г. К. Бондарнику)

ся увеличением веса зонда за счет наращивания при углублении зонда колонны штанг.

В неоднородных сунесях индикаторная линия ломаная, состоящая из прямых отрезков различной длины. При наличии в сунесях прослоев суглинков или песков появляются характерные для них и других формы индикаторной линии.

Г. К. Бондарник, изучая закономерности изменения параметров графиков зондирования и формы индикаторных линий, типичных для отдельных литологических разностей пород, интерпретировал графики зондирования отложений ледникового комплекса. Примеры интерпретации типичных графиков зондирования приведены на рис. 31.

Высокая чувствительность метода динамического зондирования к изменению состава и состояния пород позволяет уточнять геологические разрезы, построенные по результатам бурения и проходки

шурфов. Такое уточнение разрезов особенно важно, если в процессе бурения происходит более или менее интенсивное разрушение породы (например, при шнековом, ручном ударно-вращательном и других видах бурения в слабых породах).

На рис. 32 сопоставлены два геологических разреза, один из которых составлен по результатам бурения, а второй по результатам зондирования. Проверка разрезов по описанию стенок шурфа, пройденного в непосредственной близости от буровой скважины, показала, что разрез, составленный по данным зондирования, более близок к естественным условиям, чем составленный по буровой скважине.

## 6. Определение плотности песчаных отложений и модуля их деформации

Методы зондирования позволяют быстро и с достаточной для практических целей точностью определять плотность сложения и модуль деформации песчаных пород в условиях естественного их залегания или в искусственных земляных сооружениях. В зависимости от целей исследований при определении плотности песков зондирования скважины задают по контурам сооружений, по линиям разрезов или по сетке. При расположении точек зондирования по сетке или по профилям при обработке результатов зондирования можно строить профили плотности песчаных отложений или карты распространения песков различной плотности.

Как показал опыт инженерно-геологических изысканий на крупнейших стройках СССР, методом динамического зондирования можно определять плотность песчаных пород. Для установления зависимости между плотностью пород и показателями зондирования, при опробовании песков зондом производится также отбор образцов и определение их объемного веса лабораторными методами.

По результатам массовых определений плотности и степени однородности аллювиальных мелко- и среднезернистых кварцевых песков в долинах Волги и Камы установлена зависимость величины  $N$  от коэффициента пористости  $e$  и от объемного веса скелета  $\delta$   $\text{т/м}^3$  песков в естественном сложении и в свежих насыпях из песка, введенных сухим способом. Эта зависимость показана в табл. 7.

Таблица 7

Зависимость числа ударов  $N$  от плотности аллювиальных мелко- и среднезернистых песков

| Степень плотности песков | Коэффициент пористости $e$ | Число ударов на 1 см погружения зонда |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Плотные . . . . .        | $e < 0,550$                | 12—5 и более                          |
| Средней плотности . . .  | $0,550 > e > 0,550$        | От 5—7 до 12—15                       |
| Рыхлые . . . . .         | $e > 0,550$                | 5—7                                   |

Из табл. 8 видно, что число ударов  $N$  при пенетрации мелко- и среднесернистых флювиогляциальных песков в зависимости от плотности изменяется от 3 до 9, тогда как для аллювиальных песков той же крупности и плотности величина  $N$  имеет значения от 5 до 15 и более.

При оценке плотности по результатам зондирования песков необходимо учитывать степень влажности пород, которая имеет практическое значение только при зондировании мелких и пылеватых песков. При увеличении влажности сопротивление этих пород внедрению конического наконечника снижается. Влияние степени влажности мелких и пылеватых песков на величину  $N$  показано в табл. 9, предложенной С. А. Шанковым для вычисления модулей деформации песчаных пород по результатам зондирования.

К числу факторов, влияющих на результаты зондирования, относится и бытовое давление. Однако, как показывают исследования, при зондировании на глубину до 10 м его можно не учитывать, так как в этом случае оно мало влияет на результаты зондирования.

Нельзя использовать приведенные выше данные для оценки плотности сложения аллювиальных песков, залегающих в других районах, или песков другого генезиса без предварительной проверки графика путем отбора проб с ненарушенной структурой, определения объемного веса лабораторным способом и сопоставления этих величин с данными пенетрации.

Модуль деформации вычисляется по формуле, выражающей линейную зависимость между модулем деформации песчаных пород  $E$  и их удельным сопротивлением  $\sigma$  основания конуса зонда диаметром 74 мм и с углом при вершине  $60^\circ$ .

Зависимость между этими показателями выражается формулой

$$E = n\sigma k \Gamma \text{ см}^2.$$

В этой формуле  $n$  — числовой коэффициент, значения которого, зависящие от гранулометрического состава песчаных пород, степени их влажности, получены опытным путем и приведены в табл. 9.

При оценке плотности сложения песков методами зондирования необходимо учитывать гранулометрический состав пород, так как пески различной крупности при одинаковом сложении могут иметь различные объемные веса.

Величина структурной прочности, весьма существенно влияющая на результаты зондирования, зависит от генезиса песков и их дальнейшей геологической истории. Этот вывод подтверждается сопоставлением данных зондирования аллювиальных песков с данными, полученными при зондировании песчаных пород ледникового комплекса. Математическая обработка результатов сопоставления величины  $N$  с плотностью флювиогляциальных кварцевых песков позволила установить коррелятивную зависимость между этими величинами. По результатам корреляции составлена табл. 8.

Таблица 8

Зависимость величины  $N$  от коэффициента пористости флювиогляциальных мелко- и среднесернистых песков

| Степень плотности песков    | Значение коэффициента пористости $\epsilon$ | Число ударов на 1 см погружения зонта, $N = \frac{3}{\Delta S}$ |
|-----------------------------|---|---|
| Плотные . . . . .           | $\epsilon < 0,550$                          | 9   |
| Средней плотности . . . . . | $0,650 > \epsilon > 0,550$                  | 2—9   |
| Рыхлые . . . . .            | $\epsilon > 0,650$                          | 3   |

Таблица 9

Зависимость значения коэффициента  $n$  от типа песков

| Тип песков  | Значения коэффициента $n$ , кг/см <sup>2</sup> |
|---|--|
| Гравелистые, крупные и средней крупности, природного сложения (независимо от влажности) . . . . . | 14—16  |
| Мелкие, маловлажные, природного сложения . . . . .  | 10—12  |
| Мелкие водонасыщенные, природного сложения . . . . .  | 6—8  |
| Пылеватые маловлажные . . . . .   | 8—10   |
| Пылеватые очень влажные . . . . .   | 5—6  |
| Пылеватые водонасыщенные . . . . .  | 3—4  |

Удельное сопротивление конуса зонда  $\sigma$  вычисляют по формуле

$$\sigma = \frac{R}{F} \text{ кг/см}^2,$$

где  $F$  — площадь основания конуса, см<sup>2</sup>;  
 $R$  — динамическое сопротивление зонда.

Динамическое сопротивление зонда  $R$  определяется по формуле

$$R = 11F + \sqrt{121F^2 + \frac{K}{S}(22 \cdot F \cdot Q \cdot H \cdot a)}.$$

Здесь

$K$  — число ударов в залого;

$S$  — осадка зонда от одного залого, см;

$Q$  — вес молота, кг;

$H$  — высота падения молота, см;

$a$  — множитель, зависящий от соотношения веса молота к весу зонда.

Множитель  $a$  вычисляется по формуле

$$a = \frac{Q + 0,39}{Q - q}.$$

где  $Q$  — вес молота, кг;

$q$  — вес зонда, кг.

Значениями  $n$ , приведенными в табл. 9, можно пользоваться и для приближенной оценки величины модуля деформации насыпных песчаных пород. Однако следует отметить, что методика определения модулей деформации еще не вышла из стадии научной разработки. При использовании ее необходимо проверять опытным путем в каждом конкретном случае.

## 7. Микропенетрация

Методы микропенетрации применимы для определения консистенции глинистых пород с ненарушенной структурой. Консистенция определяется в породах, находящихся в естественных условиях залегания (в обнажениях, открытых горных выработках и т. д.), а также в образцах с ненарушенной структурой (монолитах, кернах скважин).

Методы микропенетрации основаны на определении глубины погружения в породу различных наконечников, которые имеют форму иглы, конуса, штампа или любую другую. Применяются микропенетromетры стационарные и ручные. Введение наконечников в породу производится тремя способами: собственным весом наконечника статической или динамической нагрузкой на наконечник.

Микропенетromетры используются для опробования пород изучаемого разреза по глубине, по простирацию или по площади. Изменение глубины погружения наконечника пенетromетра отражает изменение консистенции породы в пределах изучаемой толщи. Результаты измерения глубины погружения наконечника наносятся в масштабе на геологические разрезы или на колонки скважин. Сопоставляя результаты замеров, можно выявлять в изучаемой толще пород наличие и распространение однородных по консистенции

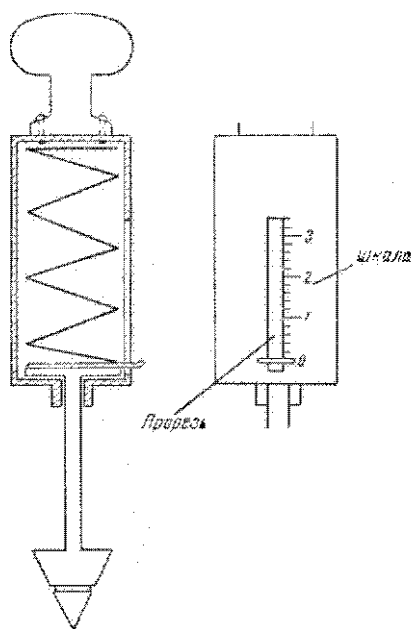


Рис. 33. Ручной пружинный пенетromетр

пластов, линз или геологических тел другой формы, оконтуривать ослабленные участки.

Наиболее удобен для полевого изучения консистенции пород пружинный ручной пенетромметр (рис. 33). Методика пенетрации ручным конусом сводится к следующему. Защищают поверхности пласта или линзы пород, вскрываемых горными выработками или выходящих в естественных обнажениях. Для каждого визуальное выделенного в изучаемом разрезе пласта или линзы делают 25—30 уколов конусом, распределяя их равномерно по мощности и по простиранию пласта. При значительной мощности внешне однородного пласта следует производить по три групповых укола примерно через каждые 10—15 см, чтобы не пропустить ослабленных зон. При каждом ударе фиксируется усилие, прилагаемое для погружения конуса в породу до риски, нанесенной на конце конуса. Показания пенетромметра осредняют, отбрасывая значения не типичные для данного слоя. Осредненными показаниями пенетромметра дополняют материалы инженерно-геологической документации.

#### 8. Испытание прочности пород методом резания (искиметра)

Для инженерно-геологического опробования пород в стенках горных выработок и в естественных обнажениях Г. К. Бондарик и А. М. Шипов предложили прибор, названный искиметром.

Прибор предназначен: 1) для определения степени неоднородности и выдержанности пород при инженерно-геологическом их опробовании в разведочных выработках и в естественных обнажениях; 2) для отбора бороздовых проб постоянного сечения с целью определения некоторых показателей свойств пород по усилию, прикладываемому при их резании.

Искиметр — ручной малогабаритный прибор, удобный для работы в шурфах и расчистках, он снабжен узлом для записи показаний усилия резания. В качестве режущих деталей применяются армированные твердыми сплавами ножи (резцы) различной формы с углами резания от 0 до 45°. Для измерения усилий, возникающих при внедрении ножа в грунт, служат сменные цилиндрические пружины растяжения, предварительно протарированные. Прибор рекомендуется применять для опробования мягких и средних по твердости пород (I—IV категории по шкале твердости).

В основу конструкции прибора положен принцип передачи усилия резания, которое создается вручную и передается через цилиндрическую пружину растяжения на регистрирующую ленту, сделанную из специальной или миллиметровой бумаги.

Основной рабочей деталью искиметра (рис. 34) является пружина 1. Прибор состоит из рамы 2, по которой передвигаются направляющие ползуны 3, связанные распорной планкой 4, в которую ввинчиваются сменные резцы 5. Узел записи показаний усилий резания состоит из пружины 6, карандаша 7 и катушек 8, со специальной или миллиметровой бумажной лентой 9. Вращение катушкам передается от колеса 10 через резиновое кольцо 11 и маховичок 12.



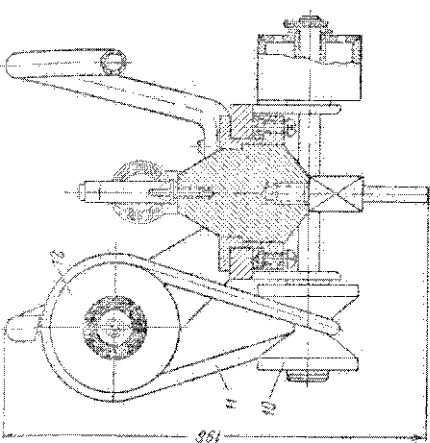
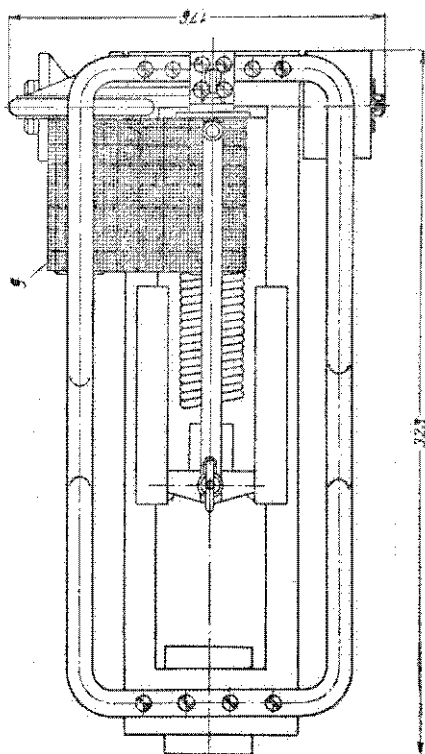
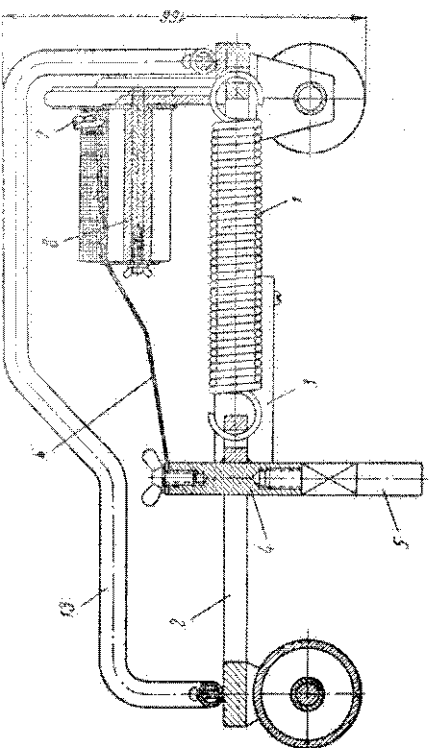


Рис. 34. Искимегр



Принцип действия прибора заключается в следующем. Некиметр вдавливается резцом в грунт до соприкосновения его с колесами. Взявшись за поручни 13, оператор передвигает тележку и резцом разрезает грунт. Усилие резания через пружину фиксируется на бумажной ленте.

Некиметром можно пользоваться на поверхности земли, на дне шурфа или котлована, при исследовании откосов и стенок выработок и естественных обнажений.

#### § 14. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ<sup>1</sup>

При решении инженерно-геологических задач довольно часто применяются геофизические методы исследований. Их применение дает большую экономию времени и средств при достаточно высокой точности получаемых результатов. Однако эти методы не всегда позволяют однозначно решать задачи, так как полученные данные можно интерпретировать различно. Кроме того, геофизические методы имеют ограниченные области применения, поэтому применяются лишь некоторые из них и в комплексе с другими методами исследования — бурением опорных скважин, определением свойств пород лабораторными методами и т. п.

Геофизические методы исследований могут дать положительные результаты только при изучении неоднородных тел, т. е. только в том случае если показатели свойств изучаемых горных пород в разрезе (например, при электросопротивлении) существенно отличаются друг от друга. Наиболее четкие результаты получаются при резких различиях свойств пород, например, при отбивке карстовых полостей, зон дробления и т. п. При постепенном изменении свойств пород (постепенном затухании трещиноватости, изменении литологического состава, влажности и т. п.) установление четких границ зон дробления, трещиноватости и пр. затрудняется или вообще становится невозможным.

Применимость того или иного геофизического метода исследований определяется также размерами изучаемых объектов, глубиной их залегания, составом пород и сложностью геологического разреза и т. д. При выборе наиболее эффективного метода геофизических исследований следует руководствоваться поставленной целью, конкретными инженерно-геологическими условиями, необходимо также учитывать, что интерпретация полученных данных достаточно сложна и требует участия или консультации опытного специалиста-геофизика.

Ниже кратко рассматриваются возможности и условия применения геофизических методов при инженерно-геологических исследованиях.

<sup>1</sup> В параграфе использованы материалы Э. Г. Яценко и В. И. Ферроиского.

## 1. Электроразведка

Основными методами электроразведки, применяемыми при инженерно-геологических исследованиях, являются: ВЭЗ (вертикальное электроразведывание) и электропрофилирование. Другие методы электроразведки применяются значительно реже.

Успешное применение электроразведки возможно при следующих общих условиях:

- 1) при выдержанной и постоянной разнице электросопротивлений между объектами изучения и окружающей их средой;
- 2) при соизмеримых размерах изучаемого объекта, глубине его залегания и окружающих его геологических тел.

Основным показателем свойств пород, используемым при электроразведке, является их удельное электросопротивление, выражаемое в омах. Удельные электросопротивления пород, наиболее часто встречающихся при инженерно-геологических исследованиях, приведены в табл. 10.

Методы электроразведки позволяют решать следующие задачи, возникающие при инженерно-геологической оценке условий строительства.

**Определение глубины залегания и рельефа коренных пород** возможно при самых различных соотношениях электросопротивления коренных пород и покрывающих их четвертичных отложений, но только в том случае, если электросопротивления коренных пород достаточно отличаются друг от друга. При этом точки ВЭЗ рекомендуется размещать по сетке.

Расстояния между точками зависят от детальности исследований и размеров сооружения, обычно они изменяются от 10 до 50 м. Можно также располагать точки по профилям на расстоянии 100—200 м.

При интерпретации полученных данных следует учитывать, что при наличии зоны выветривания коренных пород результаты исследований могут быть значительно искажены.

**Выявление и оконтуривание переуглубленных речных долин** производится с помощью ВЭЗ и электропрофилирования. После зондирования у пробуренных скважин закладывают профили ВЭЗ через всю современную долину реки. Для большей детализации переуглубленного участка долины выполняют профили непосредственно на участке переуглубления. Для более точного оконтуривания переуглубленной долины в плане между поперечником ВЭЗ выполняют электропрофили.

**Выделение слоев пород различного литологического состава** производится различными способами в зависимости от угла падения слоев. При пологом (от 0 до 20°) залегании слоев применяют метод ВЭЗ, разности зондирования задают по простиранию пород. При наклонном залегании слоев (под углом свыше 20°) применяют электропрофилирование в комплексе с ВЭЗ. Электропрофили задают вкрест простирания пород, а разности зондирования располагают по их простиранию. В зависимости от видимой мощности слоев и размеров

Таблица 10

Удельные электросопротивления пород в условиях естественного залегания  
По З. Г. Яценко

| Порода | Сохранность пород | Обводненность пресной водой | Удельное электросопротивление, ом.м |    |  |
|--------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----|--|
|        |                   |                             | от                                  | до | наиболее характерное для данной породы |
| 1      | 2                 | 3                           | 4                                   | 5  | 6                                      |

## Скальные и полускальные породы

## 1. Изверженные интрузивные породы

|                  |                                 |             |      |        |           |
|------------------|---------------------------------|-------------|------|--------|-----------|
| Граниты          | Сохранные                       | —           | 1000 | 6 000  | 2000—3000 |
|                  | Выветренные или разрыхленные    | Сухие       | 100  | 10 000 | —         |
|                  | То же                           | Обводненные | 200  | 600    | —         |
| Габбро и диабазы | Сохранные                       | —           | 1000 | 12 000 | 2000—4000 |
|                  | Разрушенные сильно трещиноватые | Сухие       | 500  | 1 200  | 700—900   |
|                  | То же                           | Обводненные | 200  | 800    | —         |

## 2. Изверженные эффузивные породы

|                             |             |       |     |       |           |
|-----------------------------|-------------|-------|-----|-------|-----------|
| Базальты                    | Сохранные   | —     | 60  | 6 000 | 2000—4000 |
|                             | Разрушенные | Сухие | 800 | 1 500 | —         |
| Туфобрекчии и туфопесчаники | Сохранные   | —     | 40  | 600   | —         |

## 3. Метаморфические породы

|          |             |             |      |       |           |
|----------|-------------|-------------|------|-------|-----------|
| Гнейсы   | Сохранные   | —           | 1500 | 6 000 | 2000—3000 |
|          | Разрушенные | Обводненные | 500  | 1 500 | 600—800   |
| Кварциты | Сохранные   | —           | 1500 | 6 000 | —         |

## 4. Осадочные породы

|            |                               |             |     |        |          |
|------------|-------------------------------|-------------|-----|--------|----------|
| Известняки | Сохранные                     | —           | 250 | 2 000  | 600—1000 |
|            | Трещиноватые и закарстованные | Сухие       | 400 | 12 000 | —        |
| Доломиты   |                               | Обводненные | 250 | 600    | —        |
|            | Сохранные                     | —           | 500 | 3 000  | —        |
|            | Трещиноватые и закарстованные | Сухие       | 300 | —      | —        |
|            |                               | Обводненные | 100 | 600    | —        |

| Порода                      | Сохранность пород | Обводненность пресной водой | Удельное электро-сопротивление, ом·м |        |  |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------|--|
|                             |                   |                             | от                                   | до     | наиболее характерное для данной породы |
| 1                           | 2                 | 3                           | 4                                    | 5      | 6                                      |
| Песчаники                   | Сохранные         | —                           | 150                                  | 600    | —                                      |
| Шанды глинистые и уг-листые | Трещиноватые      | Сухие                       | 600                                  | 10 000 | —                                      |
| Аргиллиты и алевроли-ты     | Сохранные         | —                           | 15                                   | 60     | —                                      |
| Мергели                     | »                 | —                           | 60                                   | 150    | —                                      |

## 5. Рыхлые породы

|                              |   |              |      |        |   |
|------------------------------|---|--------------|------|--------|---|
| Пески глинистые              | — | Сухие        | 100  | 200    | — |
| —                            | — | Обвод-ненные | 80   | 120    | — |
| Пески кварцевые              | — | Сухие        | 2000 | 10 000 | — |
| —                            | — | Обвод-ненные | 200  | 600    | — |
| Гравийно-галечные от-ложения | — | Сухие        | 2000 | 10 000 | — |
| —                            | — | Обвод-ненные | 200  | 600    | — |
| Галечно-галечные отло-жения  | — | Обвод-ненные | 300  | 800    | — |
| Супеси                       | — | —            | 60   | 120    | — |
| Суглинки                     | — | —            | 40   | 60     | — |
| Глины *                      | — | —            | 4    | 40     | — |

\* Сопротивление коренных глин в большинстве случаев находится в пределах 4—12 ом·м, сопротивление четвертичных глин почти никогда не бывает меньше 20 ом·м.

При обводнении пород минерализованными водами и рассолами их сопротивление снижается в десятки и даже сотни раз.

сооружений расстояния могут изменяться от 20 до 100—150 м между точками ВЭЗ и от 10 до 25 м между точками замеров на электропрофилях.

Выявление и трассирование тектонических нарушений производят с помощью электропрофилеирования. Электропрофили располагают примерно перпендикулярно предполагаемому простиранию тектонических нарушений. Разносы выбирают на основании данных ВЭЗ, полученных в 5—10 точках (в зависимости от размеров участка).

Определение глубины залегания, мощности и формы интрузивных тел основано на значительно больших удельных электросопротивле-ниях этих тел по сравнению с вмещающими осадочными отложениями.

Выбор электроразведочного метода зависит от формы и размеров интрузивов.

Профили с точками ВЭЗ располагают как по простиранию, так и вкрест простирания интрузивных тел. Электропрофили задают перпендикулярно контакту. Расстояния между точками ВЭЗ и профилями определяются размерами исследуемого участка, интрузивных тел и сооружений.

Выявление и оконтуривание карстовых зон, полостей и «карманов» выветрелых пород в гранитах основано на разнице электросопротивления карстующихся пород и материала, заполняющего карстовые полости. Для этой цели применяют различные модификации электропрофилезирования в сочетании с ВЭЗ и круговыми зондированиями.

Определить глубину закарстованной зоны и зоны повышенной трещиноватости можно при глубине залегания их не менее 30—40 м и ширине этих зон не менее 80—100 м при условии, что закарстованные породы находятся ниже уровня подземных вод. Выявить и оконтурить в плане отдельные карстовые полости удастся только при сопоставимых размерах полостей с мощностью покрывающих их отложений.

Этим же методами можно выявить «карманы» или «корни» выветрелых пород в гранитах, так как они характеризуются электрическими сопротивлениями пониженными по сравнению со свежими гранитами.

Определение положения водопроницаемых и водоупорных пластов, уровня подземных вод, направления и скорости их движения, а также определение коэффициентов фильтрации пород методами электроразведки часто производится при инженерно-геологических исследованиях, особенно на их поздних стадиях.

## 2. Сейсморазведка

Опыт применения сейсморазведки для решения инженерно-геологических задач еще очень мал, что объясняется сложностью самой методики производства сейсмических исследований и применяемой для этой цели аппаратуры. До последнего времени в сейсморазведке применялась очень сложная и громоздкая аппаратура, требующая большого количества обслуживающего персонала (операторов, варьиников, охранников места производства работ и склада взрывчатых веществ и т. д.). Такая аппаратура позволяет изучать породы на очень большую глубину, что обычно не требуется при инженерно-геологических исследованиях. В силу этих обстоятельств методы сейсморазведки были малоприменимы для инженерно-геологических целей.

В последнее время сконструированы портативные сейсмические установки для изучения малых глубин, которые отвечают задачам и условиям производства инженерно-геологических исследований. К таким установкам относятся, например, ОСУ-2М (рис. 35), работа-

ющая по методу первых вступлений. Для обслуживания установки требуются два человека, импульсы создаются ударом кувалды по металлической кнопке, погруженной в породу.

Опыт применения одноканальных микросейсмических установок, полученный Ш. А. Азими, А. А. Огильви, А. Л. Левшиным, Н. Н. Горяиновым и другими, показал эффективность и экономическую целесообразность применения их при инженерно-геологических исследованиях. Ш. А. Азими (1964) считает, что с помощью этого метода можно решать следующие задачи:

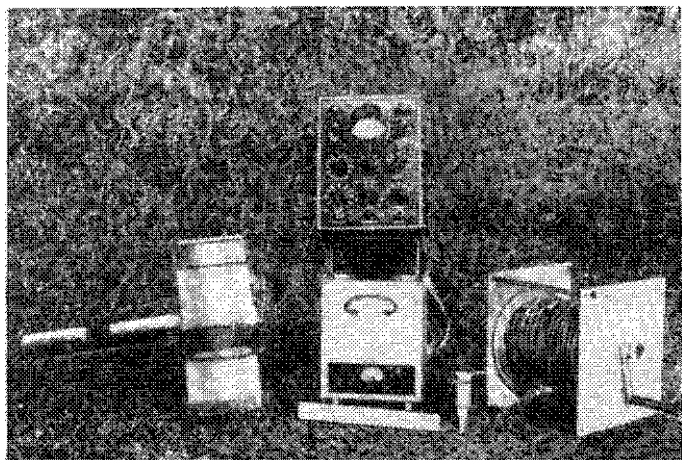


Рис. 35. Микросейсмическая установка ОСУ-2м, общий вид  
(фото А. Азими)

- 1) расчленение верхней части разреза;
- 2) картирование коренных пород под чехлом четвертичных отложений и трассирование зон тектонических нарушений;
- 3) определение степени сохранности скальных пород под наносами;
- 4) выявление погребенных долин древних рек, оврагов и озерных котловин;
- 5) изучение карстовых явлений и прослеживание зон карстопроявлений по площади и глубине;
- 6) определение глубины залегания уровня грунтовых вод;
- 7) оценка мощности пород талых в районах распространения многолетней мерзлоты;
- 8) определение упругих констант поверхностных и коренных пород;
- 9) изучение прочностных свойств пород в подземных выработках и исследование проявлений горного давления;
- 10) оценка разрабатываемости грунтов землеройными машинами;

11) определение глубины зон выветривания скальных и полускальных пород.

Следует отметить, что в сложных сейсмических условиях этот метод недостаточно точен. Так, например, при наличии линз верховодки вблизи уровня грунтовых вод и при малой мощности водоносного горизонта (который подстилается породами, имеющими большую граничную скорость, чем у пород водоносного горизонта) почти невозможно точно определить положения уровня подземных вод. В силу этих обстоятельств рекомендуется микросейсмический метод применять в комплексе с другими методами исследований (электроразведкой, бурением и др.).

### 3. Радиоволновое профилирование (РВПУ)

При инженерно-геологической съемке, как нам представляется, будет перспективным недавно разработанный метод радиоволнового профилирования. За основу метода принято явление измерения значений электрических параметров (емкости, сопротивления излучения и т. п.) радиопередающей и приемной антенны при изменении электрических свойств пород, находящихся вблизи антенны. Идея создания на этом принципе передвижной измерительной установки для геологического картирования покровных отложений принадлежит А. А. Петровскому, а практическая разработка этого метода осуществлена Г. Я. Черняком.

Теоретические расчеты и результаты экспериментов показали, что сопротивление излучения антенны зависит от ее геометрических размеров, ориентировки антенны относительно поверхности земли, высоты ее над землей, длины волны передатчика и волнового числа породы, которое может быть выражено следующим соотношением:

$$K_2 = K_1 \sqrt{\epsilon_2 - i \cdot 60 \lambda \sigma_2},$$

где  $K_2$  — волновое число породы;

$K_1$  —  $(2\pi/\lambda)$  волновое число свободного пространства;

$\epsilon_2$  — относительная диэлектрическая проницаемость породы;

$\lambda$  — длина волны передатчика;

$\sigma_2$  — удельная проводимость породы;

$$i = \sqrt{-1}.$$

При неизменных значениях размеров антенны, высоты ее над землей и длины волны передатчика сопротивление излучения антенны становится однозначной функцией волнового числа породы.

Г. Я. Черняк расположил горизонтальную антенну на автомашине, на которой установлены генератор и самописец, ведущий непрерывную запись регистрируемого параметра в процессе движения установки. При движении установки непрерывно регистрируются электрические свойства пород, попадающих в поле действия установки. По изменению показателя счетчика можно судить о смене



пород, залегающих на поверхности земли, а при пересекающихся профилях можно оконтурить районы распространения тех или иных пород. Правда, установка (рис. 36) не позволяет определять литологический состав пород, но при соответствующей тарировке регистрирующего прибора и при контрольном бурении по показаниям шкалы регистрирующего прибора с известной степенью вероятности можно составить суждение и о литологическом составе пород.

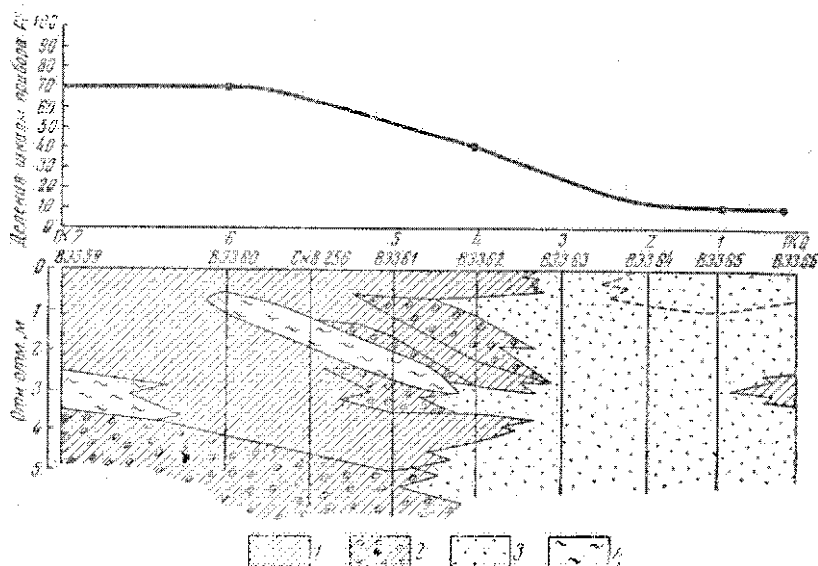


Рис. 36. Сопоставление геологического разреза, составленного по данным электроразведки с показаниями индикатора радиоволновой установки (по Г. Я. Черняку)

1 — суглинок; 2 — суглинок с включением валунов; 3 — песок; 4 — глина

Проведенные Г. Я. Черняком исследования показали, что глубина метода зависит от длины волны передатчика и состава пород. Так, например, глубина исследования при длине волны  $\lambda$  м составляет для сухого песка 11 м, для влажного суглинка 0,3 м; при длине волны 80 м для песка 13 м, для суглинка 0,9 м. Плотность пород не оказывает влияния на показания установки, а влажность их играет подчиненную роль.

Таким образом, установка РВПУ при соответствующей доработке может быть применена при картировании для расчленения поверхностных отложений по литологическому составу и будет способствовать более быстрому производству инженерно-геологической съемки.

#### 4. Метод подземной регистрации космического излучения (ПРКИ) и возможности его применения для решения некоторых инженерно-геологических задач<sup>1</sup>

Физической основой метода подземной регистрации космического излучения является зависимость между интенсивностью космического излучения и массой горных пород, расположенных над регистрирующей аппаратурой.

Известно, что на уровне моря в состав космического излучения, в частности, входят  $\pm\mu$ -мезоны. Эти частицы обладают колоссальными энергиями (до  $10^{12}$ — $10^{13}$  эв) и слабо взаимодействуют с ядрами вещества. Благодаря указанным свойствам  $\mu$ -мезоны способны проникать через большие толщи вещества, например горные породы. Однако при движении в плотной среде они постепенно теряют свою энергию в результате различных электромагнитных процессов взаимодействия с атомами вещества и наконец поглощаются. Поэтому чем большую энергию имеет  $\mu$ -мезон на уровне моря, тем больший путь он проходит в горных породах. Многочисленные измерения интенсивности проникающей компоненты космического излучения ( $\mu$ -мезонов) под водой и под землей (в горных выработках и скважинах), проводившиеся с целью изучения физических закономерностей этого явления, показали, что уменьшение интенсивности проникающего излучения в зависимости от глубины расположения точки наблюдения происходит по закону, близкому к степенному, причем показатель степени возрастает с глубиной.

Максимальная глубина изучения, которая была достигнута при этих экспериментах, составляет около 6400 м *в. э.*<sup>2</sup>. Теоретические расчеты, проведенные Е. Джорджем, показали, что присутствия  $\mu$ -мезонов можно ожидать до глубины около 10000 м *в. э.* Указанная глубина является предельной, на которой еще можно проводить регистрацию космического излучения с теми или иными целями. Таким образом, зная поток или интенсивность космических лучей на данной глубине, можно получить сведения о массе горных пород, через которые прошли частицы космического излучения. Последнее позволяет использовать проникающую компоненту космического излучения для решения некоторых инженерно-геологических задач. В частности, представляется возможным выделять объекты, отличающиеся по плотности от вмещающих пород (рудные тела, карстовые или ослабленные трещиноватые зоны, зоны обрушения и т. п.), определять среднее по геологическому разрезу значение плотности пород, оценивать давление наземных сооружений на грунт и решать некоторые другие задачи.

Однако в дополнение к сказанному выше следует заметить, что в общем случае интенсивность космического излучения под землей

<sup>1</sup> Раздел составлен Е. М. Бондаренко.

<sup>2</sup> м. *в. э.* — метры водного эквивалента — проведение фактической глубины наблюдения на среднюю плотность вышележащих пород.

зависит не только от массы вещества над точкой наблюдения, но и от других факторов: временных вариаций амплитуды интенсивности, различия в химическом составе пород и руд, углового распределения мезонов и геомагнитных эффектов. Проведенная оценка этих факторов показала, что влияние их невелико и не превышает 5—7%, а в каждом конкретном случае при необходимости может быть учтено.

Регистрацию космического излучения в горных выработках и скважинах проводят с помощью так называемых телескопов. Детектором (приемником) космических частиц служат обычно либо газонаполненные счетчики Гейгера-Мюллера, либо сцинтилляционные счетчики. Электрические импульсы, возникающие в детекторе при прохождении через него заряженной частицы, подаются на специальные электронно-счетные схемы, позволяющие подсчитывать количество импульсов за тот или иной интервал времени. Влияние естественного радиоактивного фона горных пород на величину регистрируемой интенсивности излучения можно исключить, используя специальные схемы совпадений или дискриминаторов.

Методика наблюдений достаточно проста, она сводится к регистрации космического излучения, которое проводится на точках наблюдения подземного профиля в течение необходимого и достаточного времени. Расстояние между точками наблюдений определяется размерами объектов исследований. Величина экспозиции на одной точке зависит от глубины наблюдения, характеристик прибора (эффективной площади и светосилы) и заданной точности наблюдений, в общем случае она меняется от точки к точке. На постоянной глубине экспозиция для данного прибора однозначно определяется проектной точностью исследований. Так, например, для получения отсчетов с ошибкой до 10% необходимо зарегистрировать 100 импульсов, а с ошибкой 4% — 400 импульсов и т. д.

Для оценки поглощающих свойств вышележащих пород производят расчет интенсивности потока космического излучения за единицу времени, обычно за одну минуту. На основании этих данных строят графики изменения интенсивности вдоль подземного профиля. Минимум на графиках интенсивности соответствует объектам с плотностью большей, чем у окружающих пород, а максимум — объектам с меньшей плотностью. Среднюю плотность и величину давления определяют по градуировочным кривым. Используя специальные насадки, по величине относительного аномального эффекта можно определить мощность объекта.

Ниже приводятся примеры использования метода ИРКН при решении некоторых инженерно-геологических задач.

Оценка давления наземных сооружений на грунт. Результаты наблюдений интенсивности космического излучения внутри наземного сооружения и снаружи показаны на рис. 37. Регистрация интенсивности проводилась для двух апертурных углов ( $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 80^\circ$ ) телескопом на газонаполненных счетчиках. Видно, что само здание фиксируется на кривых интенсивности четким минимумом.

Величина относительной аномалии составляет около 50—70% при точности наблюдений порядка 10—15%.

На основании поглощающей способности здания была найдена по градуировочной кривой его средняя плотность вместе с объемом

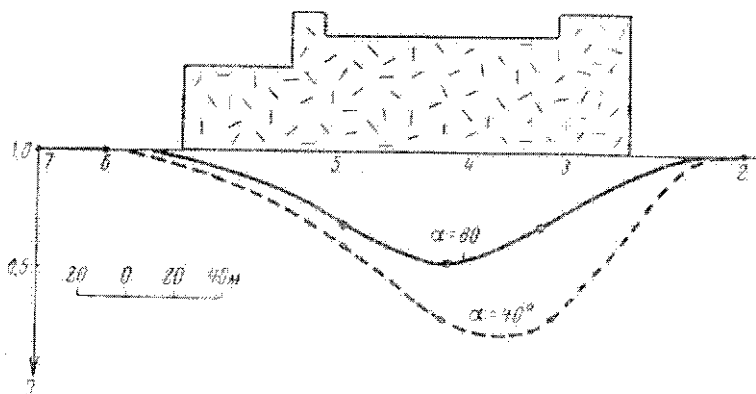


Рис. 37. Результаты наблюдений интенсивности космических излучений внутри (сплошная линия) и снаружи (пунктир) наземного сооружения

помещений, которая оказалась равной  $0,16 \text{ г/см}^3$ . Площадь, занимаемая зданием, составляет около  $4050 \text{ м}^2$ , а его объем  $265 \text{ тыс. м}^3$ . Отсюда вес здания получился близким к 43 тыс. т, а давление на фундамент составляло около  $1,1 \text{ кг/см}^2$ .

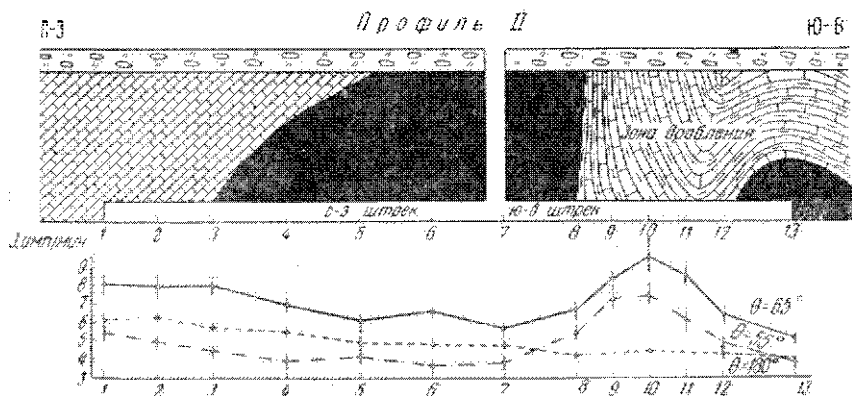


Рис. 38. Интенсивность космического излучения вдоль горизонтальной горной выработки, пересекающей различные по составу и состоянию горные породы

Обнаружение ослабленных трещиноватых зон горных пород (зон дробления). Работа проводилась на полиметаллическом месторождении в Средней Азии. Интенсивность космического излучения наблюдалась вдоль горизонтальной горной выработки, проходящей через

монолитные известково-доломитовые породы, рудное тело и зону дробления (рис. 38). Эффективная плотность<sup>1</sup> зоны дробления относительно монолитных пород составляла около  $-0,15 \text{ г/см}^3$ , а относительно рудного тела  $-0,45 \text{ г/см}^3$ . Для повышения надежности полученных результатов интенсивность регистрировалась для двух близких по величине апертурных углов ( $\alpha = 55$  и  $\alpha = 65^\circ$ ). Оказалось, что в пределах зоны дробления (точки 9, 10, 11) интенсивность в среднем на 10—15% выше, чем в монолитных породах (точки 1, 2 и 3).

Расчет значений средней плотности пород на участке зоны дробления, проведенный по величине интенсивности космического излучения, дает значения равные  $2,38 \pm 0,17$  и  $2,29 \pm 0,18 \text{ г/см}^3$ , плотность, определенная по образцам, составляет  $2,45 \text{ г/см}^3$ . Мощность зоны дробления, найденная по палеткам, составляет около 30 м, фактическая мощность по геологическому разрезу равна 33 м, т. е. совпадение хорошее.

**Выявление карстовых зон и пустот в горных породах.** Влияние карстовых зон на величину интенсивности космического излучения изучалось в Кунгурской пещере. Краткая геологическая характеристика участка работ следующая. Ледяная гора, в которой развиты пещеры, и прилегающий к ней район, сложены породами кунгурского яруса, переслаивающимися пачками гипсов-ангидритов и известняков, перекрытыми четвертичными отложениями. Средняя плотность горных пород на участках, не затронутых карстовыми процессами, изменяется незначительно — от 2,3 до 2,5  $\text{г/см}^3$ . Развитие карста приурочено к гипсам-ангидритам ледянопещерской пачки пород, имеющей мощность около 30 м. Формы карста самые разнообразные: гроты, пустоты, органические трубы и т. п. частично или целиком заполненные обломочным материалом.

Измерения интенсивности были проведены на семи точках по профилю общей протяженностью около 250 м в центральной части пещеры (от грота Дружба народов до грота Смелых). Точность регистрации интенсивности космического излучения не превышала 4—6%. Как видно на рис. 39, по результатам измерения была получена сильно дифференцированная кривая интенсивности. На фоне общего поднятия кривой, связанного с уменьшением мощности пород от 76 до 60 м, в правой части разреза наблюдаются локальные максимумы интенсивности. Последние хорошо увязываются с имеющимися данными об участках развития карста. Так, например, для точек 1, 2 и 3 глубина наблюдения была постоянной и составляла около 76 м, а интенсивность космического излучения на точке 1 оказалась на 20% больше, чем на двух других точках. Увеличение интенсивности на этой точке однозначно объясняется наличием грота высотой около 6,5 м и системы органических труб. На точке 5

<sup>1</sup> Под эффективной плотностью понимается разность плотностей, вмещающих пород и изучаемого объекта (в данном случае плотность трещиноватых пород).

интенсивность была несколько выше, чем на точке 6, хотя глубина наблюдения на последней была меньше и следовало ожидать обратного эффекта. Этот факт тоже объясняется наличием на точке 5 грота высотой около 4 м, а возможно, и других форм карста, не попавших в плоскость разреза. Резкое увеличение интенсивности на точке 5 не увязывается с имеющимися сведениями об уменьшении мощности пород над точкой 7. Очевидно, и в этом случае причиной возрастания интенсивности космического излучения является наличие карстовых пустот.

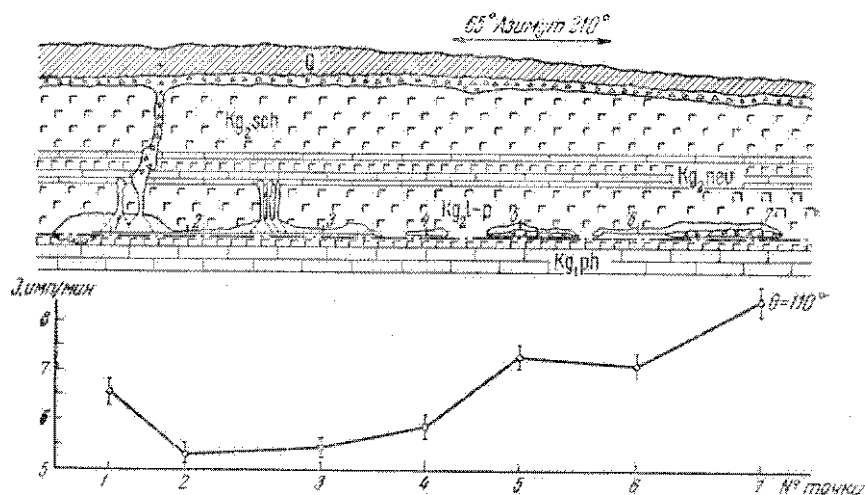


Рис. 39. Интенсивность космических излучений в зависимости от степени закарстованности пород

Метод ПРКИ был использован для выявления и локализации пустот в горных породах также на одной из шахт криворожского железорудного бассейна. Регистрация интенсивности космического излучения проводилась в горной выработке, проходящей под карьером (рис. 40). Расположенная над профилем наблюдений толща горных пород представлена доломитами и джеспиллитами со средней плотностью около  $3,4 \text{ г/см}^3$ . Наличие карьера вызвало резкое увеличение интенсивности на точках 3 и 4. Амплитуда относительного аномального эффекта достигала 100% и более при точности наблюдений около 5%.

На основании приведенных выше примеров можно сделать вывод, что метод подземной регистрации космического излучения можно с успехом применять для решения перечисленных выше задач и в более сложной геологической ситуации, например в тех случаях, когда аномальные по плотности объекты расположены в пространстве между горными выработками и дневной поверхностью, а об их наличии и положении нет никаких сведений. Подобные задачи уже с успехом решались на некоторых рудных месторождениях. Оче-

видно, следует ожидать положительных результатов и при решении инженерно-геологических задач.

Необходимо отметить также возможность проведения подобных исследований с использованием скважин. В настоящее время сква-

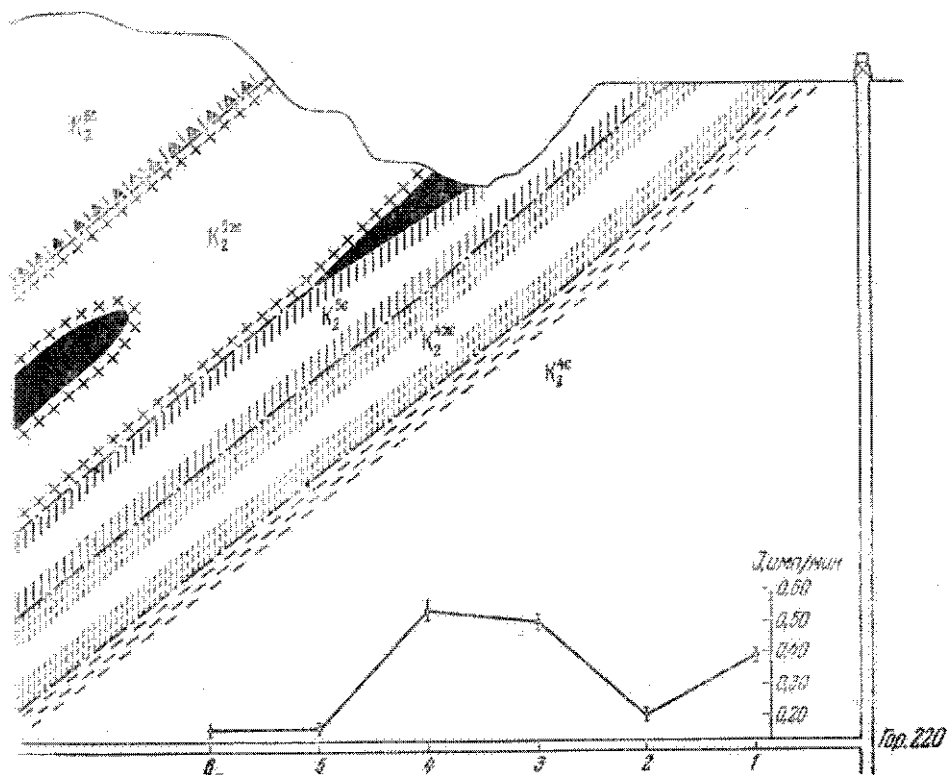


Рис. 40. Влияние карьера на интенсивность космического излучения

жинный вариант метода разработан и успешно опробован для определения средних плотностей пород на одном из нефтегазоносных месторождений Краснодарского края.

## 5. Радиоактивные методы

Радиоактивные методы исследований еще не нашли широкого применения при инженерно-геологических исследованиях, однако в целом ряде случаев они применялись весьма успешно.

Основным достоинством существующих методов радиоактивных исследований при применении их в инженерно-геологических целях являются:

1) эффективность при изучении состояния пород и их физико-технических свойств в условиях естественного залегания;



2) возможность получения инженерно-геологических характеристик не по пробам, взятым в отдельных точках, а непрерывно по разрезу или для целого массива горных пород;

3) возможность определения значений показателей физико-технических свойств таких пород, для которых используемые в практике инженерно-геологических исследований методы неприменимы, например для выветрелых или раздробленных пород, оползневых щебнисто-глинистых накоплений и т. п.

Существующие в настоящее время радиоактивные методы позволяют решать следующие задачи, встречающиеся в практике инженерно-геологических исследований: определение естественной влажности и объемного веса пород, определение их минералогического состава, расчленение разреза пород по их литологическому составу и определение положения уровня грунтовых вод.

В настоящее время эти методы чаще всего используются для определения влажности и плотности пород.

Применяемые в настоящее время радиоактивные методы исследования базируются на изменении интенсивности излучений радиоактивных веществ при прохождении излучений через горные породы. Используются главным образом методы, основанные на рассеянии нейтронного излучения, а также на поглощении и рассеянии гамма-излучений.

Нейтронный метод основан на способности молекул воды (вернее водорода воды) замедлять быстрые нейтроны, испускаемые радиоактивными источниками. Нейтроны, проходя через влажную породу, сталкиваются с атомами водорода, теряют часть своей кинетической энергии и рассеиваются, причем некоторое число частиц возвращается к источнику в виде «медленных» нейтронов. Нейтроны теряют энергию и при столкновении с другими атомами, но наибольшая потеря энергии происходит при столкновении их с легкими атомами водорода. Установлено, что число «медленных» нейтронов пропорционально содержанию воды в породе и практически не зависит от ее состава, плотности и температуры. Существенное влияние на результаты определений оказывает наличие в породе даже небольших количеств хлора, бора, марганца и некоторых других элементов.

Определяя влажность нейтронным методом, погружают специальный зонд в буровую скважину, производят замеры и по потере энергии источника излучения определяют влажность породы.

Источниками быстрых нейтронов служат изотопы: полоний-бериллий, радий D-бериллий и радий-бериллий. При измерении влажности пород до глубины 15—30 см зонды размещают на поверхности породы, а для измерений на большей глубине зонды вводят в буровые скважины диаметром 2—5 см в зависимости от конструкции зонда.

При измерении влажности пород нейтронным методом используют зонды различных конструкций, состоящие из источника быстрых нейтронов и детектора медленных нейтронов. сконструированы также зонды, которые позволяют определять влажность верхнего

слоя (мощностью 15—30 см) породы непрерывно в движении (так называемый метод нейтрон-нейтронного профилирования).

Гамма-метод основан на способности пород поглощать гамма-лучи. Степень поглощения зависит от плотности и толщины поглощаемого материала. Способность рыхлых пород рассеивать гамма-лучи определяется только плотностью пород и не зависит от их химического состава.

Для определения объемного веса могут быть использованы портативные полевые гамма-плотномеры Вессоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), сконструированные В. И. Ферроным.

Гамма-плотномер типа «вилка» состоит из двух металлических трубок диаметром 20 мм, в которых размещены источник гамма-излучения (кобальт-60 активностью до 1 мкэв радия) и детектор (счетная трубка СТС-5). Трубки закреплены на корпусе прибора, выполненном в виде стального цилиндра, в котором находится регистрирующая схема с источником питания и стрелочным индикатором.

Регистрирующая схема представляет собой интенсификатор гамма-излучения, позволяющий регистрировать осредненную величину тока, протекающего в счетной трубке под действием ионизации в ней газа потоком гамма-квантов. Логарифм величины интенсивности излучения пропорционален величине плотности изучаемой породы. Значение объемного веса грунта отсчитывают по тарированной шкале стрелочного индикатора прибора при задавливании «вилки» в грунт.

Модификацией «вилки» является плотномер типа «щуп», в котором источник излучения находится в наконечнике стержня диаметром 6 мм, а две параллельно включенные счетные трубки размещены в горизонтальном положении у корпуса прибора. Принцип работы прибора и регистрирующая схема остаются прежними, измерительные схемы получают питание от батарей. Как первый, так и второй приборы позволяют производить измерения объемного веса пород на глубину до 25 см.

Различие в применении описанных гамма-плотномеров состоит в том, что «вилка» позволяет определять объемный вес в плоскости, перпендикулярной оси прибора, поскольку источник излучения и детектор задавливаются в грунт параллельно друг другу, а исследуемый слой оказывается между ними. Прибор «щуп» позволяет определять объемный вес породы в плоскости, параллельной оси прибора, так как в грунт погружается один источник излучения, а счетные трубки находятся на поверхности.

Выбор необходимого для работы гамма-плотномера определяется условиями работы и требованиями, предъявляемыми к исследованию. «Вилка» используется в достаточно рыхлых отложениях и в породах, перекрытых достаточно мощным дерновым покровом. «Щуп» следует применять в плотных породах, поскольку размещение источника излучения в тонком металлическом стержне облегчает его задавливание. На одно измерение объемного веса затрачивается 3—4 мин.

Существуют и другие способы использования гамма-излучений для определения плотности пород, например метод рассеянного гамма-излучения. Для определения плотности пород, залегающих близко к поверхности, используют передвижные приборы, позволяющие проводить измерения непрерывно в движении. Многочисленные опыты, проведенные в последнее время, показали что результаты определения влажности и плотности пород радиоактивными методами достаточно точны для практических целей.

Однако следует иметь в виду, что при использовании этих методов в глубоких скважинах (сотни метров) результаты определений могут быть искажены из-за большого количества каверн в затрубном пространстве, переменного сечения скважины и т. п. На результаты определения влияет также наличие в скважине бурового раствора, образовавшиеся цементные корки и т. д.

## § 15. ГЕОБОТАНИЧЕСКИЙ МЕТОД

Геоботанический метод исследований базируется на связи растительности с гидрогеологическими и геологическими условиями изучаемой территории. Наблюдениями установлено, что корни растений проникают в горные породы на различную глубину, а отдельные сообщества или господствующие виды растительности имеют определенную связь с подземными водами, с почвенным покровом и с материнской горной породой. Последняя иногда непосредственно влияет на растительность, а в некоторых случаях влияние материнской породы передается растительности через почву.

Это позволяет по характеру растительности судить о литологическом составе пород и о гидрогеологических условиях, а иногда и выявлять некоторые физико-геологические явления (оползни, просадки, засоление и заболачивание пород и др.). Глубина, в пределах которой можно по геоботаническим данным получить представление о литологическом составе пород и гидрогеологических условиях, определяется естественными факторами. Она составляет 2—5 м в зоне тундр, 5—10 м в зоне лесов, 15—20 м (иногда и более) в зоне полупустынь и пустынь.

Наблюдения показывают, что корни растений иногда довольно глубоко проникают в горные породы определенного типа. Так, например, корни черного саксаула (*Haloxylon aphyllum*) могут проникать в породы на глубину более 10 м, корни видов рода *Alhagi* на глубину 15 м и более.

Однако эти цифры следует принимать с осторожностью, как полученные для отдельных ограниченных районов с благоприятными условиями для геоботанических индикаций.

Геоботанические исследования, проводимые с целью изучения связи растительности с условиями среды, получают название и т и к а ц и о н и к а. Эти исследования можно разделить на три этапа: 1) изучение растительности и условий ее местообитания (геологических, гидрогеологических и др.); 2) выявление корреляционных сви-

зей между растительностью и определенными условиями по полученным фактическим данным; 3) выделение наиболее достоверных, наиболее тесно связанных с естественными условиями растительных сообществ и их изучение.

Изучение растительности на территории исследований обычно проводит специалист-геоботаник. Изучению подвергают участки с естественной растительностью, на которых можно успешно использовать геоботанический метод. В местах, где на смену естественной растительности пришла культурная (сады, огороды, сельскохозяйственные угодья), этот метод по существу не применим.

На основе собранных сведений о растительности и условиях ее местообитания составляют так называемые индикационные карты и индикационно-ландшафтные профили, по которым можно установить корреляционные связи растительных сообществ с условиями их местообитания (геологическими, гидрогеологическими и др.) и выделить достоверные растительные сообщества-индикаторы. Нередко результаты геоботанических исследований, проверенные бурением, показывали наличие определенных закономерностей и позволяли выделить целый ряд типичных районов.

1. Районы распространения полынной полупустыни, где господствующим видом является седой серебристый полукустарник — полынь серая, сложенные древнекаспийскими суглинками: тяжелыми, засоленными или более легкими со значительным количеством супесчаных прослоев. Облегчение механического состава пород проявляется в том, что на однообразном фоне полынной пустыни появляются пятна злаков, главным образом ковылей.

2. Районы распространения злаковых сообществ, образованных главным образом ковылями и эркеком (сибирский житняк *Agropyrum sibiricum*) с примесью полыни и крупного песколюбивого кустарничка терескена, сложены полимиктовыми крупнозернистыми песками с включением карбонатных стяжений. Интересно отметить, что в этом районе полынь не развивается там, где в песках имеются линзы суглинков.

3. В районах распространения глины господствует черная полынь и пустынные кустарники биуртуп *Anabasis salsa* и жир-тезек *Anabasis brachiata*.

4. Линзы неглубоко залегающих слабо минерализованных подземных вод выявляются по ширейным лугам, а при значительном содержании в воде солей — по солончаковым лугам и зарослям солянок.

Приведенное описание индикационной карты показывает возможность применения геоботанического метода при инженерно-геологических исследованиях, особенно если применять его в комплексе с другими методами исследований.

Однако необходимо иметь в виду, что применение геоботанического метода встречает ряд трудностей. Во-первых, в подавляющем большинстве случаев индикационные связи прослеживаются на незначительную глубину, измеряемую несколькими метрами.

Во-вторых, этот метод вообще неприменим на территориях, где естественная растительность заменена культурной (сельскохозяйственными угодьями, искусственными посадками и т. п.). В-третьих, метод не всегда дает однозначные результаты, которые требуют проверки другими методами.

## § 16. ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Обследование состояния инженерных сооружений дает весьма ценную инженерно-геологическую информацию. Основывается этот метод на том очевидном положении, что деформации сооружений в основном бывают вызваны физико-геологическими и инженерно-геологическими процессами. Правда, деформации сооружений могут возникать и по другим причинам, не связанным с геологией, например вследствие строительных дефектов. В таких случаях следует учитывать и оценивать только деформации, обусловленные физико-геологическими и инженерно-геологическими процессами.

По результатам обследования состояния инженерных сооружений можно решать следующие задачи, необходимые для инженерно-геологической оценки местности.

1. Выявление деформаций пород, характерных для данного района или для его отдельных участков. Например, в южной части Волгограда большинство гражданских и промышленных сооружений было деформировано из-за просадочности элювиально-делювиальных суглинков и способности к набуханию хвалынских глин, являющихся естественными основаниями сооружений. Опасность этих явлений полностью выявилась лишь после деформации ряда сооружений.

2. Выявление инженерно-геологических и физико-геологических процессов, вызвавших деформации сооружений.

3. Оценка эффективности различных защитных мероприятий в данных инженерно-геологических условиях. Так, например, обследование жилых массивов в южной части Волгограда показало, что в наилучшем состоянии находятся те сооружения, для которых были соблюдены следующие условия:

а) быстрые темпы строительства и мероприятия, направленные на защиту пород, слагающих естественные основания сооружений, от замачивания;

б) безаварийная работа водопровода, канализации, водяного отопления в процессе эксплуатации;

в) усиление фундаментов и укрепление стен аданий железобетонными поясами.

При обследовании жилых построек, расположенных в долинах рек на юго-восточном побережье Крыма, возведенных на элювиально-щебнисто-глинистых суглинках, периодически увлажняемых во время снеготаяния, в периоды дождей и при поливе виноградников было выявлено, что причинами деформаций сооружений являются:

а) недостаточная глубина заложения фундаментов (менее 0,6 м);  
б) применение глины вместо цемента при кладке фундаментов;

в) малая жесткость конструкций сооружений.

4. Выявление и оконтуривание участков, устойчивых для различных типов сооружений.

Решение перечисленных выше задач позволяет повысить достоверность инженерно-геологических прогнозов и уменьшить число дорогостоящих горных выработок. Особенно высокий эффект достигается при проведении обследования сооружений параллельно с инженерно-геологической съемкой.

Обследование инженерных сооружений для инженерно-геологических целей по существу состоит из трех операций:

- 1) предварительной подготовки;
- 2) натурного обследования сооружений;
- 3) обработки собранных материалов.

Предварительная подготовка сводится к выбору объектов обследования, к сбору и изучению архивных материалов, касающихся выбранных объектов.

При изучении архивных данных в первую очередь следует уделить внимание сведениям о деформации сооружений. Собирают данные обо всех конструктивных особенностях сооружений, испытывающих деформацию, о типах фундаментов, принятых нагрузках, составе и свойствах пород, лежащих на естественных основаниях. Кроме того, необходимо собрать следующие сведения, характеризующие условия строительства:

- а) величина осадок сооружений;
- б) принятые углы откосов котлованов, выемок и насыпей в различных породах;
- в) поведение пород в откосах и стенках котлованов при различной степени их увлажнения;
- г) величина водопритоков в котлованы;
- д) конструкция и эффективность дренажных сооружений;
- е) проведенные мероприятия по улучшению свойств пород и т. п.

В том случае, когда отсутствуют строительные чертежи, акты, заключения экспертиз и другие документы, необходимые сведения можно получать путем опроса лиц, принимавших участие в строительстве или эксплуатации сооружений.

При подготовке к натурному обследованию сооружений рекомендуется провести рекогносцировочные маршруты для выявления наиболее крупных и особо ответственных сооружений, имеющих явные следы деформаций, так как именно на них в первую очередь сказываются неблагоприятные инженерно-геологические условия.

Окончательный выбор объектов для обследования производится после сопоставления и анализа данных рекогносцировки и изучения архивных материалов.

Выбор объектов обследования и их количество определяются:

а) масштабом съемки — чем крупнее масштаб, тем больше должно быть количество обследованных сооружений на единицу площади;

б) сложностью инженерно-геологических условий;

в) степенью и характером застройки территории; в условиях неравномерной застройки территории на отдельных участках подлежат обследованию все сооружения, на других же, где имеется большое количество сооружений, приходится выбирать только наиболее характерные.

Ориентировочно для обследования намечаются сооружения:

а) потерпевшие аварии;

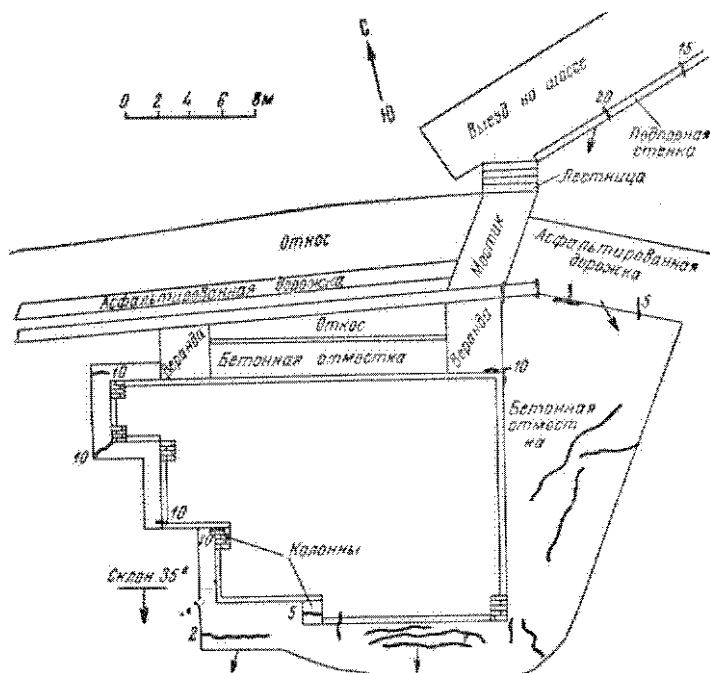


Рис. 41. Деформация здания, вызванная оползневыми подвижками, и разрушение бетонной отмости и южной части здания, обусловленное оплывинами насыпного грунта. Жирными линиями указаны трещины, цифрами около линий — ширина трещины в мм

- б) испытывающие деформации;
- в) крупные и особо ответственные;
- г) находящиеся в явно неблагоприятных инженерно-геологических условиях;
- д) с усиленной жесткостью и другими конструктивными особенностями, направленными на обеспечение устойчивости и долговечности сооружения;

е) любого типа, класса и состояния в малозастроенных районах.

Для обследования выбирают сооружения, расположенные на различных геоморфологических элементах и в различных (типичных) инженерно-геологических условиях. Поэтому следует предварительно

выделить типичные участки, где на основании изучения фондовых материалов или рекогносцировочного обследования предполагаются различные инженерно-геологические условия. При выборе сооружений для обследования предпочтение следует отдавать тем объектам, для которых есть наиболее полная инженерно-геологическая характеристика участка и строительная документация, так как обследование таких объектов дает особенно ценные результаты. В зависимости от местных условий могут быть отклонения от приведенной выше схемы выбора объектов для обследования сооружений.

Натурное обследование заключается в осмотре сооружений и оценке состояния стен, перекрытий, внутренних помещений, состояния откосов, насыпей, дорожных покрытий, если возможно фундаментов и т. п. Осмотр сопровождается замерами, описаниями, зарисовками, фотографированием, составлением профилей (рис. 41, 42).

Особое внимание при натурном обследовании сооружений следует обращать на трещины, покосившиеся проемы, зазоры в сопряжении стен и т. п. Желательно, чтобы в обследовании участвовал специалист-строитель или эксплуатационник, который может помочь выявить деформации, вызванные причинами, связанными со строительством.

Осмотру и описанию подлежат также местность вокруг сооружения, в пределах которой следует описывать обнажения (естественные и искусственные), охарактеризовать физико-геологические явления, водопроизведения, следы инженерно-геологических процессов (признаки осадки, выщирания, разжижения пород и т. п.), а также все изменения естественных условий, вызванные деятельностью человека (распашка склонов, орошение и т. п.).

Кроме детального обследования, намеченного в процессе рекогносцировки, полезно хотя бы бегло осмотреть сооружения, находящиеся в сходных инженерно-геологических условиях. При этом

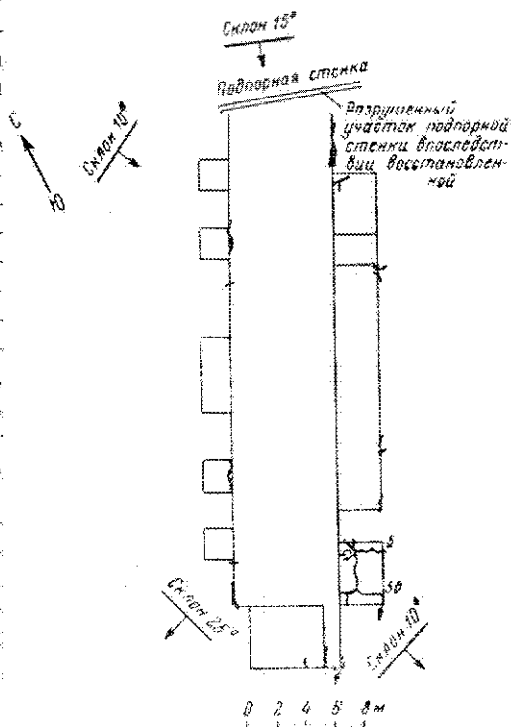


Рис. 42. Деформация здания, вызванная оползевыми подвижками. Жирными линиями указаны трещины, цифрами около линий — ширина трещин в мм.



деформированные сооружения необходимо осматривать более тщательно, чтобы установить сходство или различие в характере деформаций по сравнению с детально обследованным. Если сооружения строились по единому типовому проекту, а деформированными оказались только некоторые из них, особое внимание следует уделить сбору сведений об условиях строительства и режиме эксплуатации тех и других сооружений.

При натурном обследовании сооружений на участках с неблагоприятным инженерно-геологическими условиями, где иногда деформации приобретают массовый характер, необходимо обследовать и недеформированные строения. Сравнение позволит выявить конструктивные особенности (тип фундамента, усиленная жесткость и т. п.), обеспечивающие сохранность сооружений от деформации.

В ряде случаев собранных сведений оказывается недостаточно, приходится возможно ближе к сооружению закладывать горно-буровые выработки с целью осмотра его подземных частей и отбора проб для определения физико-технических свойств пород, слагающих основание.

Нормы затрат времени на обследование состояния инженерных сооружений еще не разработаны и их трудно определить вследствие разнообразия типов строений и специфики самих работ. Так, почти невозможно нормировать работы по сбору технической документации, затраты времени на опрос лиц, имеющих отношение к строительству или эксплуатации сооружения, получение разрешения на его осмотр и т. п.

Таблица 11

Ориентировочные затраты времени на обследование сооружений  
По С. В. Дроздову

| Вид сооружения  | Суммарная затрата времени (час./сутей)<br>на обследование сооружения<br>и окружающего участка |   |
|---|---|---|
|   | в сложных условиях,<br>при наличии значи-<br>тельных деформаций                               | в несложных<br>условиях, при от-<br>сутствии деформации |
| Крупное промышленное предприятие  | 10—20   | 4—6   |
| Крупный санаторный комплекс . . .   | 5—15  | 4—6   |
| Отдельное здание, цех . . . . .   | 3—10  | 1—5   |
| Комплексе противопаводковых соору-<br>жений   | 3—10  | —   |
| Небольшое (1—2 этажа, 2—4 кварти-<br>ры) здание . . . . .   | 2—5   | 1—2   |
| Участки дорожного полотна (0,3—<br>0,5 км) . . . . .  | 3—10  | 1—2   |
| Средний мост . . . . .  | 2—10  | 1—2   |
| Некоторые сравнительно мелкие со-<br>оружения (подпорные стенки, мачты<br>ЛЭН, отдельные бунны, небольшие мо-<br>сты и т. п.) . . . . . | 2—5   | 0,5—2   |

С. В. Дроздов, проделавший большое количество таких обследований, рекомендует пользоваться для составления проектов работ и смет следующими ориентировочными данными, полученными на основании его личного опыта (табл. 11).

Обработка собранных данных, полученных в процессе натурного обследования, прежде всего позволяет установить деформации, обусловленные дефектами строительства.

Обоснование причин деформаций, зависящих от геологических условий, требует привлечения всех имеющихся материалов по инженерно-геологическому изучению территории. Наиболее эффективным методом такого анализа является сравнение распределения по площади характерных видов деформаций сооружений с факторами, определяющими инженерно-геологические условия местности (приуроченность к определенным геоморфологическим или тектоническим элементам, условия залегания подземных вод, типам и состоянию пород и т. п.). С этой целью на геологические карты наносятся условными знаками сооружения, имеющие деформации, очерчиваются районы, где проявляются характерные деформации и т. п.

## § 17. ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД

Лабораторные методы инженерно-геологических исследований являются составной частью комплекса инженерно-геологических исследований. Они применяются для решения следующих задач:

1) геологического изучения пород — их минерального (путем изучения шлифов пород, образцов пород с помощью бинокулярной лупы), химического, механического состава и т. п.;

2) определения классификационных показателей физико-технических свойств с целью инженерно-геологической типизации горных пород;

3) определения расчетных показателей физико-технических свойств пород с целью расчета устойчивости и долговечности сооружений;

4) определения показателей физико-технических свойств пород с целью рационального выбора мероприятий по мелиорации пород и борьбе с оползнями, карстом и т. п.

Показатели физико-технических свойств пород могут быть качественными и количественными.

В. А. Приклонский предложил делить все показатели на следующие:

1) классификационные, служащие для выделения типичных по физико-техническим свойствам разновидностей пород;

2) косвенные расчетные, используемые для вычисления как классификационных, так и прямых расчетных показателей;

3) прямые расчетные, используемые для строительных расчетов.

В табл. 12, составленной В. А. Приклонским (с небольшими изменениями автора), приведен перечень классификационных показателей физико-технических свойств пород, методы их определения и

Классификационные показатели физико-технических свойств пород  
По В. А. Приклонскому

| Свойство или признак породы                               | Показатели   | Метод определения   | Породы *  |         |           |
|---|--|---|-----------|---------|-----------|
|   |  |   | связанные | связные | несвязные |
| Цвет  | Цвет и его оттенок для пород с естественной влажностью   | Визуальный (лучше пользоваться шкалой цветов)   | +         | +       | +         |
| Минералогический состав                                   | Общая характеристика состава минералов (особенно нестойких и глинистых) с указанием их (приблизительно) содержания (в %)           | Визуальный, с помощью лупы, микроскопа, химический анализ                                 | +         | +       | +         |
| Карбонатность   | а) известковые стяжения; б) интенсивность вскипания с HCl; в) количество CO <sub>2</sub>   | а) визуальный; б) проба на вскипание с HCl; в) кальциметрический                          | +         | +       | +         |
| Органические вещества                                     | а) темный или черный цвет; б) наличие растительных остатков; в) количество гумусовых веществ                                       | а и б) визуальный; в) анализ извлеченных вытяжек, прокаливание                            | +         | +       | —         |
| Засоленность (главным образом гипсом и хлористым натрием) | а) наличие кристаллов, белых и серых пятен и выцветов; б) количество солей   | а) визуальный; б) анализ водных и солянокислых вытяжек                                    | +         | +       | +         |
| Окисленность: наличие закиси железа                       | Серовато-зеленоватый   | Визуальный  | —         | +       | +         |
| наличие окиси железа                                      | Бурый, красно-бурый, желто-бурый   | Визуальный  | +         | +       | +         |
| Текстура  | а) степень однородности; б) характеристичности; в) включения   | Визуальный  | +         | +       | +         |
| Структура   | а) размер и степень однородности зерен; б) форма зерен; в) взаимное расположение зерен; г) тип цемента                             | а) визуальный; б) просмотр шлифов; в) действие воды; г) механический анализ               | +         | +       | —         |
| Выветрелость  | Показатели выветрелости (изменение цвета, вторичные минералы, трещиноватость и т. д.)<br>Вес 1 см <sup>3</sup> в г                 | Визуальный  | +         | +       | +         |
| Естественный объемный вес                                 | Объем пор в процентах ко всему объему пробы и или в долях единицы по отношению к объему скелета пробы                              | Взвешивание образца известного объема   | +         | +       | +         |
| Естественная пористость                                   | а) изменение состояния породы при сжатии в руках; б) влажность W в весовых процентах   | Вычисление по удельному, объемному весу и влажности                                       | +         | +       | +         |
| Естественная влажность                                    |  | а) визуальный; б) высушивание   | +         | +       | +         |
| Степень заполнения пор водой                              | Коэффициент влажности  | Вычисление по объемному весу, влажности и пористости                                      | —         | +       | +         |
| Пластичность  | Пределы и число пластичности: W <sub>p</sub> , W <sub>L</sub> , M <sub>p</sub>   | а) стандартной ручкой; б) А. М. Васильева   | —         | +       | —         |
| Естественная консистенция                                 | а) характер поведения породы при скатывании в жгут; б) сопротивление вдавливанию конуса; в) показатель консистенции K <sub>h</sub> | а) раскатывание в жгут; б) пенетрация; в) вычисление по влажности и пределам пластичности | —         | +       | —         |
| Размокаемость   | а) характер и скорость размокания; б) показатель структурности K <sub>с</sub>  | а) непосредственное наблюдение; б) Н. В. Коломенского                                     | —         | +       | —         |
| Набухаемость  | Увеличение объема породы в процентах к первоначальному   | А. М. Васильева   | —         | +       | —         |
| Уплотняемость   | Показатель степени плотности D   | Вычислено по максимальной, минимальной и естественной пористости                          | —         | —       | +         |
| Степень уплотненности                                     | Показатель степени уплотненности K <sub>у</sub>  | Вычисление по пределам пластичности и естественной пористости                             | —         | +       | —         |
| Водопроницаемость   | Коэффициент фильтрации k   | Определение с помощью трубки «Спецгео»  | —         | —       | +         |

\* Знак плюс — показатель применяется, знак минус — показатель не применяется.



возможность их применения при характеристике различных типов пород.

Качественные и количественные классификационные показатели определяются не только в стационарных лабораториях, но и в полевых условиях, для чего используются полевые инженерно-геологические лаборатории. К сожалению, большинство классификационных показателей являются только качественными, поэтому при инженерно-геологической классификации пород могут быть допущены чисто субъективные ошибки. При увеличении детальности исследований в целях инженерно-геологической типизации пород привлекаются и другие — количественные показатели физико-технических свойств пород. Кроме того, методика определения ряда количественных показателей обладает недостатками, которые необходимо учитывать при использовании этих показателей для оценки инженерно-геологических условий.

Так, показатели пластичности — нижний ( $W_p$ ) и верхний ( $W_L$ ) пределы пластичности, а также число пластичности ( $M_p$ ) — характеризуют одновременно минералогический и механический состав горных пород. Эти показатели используются для классификации глинистых пород (выделение суглессей, суглинков, глин по числу пластичности) и для определения консистенции пород путем вычисления показателя консистенции.

Перечисленные показатели определяются только для пород с нарушенной структурой (породу предварительно высушивают и истирают в ступке), что является существенным недостатком. Показатели пластичности характеризуют лишь минеральный и механический состав пород, но не отражают действительную консистенцию ненарушенной породы, так как ее консистенция зависит также от структуры породы, состава и структурного состояния цементирующих веществ.

Нижний предел пластичности определяют не с помощью приборов, а вручную, и потому точность определения зависит от квалификации лаборанта. В силу этого значения показателя, а следовательно, и значения числа пластичности, определенные в различных лабораториях, могут существенно отличаться одни от других. При вычислении показателя консистенции  $K_c$  по влажности и пределам пластичности приходится производить ряд арифметических действий, вследствие чего уменьшается точность этого показателя.

Следует иметь в виду, что точность и достоверность таких показателей, как объемный вес и пористость, зависят от степени нарушения естественной структуры и влажности породы в процессе взятия пробы на анализ. Очень важно правильно выбрать способ отбора пробы в зависимости от естественных условий и задач исследования.

В. А. Приклонским составлена также таблица (с изменениями и дополнениями автора) для характеристики косвенных расчетных показателей (табл. 13).

Следует отметить, что удельный вес отдельных генетических типов рыхлых пород колеблется в незначительных пределах, так как

Таблица 14

**Прямые расчетные показатели физико-технических свойств пород**  
По В. А. Прикляченко

| Показатель   | Практическое применение   | Породы *                        |                                 |                                 |
|--|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|  |   | скаль-<br>ные                   | связ-<br>ные                    | не-<br>связ-<br>ные             |
| 1  | 2   | 3                               | 4                               | 5                               |
| Естественный объ-<br>емный вес и объем-<br>ный вес под водой | Вычисление: 1) осадки сооружения;<br>2) давления на подпорную стенку;<br>3) устойчивости основания; 4) устой-<br>чивости откосов<br>Определение критических скоро-<br>стей и градиента для оценки суффозии  | —<br>+<br>—<br>—<br>—           | +<br>+<br>+<br>+<br>+           | —<br>+<br>—<br>+<br>+           |
| Параметры кривой<br>сжатия                                   | Вычисление осадки сооружения  | —                               | +                               | —                               |
| Модуль сжатия  | То же   | —                               | +                               | —                               |
| Модуль полной де-<br>формации                                | Оценка устойчивости основания   | —                               | +                               | +                               |
| Модуль упругости   | Оценка упругих свойств породы   | +                               | +                               | +                               |
| Коэффициент бо-<br>кового давления                           | Расчет устойчивости основания   | —                               | +                               | +                               |
| Временное сопро-<br>тивление сжатию                          | То же   | +                               | —                               | —                               |
| Коэффициент и<br>угол сдвига                                 | Оценка устойчивости: 1) основа-<br>ния; 2) откоса; 3) определение да-<br>вления на подпорную стенку   | —<br>—<br>—                     | +<br>+<br>+                     | +<br>+<br>+                     |
| Коэффициент и<br>угол внутреннего<br>трения                  | То же   | —                               | +                               | +                               |
| Спектрение   | * *   | —                               | +                               | —                               |
| Угол естественно-<br>го откоса                               | Оценка устойчивости откоса  | —                               | —                               | +                               |
| Гранулометриче-<br>ский состав                               | Подбор оптимальных смесей<br>Выбор отверстий фильтров<br>Расчет обратных фильтров<br>Оценка возможности возникнове-<br>ния механической суффозии и при-<br>менения породы в качестве добавки<br>для бетона  | —<br>—<br>—<br>—<br>—           | +<br>+<br>+<br>+<br>—           | +<br>+<br>+<br>+<br>+           |
| Содержание раст-<br>воримых составля-<br>ющих (засоленность) | Оценка возможности возникнове-<br>ния химической суффозии (выщела-<br>чиваемости)   | +                               | +                               | +                               |
| Коэффициент<br>фильтрации                                    | Расчеты: 1) потеря воды на филь-<br>трацию (в каналах, водохранилищах<br>и т. п.); 2) притока воды в коло-<br>ваны и другие выработки; 3) дре-<br>нажных сооружений; 4) искусствен-<br>ного водопонижения; 5) пролонжи-<br>тельности осадки сооружений; 6) под-<br>пора грунтовых вод | +<br>+<br>+<br>+<br>+<br>+<br>+ | +<br>+<br>+<br>+<br>+<br>+<br>+ | +<br>+<br>+<br>+<br>+<br>+<br>+ |

\* Знак плюс — показатель применяется, знак минус — показатель не при-  
меняется.

| Показатель                        | Практическое применение  | Породы *      |              |                     |
|-----------------------------------|--|---------------|--------------|---------------------|
|                                   |  | скаль-<br>ные | связ-<br>ные | не-<br>связ-<br>ные |
| 1                                 | 2  | 3             | 4            | 5                   |
| Коэффициент<br>фильтрации         | Построение эпюры напоров по под-<br>земному контуру сооружения при<br>неоднородном основании | +             | +            | +                   |
| Высота капилляр-<br>ного поднятия | Определение глубины заложения<br>фундаментов и дренажных сооруже-<br>ний                     | —             | +            | —                   |

\* Знак плюс — показатель применяется, знак минус — показатель не при-  
меняется.

минералогический состав их, определяемый условиями осадкообра-  
зования, более или менее однороден. В силу этого определений  
удельного веса обычно делают меньше, чем определений других  
показателей. Иногда же, когда это не связано с расчетами сжимае-  
мости пород, величину удельного веса берут по табличным данным,  
помещенным в справочниках, руководствуясь полевым определением  
типа пород (песок, суглинки и т. п.).

В табл. 14, составленной В. А. Приклонским (с небольшими изме-  
нениями автора), приведена характеристика прямых расчетных  
показателей.

Для определения большинства прямых расчетных показателей  
в лабораторных условиях используют пробы малого размера и объема,  
которые не могут охарактеризовать весь изучаемый массив пород  
в целом. Размер проб определяется используемой в настоящее время  
лабораторной аппаратурой. Кроме того, на точность определения  
этих показателей в значительной степени влияет способ отбора  
и обработки проб.

Для исключения этих недочетов часто прибегают к двум приемам:

1) к массовому определению показателей для изучаемого массива  
пород и последующей обработке экспериментальных данных с по-  
мощью методов математической статистики; в этом случае получают  
усредненные показатели свойств пород, характеризующие весь  
изучаемый массив;

2) к производству полевых опытных работ, в процессе которых  
получают показатели свойств пород на пробах большого размера  
с ненарушенной структурой и влажностью.

Следует отметить, что подбор показателей физико-технических  
свойств пород определяется стадией и циклом исследования, типом  
сооружения и естественными условиями, о чем более подробно будет  
сказано ниже.

## § 18. ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД<sup>1</sup>

При инженерно-геологических исследованиях, особенно на последних стадиях, для определения физико-технических свойств пород часто применяются опытные полевые работы.

Основными преимуществами полевых методов являются:

1. Возможность получения данных, характеризующих крупные массивы горных пород (особенно в сопоставлении с размерами проб, используемых для лабораторных определений). Так, в лабораторных условиях определение сопротивления пород сдвигающим усилиям проводят на пробах с площадью сдвига в 40—50 см<sup>2</sup>, а в полевых условиях испытывают пробы с площадью сдвига в 200—800 раз больше (1 × 1 м; 2 × 2 м). В силу этого при проведении полевых опытов в значительной мере исключается влияние на конечный результат случайных включений, местной неоднородности породы и т. п. Получаются усредненные данные, более близкие к природным условиям, чем полученные по лабораторным определениям.

Таблица 15

Основные методы полевых исследований физико-технических свойств  
горных пород, применяемые при инженерно-геологических исследованиях

По Г. К. Бондарик

| Исследуемые характеристики                     | Полевые методы  | Породы, для исследований которых они применяются   |
|--|---|--|
| Показатели деформационных свойств горных пород | 1. Опытные нагрузки в шурфах и в скважинах<br>2. Испытания прессиометром  | Песчано-глинистые<br><br>Песчано-глинистые   |
| Показатели прочности горных пород              | 1. Опытные сдвиги на полевых приборах и установках<br>2. Опытные обрушения и выпирания в шурфах<br>3. Испытание крыльчаткой | Скальные, полускальные и песчано-глинистые<br><br>Глинистые с твердыми включениями, полускальные и выветрелые скальные<br>Пластичные глинистые |
| Водопроницаемость горных пород                 | 1. Опытные откачки из скважин<br>2. Опытные наливывы в шурфы<br>3. Опытные нагнетания в скважины                            | Трещиноватые скальные и несвязные<br>Песчано-глинистые<br><br>Трещиноватые, галечниковые и др.   |

<sup>1</sup> Раздел составлен Г. К. Бондариком.



2. При производстве опытов в поле в большей степени, чем при проведении их в лаборатории, удастся сохранить естественную структуру и влажность породы, что приближает условия проведения опыта к природным. В этом отношении показательные опыты, проведенные при инженерно-геологических исследованиях для строительства Волгоградской ГЭС. Здесь показатели прочности проб бучакских пород, отобранных из скважин большого диаметра (800 мм), оказались выше показателей проб пород, отобранных из скважины малого диаметра (127 мм). Разница объяснялась тем, что с уменьшением диаметра бурения возрастает интенсивность разрушения керна.

Следует отметить, что опытные полевые работы требуют больших затрат средств и времени, применения более сложной и дорогостоящей аппаратуры, чем исследования в лабораториях. В силу этого опытные полевые работы обычно проводятся на последних стадиях инженерно-геологических исследований, они не носят массового характера и производятся по специально разработанной программе.

В табл. 15 охарактеризованы основные методы полевых исследований физико-технических свойств пород, применяемых при инженерно-геологическом изучении свойств пород, и указаны породы, для испытания которых они используются.

Ниже приводится краткое описание основных наиболее часто применяемых полевых методов изучения физико-технических свойств пород (описание методов определения водопроницаемости пород, излагаемых в соответствующих курсах гидрогеологии, не дается).

## 1. Методы определения деформативных характеристик горных пород

### *Опытные нагрузки в шурфах и скважинах*

Испытания статической нагрузкой проводятся в шурфах и скважинах при инженерно-геологических исследованиях на участках предполагаемого строительства ответственных сооружений, а также в строительных котлованах.

Обычно для испытаний используют штампы: круглые (площадью  $1000 \text{ см}^2$ ) в скважинах ( $d = 325 \text{ мм}$ ) и квадратные (площадью  $5000 \text{ см}^2$ ) в шурфах (сечением  $225 \times 225 \text{ см}$ ). Схемы испытаний пород опытными нагрузками в шурфах и в скважинах приведены на рис. 43 и 44.

В процессе опытов нагружение ведется ступенями до стабилизации осадки от каждой ступени. Считается, что стабилизация достигнута, если приращение осадки за 1 сутки не превышает 1 мм. Испытание доводится до нагрузок, несколько превышающих нагрузку на породу от сооружения. В отдельных случаях (по специальному заданию) нагрузку повышают до достижения предельной (критической) величины, которая фиксируется: 1) по появлению валика выщипания или трещины вокруг штампа; 2) по деформированию породы с постоянной скоростью, продолжающейся в течение не менее 1 суток; 3) по резкому увеличению осадки при незначительном

увеличении нагрузки (в 5 и более раз по сравнению с осадкой от предыдущей ступени).

Разгрузка ведется теми же ступенями. После снятия каждой ступени нагрузки в течение 1 ч наблюдают за разуплотнением грунта.

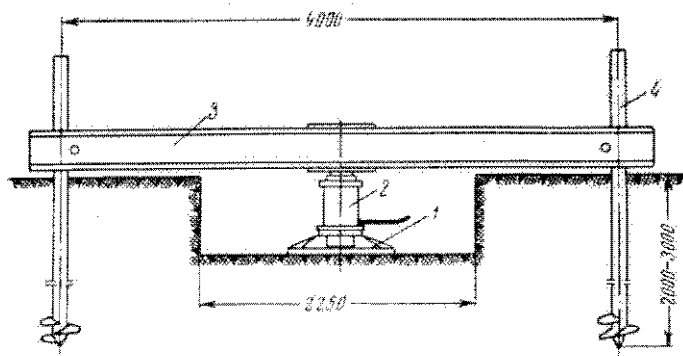


Рис. 43. Схема установки для испытаний пород пробной нагрузкой в шурфе

1 — грубый штамп; 2 — гидравлический домкрат; 3 — продольная упорная балка; 4 — винтовые анкерные сваи

По результатам опытных нагрузок составляют график  $S = f(p)$  (рис. 45).

Зависимость осадки от нагрузки в пределах пропорциональности выражается уравнением

$$S = c(p - p_0),$$

где  $S$  — осадка штампа, см;

$p$  — удельное давление на штамп,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ,

$p_0$  — начальное давление уплотнения (нагрузка, соответствующая отрезку, отсекаемому прямой  $S = f(p)$  на оси абсцисс);

$c = \text{ctg } \alpha$  (см. рис. 45).

По графику находится поправочное значение осадки  $S_0$ , учитывающее осадку от веса незагруженного штампа и первичное обмятие неровностей породы. Величины осадок, полученные по данным наблюдений, исправляют на величину  $S_0$ .

При испытаниях в скважинах вводится поправка на обмятие труб, определяемая по формуле:

$$\Delta = \frac{L \cdot P}{F \cdot E},$$

где  $L$  — длина труб, передающих нагрузку на штамп, см;

$P$  — нагрузка на погрузочной платформе, кг;

$F$  — площадь поперечного сечения труб,  $\text{см}^2$ ;

$E$  — модуль упругости материала труб,  $\text{кг}/\text{см}^2$ .

Модуль деформации породы определяется по одной из существующих формул, например по формуле Буссинеска

$$E = (1 - \mu^2) \frac{P}{S \cdot d},$$

где  $E$  — модуль деформации,  $\text{кг/см}^2$ ;

$P$  — полная нагрузка на штамп (берется по прямолинейному участку графика  $S = f(p)$ ),  $\text{кг}$ ;

$d$  — диаметр штампа или круга, равновеликого площади штампа, если испытания велись квадратным или прямоугольным штампом;

$S$  — конечная осадка, отвечающая нагрузке  $P$ ,  $\text{см}$ ;

$\mu$  — коэффициент поперечного расширения, принимаемый для песков и супесей равным 0,30, для суглинков — 0,35, для глины — 0,42.

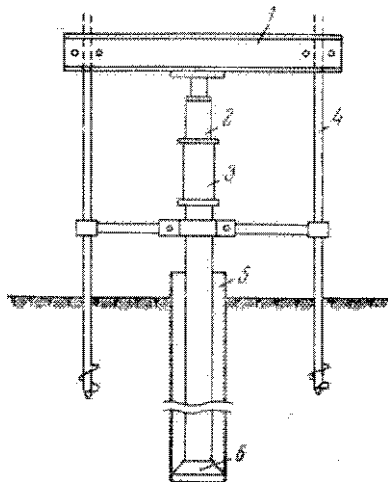


Рис. 44. Схема установки для испытания пород пробной нагрузкой в скважине

1 — упорная балка; 2 — датчик; 3 — дожимат;  
4 — направляющая; 5 — обсадная труба;  
6 — штамп

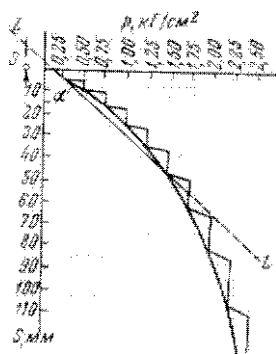


Рис. 45. График зависимости осадки породы от величины давления

При наличии на графике  $S = f(p)$  участков с разными наклонами модуль деформации вычисляют по формуле

$$E = (1 - \mu^2) \frac{P_{n+1} - P_n}{(S_{n+1} - S_n) \cdot d},$$

где  $P_n$ ,  $P_{n+1}$  — начальная и конечная нагрузки на рассматриваемом участке;  $S_n$ ,  $S_{n+1}$  — отвечающие им деформации.

## Испытания прессиометром

Метод прессиометрии применяется для определения деформативных свойств песчано-глинистых пород в буровых скважинах. Метод заключается в измерении осадки породы, вскрытой в стенке скважины, под действием давления.

В скважину на нужную глубину опускают на шлангах цилиндр с эластичными стенками, разделенный на три камеры давления (рис. 46). Верхняя и нижняя вспомогательные камеры давления соединены с бачком, а средняя, рабочая камера — с измерительным цилиндром. Бачок и измерительный цилиндр сообщаются между собой и в свою очередь соединены через редуктор с малогабаритным высоконапорным газовым баллоном, заполненным углекислотой или сжатым воздухом. Давление газа через воду, заполняющую систему, передается на породу, вскрытую в стенках буровой скважины.

Зонд с камерой давления опускают в скважину на нужную глубину, затем в прибор при помощи редуктора задают нагрузку. Замеры деформаций ведут через 2 минуты в течение примерно 20 минут до условной стабилизации осадки. После этого задают следующую ступень нагрузки.

Модуль деформации  $E$  определяют по формуле ГНП Фундамент-проекта

$$E = (1 + \mu) \lambda \frac{\Delta P}{\Delta V},$$

где  $\Delta P$  — приращение давления;

$\Delta V$  — приращение объема рабочей камеры, отвечающее приращению давления  $\Delta P$ ;

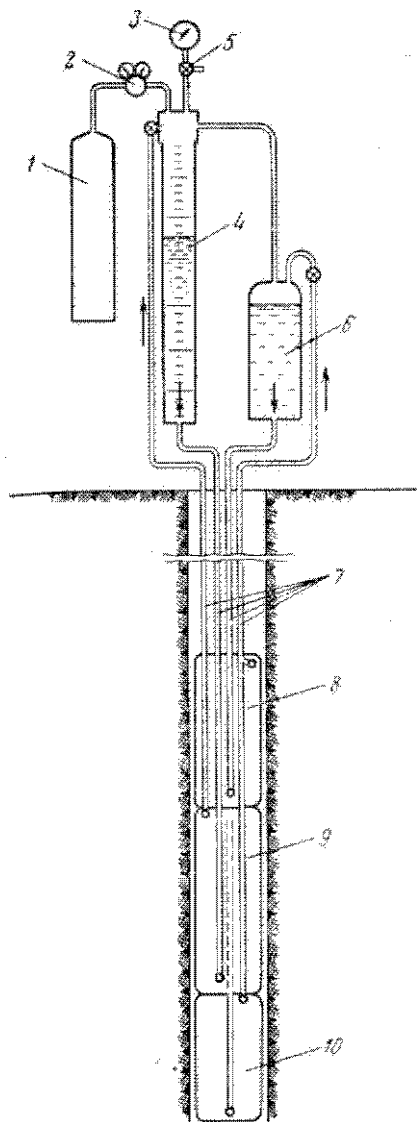


Рис. 46. Схема прессиометра

1 — газовый баллон; 2 — редуктор; 3 — манометр; 4 — измерительный цилиндр; 5 — измерительный прибор; 6 — бачок; 7 — зонд; 8 и 9 — вспомогательные камеры; 10 — рабочая камера

$\lambda$  — постоянная прессометра, устанавливаемая при тарировке прибора,  $\text{см}^2$ ;  
 $\mu$  — коэффициент бокового расширения (Пуассона).

## 2. Методы определения прочностных характеристик горных пород

Опытные сдвиги, обрушение и выщипывание целников породы в горных выработках и строительных котлованах выполняются с целью определения прочностных характеристик неоднородных пород в естественных условиях залегания. Эти методы применяются, когда невозможно отобрать пробы ненарушенного сложения (трещиноватые или слабо связанные песчано-глинистые породы) или получить пока-

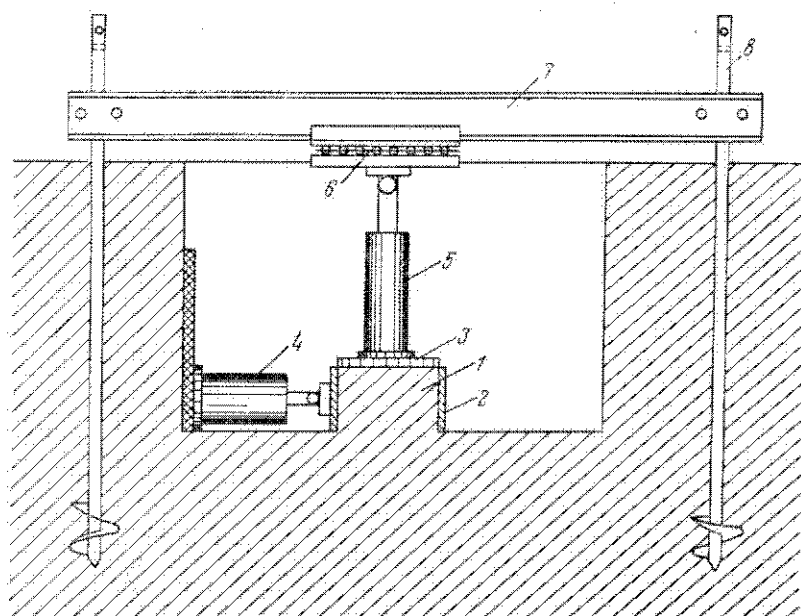


Рис. 47. Схема установки для определения сопротивления целника породы сдвигающим усилиям

1 — целник породы; 2 — обод; 3 — штамп; 4 — горизонтальный динамометр; 5 — вертикальный динамометр; 6 — плоская шариковая обойма; 7 — уловная балка; 8 — винтовые связи

затели прочности, которые при лабораторных способах их определения будут недостоверны (глинисто-щебнистые или песчано-гравелистые отложения, плотные трещиноватые глинистые породы с ясно выраженной структурой, сильно неоднородные песчано-глинистые отложения).

Сдвиг целников породы в шурфах. Схема установки для сдвига целника породы в шурфе приведена на рис. 47. После проведения пеш-

таний при разных вертикальных нагрузках строят диаграмму сдвига

$$S = f(P),$$

где  $S$  — сдвигающее напряжение;

$P$  — вертикальная нагрузка.

Величину сцепления и угол внутреннего трения находят по диаграмме сдвига.

**Обрушение целиков пород.** Схема установки для обрушения целиков породы в шурфах приведена на рис. 48. После обрушения целика строят кривую обрушения в масштабах 1:5 или 1:10. Целик разбивают на блоки (рис. 49) и составляют уравнение равновесия.

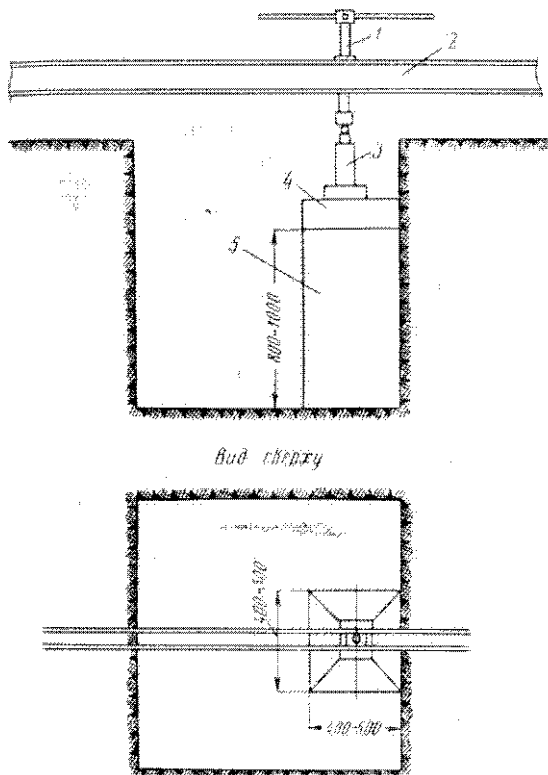


Рис. 48. Схема установки для обрушения целика в шурфе

1 — пневматический молот; 2 — упорная балка; 3 — динамометр; 4 — клин; 5 — целик породы

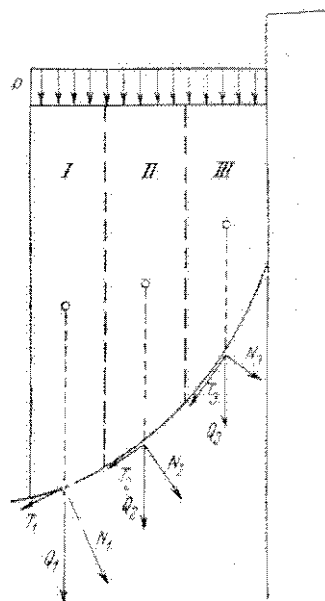


Рис. 49. Схема усилий, развивающихся при обрушении призмы породы

Аналогично строят кривую обрушения для второго обрушенного целика породы. В результате двух испытаний находят систему уравнений

$$\sum_{i=1}^n T = \sum_{i=1}^n N \cdot f + cA_1,$$

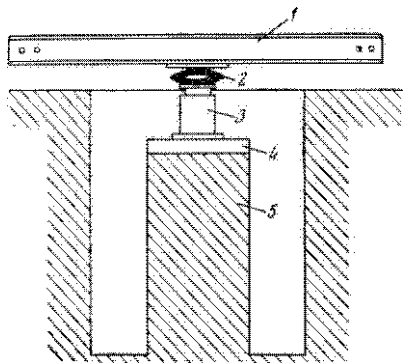
$$\sum_{i=1}^n T = \sum_{i=1}^n N \cdot f + cA_2,$$

где  $N$  — нормальное давление;  
 $T$  — сдвигающее усилие;  
 $f$  — коэффициент внутреннего трения;  
 $c$  — сцепление;

$A_1$  и  $A_2$  — площади поверхностей скольжения первого и второго цилиндров.

Решив эту систему уравнений, получают показатели сдвига  $c$  и  $f = \operatorname{tg} \varphi$ .

**Обрушение и сдвиг призм пород.** Обрушение и сдвиг призм пород размером  $50 \times 50 \times 70$  см в зависимости от цели испытаний производят по плоскости напластования, нормально к ней или под различными углами.



Для проведения испытаний в породе делают прорезь, куда закладывают плоский домкрат. Схема испытаний по сдвигу и обрушению призм приведена на рис. 50.

Давление  $P$ , передаваемое домкратом на плоскость среза, определяется по формуле

$$P = D \cdot S \cdot t = \Delta P \text{ кг.}$$

Рис. 50. Схема испытаний по раздавливанию призмы породы

1 — удерживающая балка; 2 — динамометр;  
 3 — цилиндрический домкрат; 4 — плита;  
 5 — целлик породы

где  $D$  — удельное давление жидкости в домкрате при срезе,  $\text{кг/см}^2$ ;

$S$  — рабочая площадь цилиндра домкрата,  $\text{см}^2$ ;

$t$  — коэффициент передачи давления, определяемый при тарировке домкрата;

$\Delta P$  — поправка за счет веса призмы и домкрата, кг.

Сцепление по плоскости среза (обрушения) призмы  $c$  определяется по формуле

$$c = \frac{P}{F} (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi),$$

где  $F$  — площадь среза,  $\text{см}^2$ ;

$\alpha$  — угол между плоскостью плиты домкрата и плоскостью среза;

$\varphi$  — угол внутреннего трения породы по плоскости среза (определяется по пробам в лабораторных условиях).

Обычно в поле проводится два-три испытания, по результатам которых составляется график зависимости сдвигающего усилия от величины нормального давления.

**Срез монолитов на полевых приборах.** Схема одного из полевых срезных приборов приведена на рис. 51. На монолит породы ставят обойму (круглую или прямоугольную в зависимости от коэф-

струкция прибора) и монолит осторожно подрезают по ее размерам. Затем надевают обойму, выравнивают и зачищают торцевые поверхности монолита и ставят обойму в прибор.

Методика проведения испытаний принципиально не отличается от методики лабораторных испытаний на срезных приборах. Выполняют 3—4 испытания при различных вертикальных нагрузках и строят диаграмму сдвига, по которой определяют показатели  $\varphi$  и  $c$ .

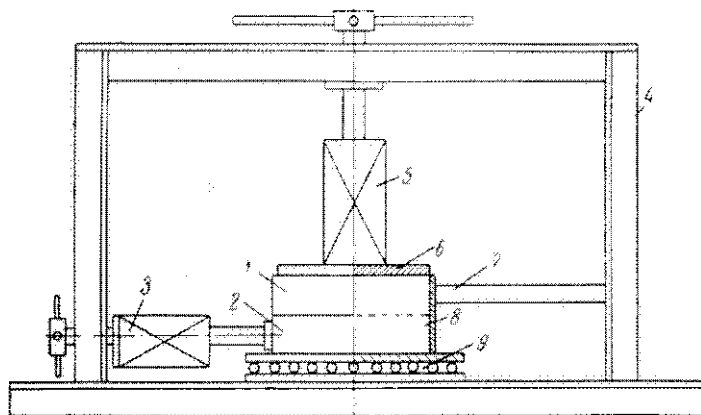


Рис. 51. Схема полевого срезного прибора (Днепронетровского института инженеров транспорта (ДИИТ))

1 — верхняя неподвижная обойма; 2 — нижняя подвижная обойма; 3 — горизонтальный домкрат с динамометром; 4 — упорная силовая рама; 5 — вертикальный домкрат с динамометром; 6 — штамп; 7 — упор для неподвижной обоймы; 8 — проба породы; 9 — ялоская обойма с шариками

Испытание породы крыльчаткой применяется для испытания однородных иловатых и пластичных глинистых пород, не содержащих крупных включений, залегающих на глубине до 20 м. Схема установки для крыльчатого зондирования приведена на рис. 52.

Рабочий орган любого крыльчатого зонда состоит из двух или четырех лопастей, которые вдавливают в забой или стенку скважины и затем поворачивают. При повороте лопастей измеряют крутящий момент. Зная величину момента и размеры лопастей, нетрудно рассчитать сопротивление сдвигу

$$\tau = \frac{M}{1,57d^2 \left( h + \frac{d}{3} \right)}, \text{ кгс/см}^2,$$

где  $M$  — крутящий момент;

$d$  — диаметр цилиндра вращения (двойная ширина одной лопасти);

$h$  — высота цилиндра вращения.



Во многих конструкциях высота лопасти принимается равной двум диаметрам цилиндра вращения ( $h = 2d$ ). Для таких установок сопротивление сдвигу вычисляют по формуле

$$\tau = 0,857 \frac{M}{d^3} = \frac{M}{3,66 d^3}.$$

Испытания крыльчатыми зондами, в которых конструктивно предусмотрено создание давления, направленного нормально к поверхности среза, ведут при двух его значениях  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Испытания выполняют в одной скважине, в пределах одного слоя пород, через 0,5 м. В результате получают систему уравнений

$$\tau_1 = \sigma_1 \operatorname{tg} \varphi + c,$$

$$\tau_2 = \sigma_2 \operatorname{tg} \varphi + c,$$

решение которой дает показатели сдвига — коэффициент внутреннего трения и сцепление.

Отношение сопротивления сдвигу грунта с ненарушенной структурой  $\tau_p$  сопротивлению сдвигу грунта, перемятого лопастями крыльчатки  $\tau_k$ , называют коэффициентом структурности, или чувствительностью глин. По величине обратной этому коэффициенту, называемой показателем структурной

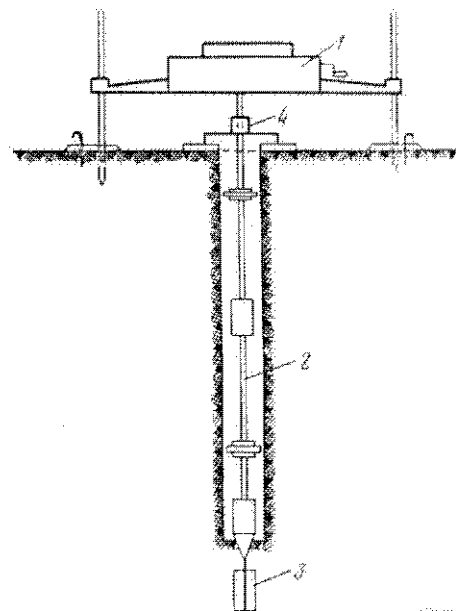


Рис. 52. Схема крыльчатого зонда УНГС-ЦНИИС-2

1 — оперативный столб; 2 — штанга; 3 — крыльчатый наконечник; 4 — подвеска

прочности  $L$ , глинистые породы подразделяются на четыре группы (табл. 16).

Таблица 16

Классификация пород по прочности структурных связей  
По Е. К. Бондаренку

| Значение показателя структурной прочности | Прочность структурных связей |
|---|------------------------------|
| $L = 1$                                   | Отсутствует                  |
| $1 > L > 0,5$                             | Низкая                       |
| $0,5 > L > 0,2$                           | Средняя                      |
| $0,2 > L > 0$                             | Высокая                      |

Модуль деформации породы  $E$  определяется по формуле

$$E = \omega (1 - \mu^2) \frac{M_0 - \tau d \cdot l (2h + 1,33l)}{0,25d^2h \cdot l} \sqrt{2dh},$$

где  $\omega$  — коэффициент, зависящий от соотношения высоты крыльчатки и ширины ее лопасти, при  $h = d$  коэффициент  $\omega = 0,92$ ;

$\mu$  — коэффициент Пуассона, для глины  $\mu = 0,42$ ;

$M_0$  — крутящий момент в первый момент приложения силы, когда угол поворота лопастей близок к нулю и усилие затрачивается в основном на сжатие грунта,  $\kappa\Gamma/\text{см}$ ;

$\tau$  — удельное сопротивление сдвигу,  $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ ;

$d$  — диаметр цилиндра, по образующей которого происходит срез (двойная ширина лопасти), см;

$h$  — высота лопасти крыльчатки, см;

$l$  — величина перемещения лопасти, см.

Глубина погружения крыльчатки ниже забоя скважины при испытаниях пород различной плотности принимается равной  $0,3 + \frac{1}{2}h$  м для пород, у которых  $\tau < 0,3 \kappa\Gamma/\text{см}^2$ , и равной  $0,5 + \frac{1}{2}h$  м — для пород, у которых  $\tau > 0,3 \kappa\Gamma/\text{см}^2$ . Испытания проводятся с двумя повторениями. Параллельные опыты ставят в прочных породах через 0,5 м, в слабых — через 1 м.

## § 19. СТАЦИОНАРНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

В целом ряде случаев инженерно-геологические процессы, протекающие в естественных условиях, продолжают достаточно долго. Так, например, подвижки оползневых масс могут происходить незаметно в течение ряда лет и даже десятилетий. Кроме того, методы прогноза целого ряда физико-геологических явлений и инженерно-геологических процессов еще недостаточно точны (например, переработка берегов водохранилищ, развитие карстовых явлений и т. п.). В целях изучения динамики медленно развивающихся процессов и повышения точности инженерно-геологических прогнозов прибегают к стационарным наблюдениям.

Стационарные наблюдения проводятся для достижения различных целей и в разнообразных геологических условиях, поэтому в каждом конкретном случае разрабатывается специальная программа стационарных наблюдений. Эти наблюдения можно подразделить на следующие группы:

- 1) наблюдения за развитием физико-геологических процессов,
- 2) наблюдения за осадками и деформациями сооружений,
- 3) наблюдения за режимом подземных вод, которые обычно проводятся при гидрогеологических исследованиях.

1. Наблюдения за развитием физико-геологических явлений. Происходящие в земной коре физико-геологические явления разнообразны и обуславливаются различными причинами. Поэтому,

естественно, различны и методы наблюдения за их развитием. Приведем описание наиболее часто встречающихся в практике методов стационарных наблюдений.

Для стационарных наблюдений за развитием оползневых процессов на оползнях устанавливают сеть поверхностных и глубинных реперов. Реперы привязывают к какой-либо постоянной точке, а если таковой вблизи нет, то опорный репер устанавливают на заведомо устойчивой части склона или на прилегающей к нему территории. Поверхностные реперы заглубляют на 0,2—0,4 м, а глубинные обычно устанавливают на дне шурфов. Вертикальное и горизонтальное положение реперов периодически определяют при помощи теодолитов. Периодичность замеров определяется скоростью движения оползня, ее устанавливают применительно к каждому конкретному случаю.

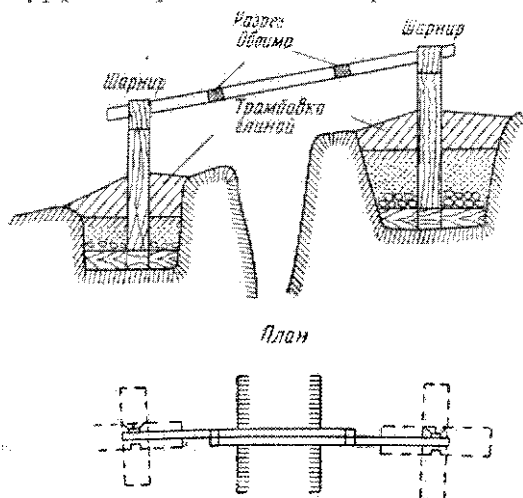


Рис. 53. Раздвижная рейка для наблюдения расширения оползневых трещин

Сам факт наличия или отсутствия подвижки оползня можно установить при помощи «маяков» или раздвижных реек. Наиболее простым способом является установка «маяков» — стеклянных или гипсовых пластинок. Для их установки по обеим сторонам оползневых трещин забивают колья, расстояние между которыми периодически измеряют, иногда пластинки просто укладывают и укрепляют поперек трещины. Появление трещин в пластинках свидетельствует о наличии подвижек. Для наблюдений за расширением оползневых трещин пользуются также раздвижными рейками, устройство которых ясно из рис. 53.

Наблюдения за распределением скорости движения оползня по глубине производят с помощью буровых скважин, которые заполняют битым кирпичом, гудроном, окрашенной галькой и т. п. После некоторого промежутка времени, устанавливаемого в зависимости от скорости движения, по положению набивки в пространстве судят о перемещении отдельных частей оползня за данный отрезок времени. В. И. Петунахин заполнял скважину железными шарами и периодически производил с поверхности магнитометрические измерения, определяя перемещение шаров в пространстве (рис. 54).

А. Е. Бабинцев и С. Г. Звозьский применили для непрерывного изучения распределения плотности и влажности оползневых масс

метод просвечивания и метод рассеяния породами излучения радиоактивных источников.

По существу одним из методов стационарных наблюдений за оползневыми процессами является так называемая «дежурная съемка». Она заключается в периодических обследованиях одних и тех же районов с целью регистрации всех изменений, произошедших за данный отрезок времени, и получения сведений о динамике оползневых процессов.

Как видно из изложенного выше, все способы стационарных наблюдений за оползневыми процессами связаны с установлением сроков производства этих наблюдений. Эти сроки зависят от типа оползней, геологических и климатических условий, скорости подвижки оползня и т. п. При назначении сроков производства наблюдений следует учитывать, что небольшое количество данных можно получить, производя наблюдения периодически в периоды затишья и активизации оползневых процессов, например в периоды засухи и небольшого выпадения осадков, таяния снегов, подъема и спада уровней рек, до и после сейсмических толчков и т. п.

**Стационарные наблюдения за развитием процессов выветривания** предпринимаются для определения скорости выветривания пород, установления характера и мощности защитных покрытий или же мощности чешуек. Для определения скорости выветривания пород обнажают невыветрелые породы, отрывая специальный котлован или производя расчистку обнажений, которые и служат пунктами длительных наблюдений. Пункты наблюдений размещают с таким расчетом, чтобы они вскрывали интересующие породы и размещались на различных элементах рельефа: плато, склонах разной экспозиции и т. п. Часть искусственных обнажений должна быть приурочена к участкам расположения запроектированных сооружений. Вообще следует стремиться к тому, чтобы искусственные обнажения находились в тех же условиях, в каких будет находиться порода при взаимодействии с сооружением. Желательно, чтобы во всех выработках наблюдения в пределах района строительства производились одновременно. Площадь выработок может быть различной, наиболее удобна площадь  $4 \text{ м}^2$ .

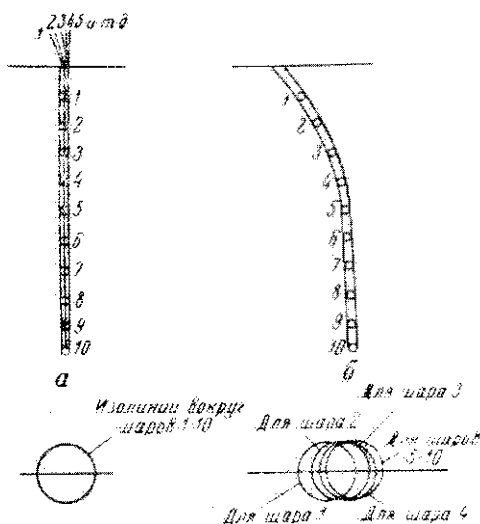


Рис. 54. Схема устройства ровера с металлическими шарами

На каждом пункте периодически проводят раскопку (закопашки) части наблюдаемого обнажения, описывают признаки выветривания, отбирают образцы пород для лабораторных исследований и определяют мощность выветрелой зоны. Общий срок наблюдений устанавливают в зависимости от сроков строительства, но рекомендуется проводить их в течение 1—2 лет. Периодичность наблюдений зависит от скорости выветривания пород и устанавливается опытным путем.

На таких же искусственных обнажениях определяют характер и мощность необходимых защитных покрытий или мощность целиков, предохраняющих породы от выветривания. С этой целью в пределах искусственного обнажения устраивают несколько площадок, которые покрывают разным материалом — суглинком, песком, гудроном, бетоном и т. п. Выбор материала и мощности защитного покрытия определяются свойствами, состоянием и интенсивностью преобладающих в данном районе агентов выветривания, а также свойствами и состоянием горных пород.

Наибольшую трудность представляет выявление преобладающих в данных условиях агентов выветривания. Их можно определить путем сопоставления признаков выветривания. Потоки, тонкие частицы, замытость трещин свидетельствуют о проникновении в породу атмосферной влаги, на это же будет указывать неравномерное распределение по разрезу водорастворимых солей — наличие их в верхней части разреза и отсутствие в нижней.

Окисные формы железистых соединений свидетельствуют об участии кислорода в процессах выветривания, закисные — о том, что кислород в этих процессах не участвовал. По этим признакам, учитывая распределение водорастворимых солей, характер трещиноватости и распределение влажности пород после выпадения дождя, можно решить, проник ли кислород в породу вместе с водой или попал в нее без участия воды. Изучая таким образом признаки выветривания и сопоставляя их, в большинстве случаев можно установить, какие агенты выветривания играли ведущую роль в данных условиях и в каком состоянии (жидком, газообразном и т. д.) они находились в момент взаимодействия с горными породами.

Каждую из выделенных площадок следует защищать соответствующим покрытием от одной или нескольких групп предполагаемых агентов выветривания с таким расчетом, чтобы можно было проследить воздействие на породы каждого из них. Одну или две площадки оставляют без покрытия. Периодически часть покрытия на каждой площадке вскрывают закопашкой до невыветрелой породы. Выветрелую породу описывают по приведенной раньше схеме, из нее же отбирают образцы для лабораторных исследований. После описания и отбора образцов закопашку забрасывают выбранной породой и снова закрывают соответствующим покрытием.

Иногда для защиты пород от выветривания целесообразно оставлять над ними целики тех же пород. В этом случае глубину строительных котлованов можно не доводить до проектной отметки. Мощ-

ность целиков принимается равной мощности зоны выветривания, образующейся в течение определенного срока (например, за время, в течение которого котлован остается открытым). Непосредственно перед началом строительных работ (укладка бетона, забивка глиной насух и т. д.) целики снимают.

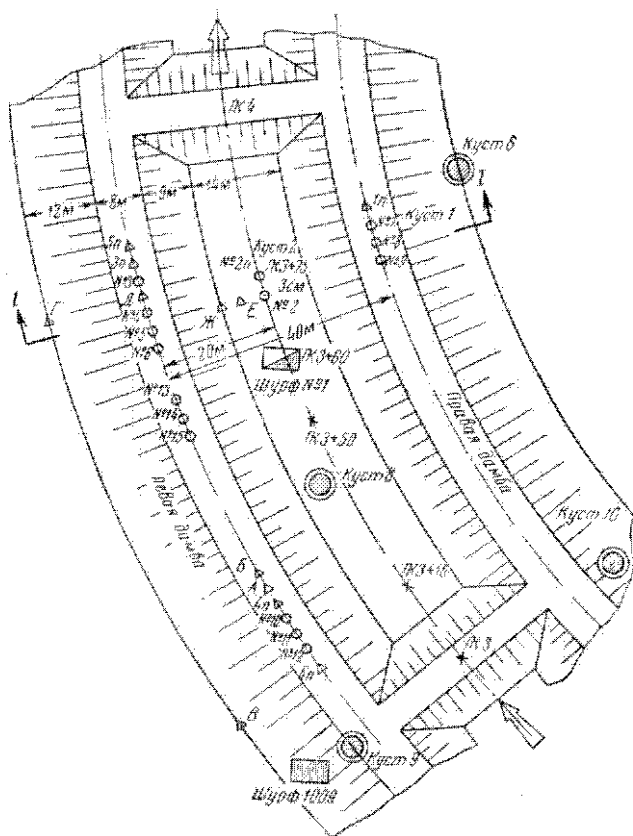


Рис. 55. Схема опытного участка подводного канала (по Н. Н. Фролову)

1 — глубиновые реперы; 2 — поверхностные реперы

Не надо думать, что всегда при выборе защитных мероприятий против выветривания пород необходимо производить выемки опытного котлована, разбивку его на участки, испытание различных покрытий и т. д. В зависимости от конкретной задачи наблюдения могут быть упрощены, а затрата времени на исследования сокращена до минимума. Например, для определения необходимой мощности целика достаточно вывести невыветрелую породу на поверхность и оставить ее открытой на заданный срок (время между вскрытием и началом строительных работ), а по истечении этого срока вскрыть

породу закопашкой и определить мощность образовавшейся зоны выветривания.

Стационарные наблюдения за развитием просадок лёссовых пород. Лабораторные опыты недостаточно моделируют просадку лёссовых пород при работе каналов, водохранилищ и других гидротехнических сооружений, так как в этом случае просадка развивается в несколько иных условиях, чем при лабораторных опытах. В силу этого прибегают к опытному замачиванию лёссовых пород в строительных котлованах. Для этой цели сооружают опытный участок, например подводящий канал длиной около 100 м (рис. 55). В пределах опытного участка устанавливают глубинные и поверхностные реперы (рис. 56), примерная

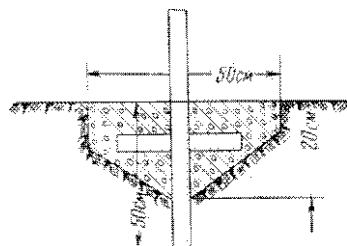


Рис. 56. Конструкция поверхностного репера (по Н. Н. Фролову)

схема размещения которых показана на рис. 57 и 58. Реперы размещают с таким расчетом, чтобы изучить просадочность всех типичных слоев пород, входящих в сферу воздействия сооружения на горные породы.

После установки реперов канал заливают водой. Режим замачивания пород в котловане может быть различным, возможно близким к естественному режиму заполнения сооружения водой. Положения реперов замеряют до замачивания котлована и периодически после, до окончания деформации пород. По данным наблюдений за осадкой

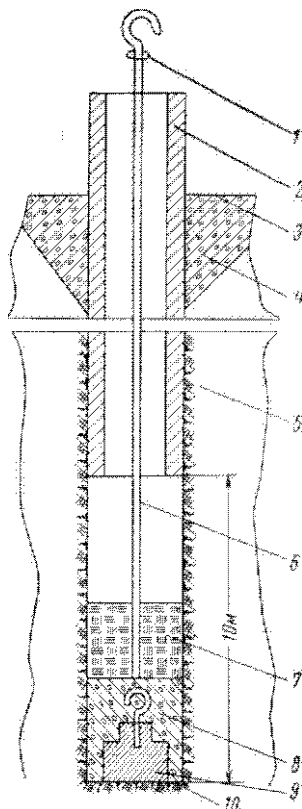


Рис. 57. Конструкция глубинного репера (по Н. Н. Фролову)

1 — точка наблюдений; 2 — верхний край трубы, который маркируется; 3 — поверхность земли; 4 — бетонная подушка; 5 — обсадная труба; 6 — проволока, передающая деформации на поверхность; 7 — замаскирующий слой глины; 8 — цементный раствор; 9 — металлический якорь; 10 — шпилька скрепления





ренеров строят графики зависимости величины просадки от времени. Наблюдения за просадкой ренеров периодически дополняют описанием деформации сооружения, произошедших за данный промежуток времени.

2. Наблюдения за осадками и деформациями сооружений. Стационарные наблюдения за осадкой и деформациями сооружений проводят или путем периодического описания признаков деформации (появление и расширение трещин, видимые перекосы и т. п.) или путем регулярного инструментального измерения положения постоянных марок. Марки представляют собой металлические шпильки или стержни, наглухо закрепленные на отдельных конструктивных элементах сооружения, эти марки периодически нивелируют, а данные замеров наносят на графики. Иногда наблюдения производят и в процессе самого строительства по мере увеличения давления на грунт. Такой график и система размещения марок показаны на рис. 59; подобные графики позволяют сопоставлять размеры расчетных осадок с действительными.

## Часть вторая

# ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОИСКИ, РАЗВЕДКА И ОПРОБОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

### ГЛАВА V

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОИСКИ

### § 20. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Под инженерно-геологическими поисками следует понимать поиски наиболее благоприятных в геологическом отношении мест для размещения сооружений или отдельных его частей. Благоприятными должны считаться такие участки изучаемой территории, где геологические факторы обеспечивают устойчивость, надежность и наибольшую экономичность строительства и эксплуатации сооружений.

Инженерно-геологические поиски производятся при всестороннем изучении особенностей геологического строения местности, определяющих инженерно-геологические условия строительства. Поиски могут осуществляться различными методами для разных масштабов и естественных условий и продолжаться до того момента, когда будет твердо установлено расположение сооружения на местности как в плане, так и по глубине.

Для обоснования способов выяснения инженерно-геологических условий местности при инженерно-геологических поисках следует исходить из целей исследований. Основной целью этого этапа работ являются поиски наиболее благоприятных естественных условий для строительства того или иного сооружения или его частей. Следовательно, с момента твердого установления места строительства сооружения (как говорят — «посадки сооружения на местности») поиски подходящего места прекращаются. Начинаясь работы по изучению параметров, необходимых для расчета устойчивости сооружения и для получения количественных инженерно-геологических характеристик пород, находящихся в сфере влияния сооружения, т. е. начинаются разведочные инженерно-геологические работы.

Инженерно-геологические поиски осуществляются методами инженерно-геологической съемки. Следует считать инженерно-геологической съемкой все виды работ, которые проводятся с целью поисков наиболее благоприятных мест расположения инженерных сооружений или его отдельных частей.

Естественно, что по мере развития науки и техники комплекс методов, применяемых при съемке, также будет изменяться, следовательно, изменится и состав производимых при съемке работ, технические средства их выполнения. Действительно, еще совсем недавно исследователи даже не предполагали, что при инженерно-геологической съемке будут применяться авиация, современная аппаратура для аэрофотосъемки, геоботанические и геофизические методы исследований и т. д., т. е. методы, которые в настоящее время широко используются для этих целей.

Как уже отмечалось, инженерно-геологические исследования должны проводиться комплексно, наиболее эффективными и дешевыми методами, позволяющими решить поставленные задачи. В процессе производства инженерно-геологических поисков главной задачей является сравнительная инженерно-геологическая характеристика отдельных территорий с целью выбора наиболее благоприятной из них. Для решения этой задачи необходимо и достаточно, а следовательно, и экономически целесообразно выявить в процессе инженерно-геологической съемки ряд признаков, определяющих инженерно-геологические условия. По этим признакам, которые можно назвать поисковыми инженерно-геологическими, прямо или косвенно можно дать оценку инженерно-геологических условий и выбрать наиболее благоприятное в этом отношении место для размещения сооружения.

Не останавливаясь подробно на значении и роли отдельных признаков, охарактеризованных в предыдущих разделах книги, приведем только их перечень: 1) климат, 2) рельеф, 3) гидрографическая сеть, 4) геоморфологические условия, 5) литологический состав и условия залегания пород, 6) тектонические условия, 7) физико-технические свойства пород, 8) гидрогеологические условия, 9) физико-геологические явления (в том числе и сейсмические условия), 10) неотектонические условия.

Все эти признаки выявляются в процессе инженерно-геологической съемки с точностью, достаточной для решения поставленной задачи, сравнительной инженерно-геологической характеристики отдельных территорий и выбора наиболее благоприятного в инженерно-геологическом отношении места размещения сооружений.

При проектировании инженерно-геологической съемки в первую очередь возникает вопрос, до какой глубины следует освещать инженерно-геологические условия. Правильное решение этого вопроса обеспечивает не только достоверность инженерно-геологических прогнозов, но и рациональное использование средств и времени.

Среди специалистов в настоящее время нет единого мнения о необходимой глубине освещения территории при инженерно-геологической съемке. Одни считают, что глубина изучения территории должна совпадать с глубиной современного эрозионного вреза, другие определяют ее глубиной древнего эрозионного вреза, третьи — мощностью активной зоны, создаваемой сооружениями того или иного типа. Все эти точки зрения имеют свои положительные и отрицательные стороны. Так, например, съемка до глубины эрозионных

врезов может быть достаточной для одних и недостаточной для других сооружений, так как мощность активной зоны различных сооружений меняется в широких пределах. Кроме того, глубина эрозионных врезов, например древних, может быть очень велика и нет практической необходимости изучать разрез на такую глубину. Если ориентироваться на съемку до глубины, отвечающей мощности активной зоны, то часто необходимо будет производить на одной и той же территории несколько съемок для различных типов сооружений, создающих разные по мощности активные зоны. Поэтому ориентироваться при съемке на глубину, отвечающую мощности активной зоны того или иного типа сооружения, экономически нецелесообразно.

Действительно, невозможно привести такой вид строительства (гидротехническое, промышленное, городское и пр.), которое состояло бы сплошь из однотипных сооружений, создающих активную зону одинаковой мощности. Если в качестве примера взять крупный современный город, то в черте города окажутся совершенно разнотипные сооружения, создающие совершенно различные по мощности активные зоны: жилые дома, высотные здания, мосты, тоннели метро, шоссе и железные дороги, парки, аэродромы и т. п. На территории строительства более или менее крупного гидротехнического узла также возводятся разнотипные сооружения: здания ГЭС, плузы, судоходные и водосбросные каналы, жилые поселки, бетонные и механические заводы, причальные сооружения, дороги, мосты и др. Мощность активной зоны зависит не только от типа сооружения, но и от состава и свойств горных пород. Поэтому глубина освещения территории, сложенной породами различного состава и свойств, должна быть различной, если даже проводить исследования для сооружений одного типа.

Следует признать, что этот вопрос в настоящее время не может считаться достаточно разработанным. Как нам представляется, глубину освещения территории, а отсюда и глубину картировочных горных выработок, необходимо определять каждый раз отдельно в зависимости от геологического строения территории уже в процессе создания рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях изучаемой местности. При определении глубины изучения территории следует исходить из основного положения — территория должна быть изучена на глубину, обеспечивающую познание истории геологического развития района, которая и определяет инженерно-геологические условия.

Возникает также и еще один вполне обоснованный вопрос. Как же можно оценить полностью инженерно-геологические условия, если глубина изучения не охватывает всей мощности активной зоны. Здесь следует отметить, что предварительные суждения об инженерно-геологических условиях можно составить по общим геологическим соображениям, исходя из создавшейся к этому моменту рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях местности (более подробно см. ниже). Эти условия устанавливаются в процессе

инженерно-геологической разведки на небольших площадках, выбранных в процессе поисков, с наименьшей затратой средств. Собственно говоря, в практике инженерно-геологических исследований так и поступают. Например, при выборе створов плотин по общегеологическим данным, полученным в процессе съемки (включая и картировочное бурение), намечают несколько участков створов, а затем каждый из участков изучается более детально в пределах сферы воздействия сооружения на горные породы.

Инженерно-геологическая съемка делится на ряд периодов.

1. Подготовительный период, который включает три вида работ:

а) составление рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях изучаемого района;

б) составление проекта работ;

в) хозяйственно-техническое оснащение работ.

2. Полевой период, в течение которого производятся все виды съемочных работ на территории изучаемого района.

3. Камеральный период, завершаемый составлением отчета о проделанной работе.

## **§ 21. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД. СОСТАВЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ГИПОТЕЗЫ ОБ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ИЗУЧАЕМОГО РАЙОНА И ПРОЕКТА РАБОТ**

В соответствии с существующими в СССР положениями производству инженерно-геологических исследований предшествует составление и утверждение проекта и сметы на производство работ. Для составления проекта работ отводится различное количество времени (до 5—10% времени, требующегося на проведение всех работ) в зависимости от сложности изучаемого объекта. Составляют проект работ и смету обычно несколько квалифицированных специалистов.

Проект работ состоит из следующих основных частей:

а) вводной части;

б) рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях изучаемой территории;

в) формулировки задач предстоящих исследований;

г) обоснования видов и объемов работ;

д) сметной части;

е) календарного графика производства работ.

Задание на проведение инженерно-геологических исследований обычно исходит от организации, проектирующей сооружения. В этом задании кратко описывается цель строительства, тип и конструктивные особенности сооружения, указывается территория, на которой желательно разместить сооружения, и формулируются, чаще всего в общем виде, задачи, подлежащие разрешению на данной стадии исследований.

После получения задания организуется партия, вначале в ограниченном составе, которая приступает к составлению проекта инженерно-геологических исследований.

В вводной части проекта приводится характеристика географического положения района исследований, природные и экономические условия производства работ, народнохозяйственного значения проводимых исследований, конкретных целей и задач, поставленных перед партией или экспедицией.

Ни одно исследование для инженерно-геологических целей не следует начинать без предварительного составления рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях местности, естественно включающей и рабочую гипотезу о геологическом строении местности. В противном случае маршруты будут иметь случайный характер, картировочные выработки будут заложены «вслепую», размещения наугад, без учета реальных геологических условий.

Рабочую гипотезу всегда следует составлять независимо от этапа исследований. Чаще всего ее составляют по результатам предыдущих исследований, которые должны быть тщательно собраны, систематизированы и проанализированы. В том сравнительно редком случае, когда данных предварительных исследований недостаточно или они отсутствуют, предусматривается предварительная рекогносцировка местности.

Рабочую гипотезу об инженерно-геологических условиях изучаемого района необходимо непрерывно уточнять по мере поступления новых данных съемки или разведки, что требует систематической обработки и обобщения данных в полевых условиях. Это требование определяет в целом ряде случаев и порядок проходки горных выработок. Действительно, при постепенном уточнении геологического строения могут быть выявлены такие особенности, которые заставят отменить проходку ряда выработок, запроектированных ранее еще по неутюженной гипотезе, или покажут целесообразность иного, более рационального их размещения.

Исходя из целей исследований и из рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях местности, в проекте работ формулируют задачи предстоящих исследований. Например, если в задании поставлена цель поисков наиболее благоприятного места для сооружения плотины, а из рабочей гипотезы о геологическом строении района видно, что в долине реки развиты аллювиальные отложения, могут быть поставлены такие задачи: 1) определение мощности и строения аллювиальных отложений, 2) изучение трещиноватости коренных отложений, 3) определение степени выветрелости и мощности выветрелой зоны коренных пород и т. п.

Хозяйственно-техническое оснащение работ следует производить в соответствии с природными, экономическими условиями района и предварительно составленной гипотезой об инженерно-геологических условиях местности. Действительно, оснащение партии транспортными средствами, снабжение ее продовольствием, лесоматериалами, полевым снаряжением будет зависеть от климата, наличия и состояния дорог, наличия местных продуктов питания и т. п. Предполагаемые инженерно-геологические условия определяют выбор соответствующего оборудования, аппаратуры и методики производ-

ства инженерно-геологических исследований. Все эти обстоятельства необходимо учитывать при составлении сметы на производство работ.

При составлении сметы обычно пользуются заранее разработанными нормативными данными: инструкциями, методическими руководствами, распоряжениями. Следует отметить, что нормативные материалы обычно составляются применительно к задачам и требованиям отдельных ведомств (геологических, строительных, транспортных и т. д.), поэтому сметы на производство работ в одном и том же районе, но для нужд различных ведомств, будут отличаться друг от друга.

Подготовительный период завершается составлением календарного графика производства работ. Составление его является важным и ответственным делом, так как от этого графика зависит стоимость работ и их своевременное выполнение. При составлении графика должны быть учтены все экономические соображения и естественные факторы, рассмотренные выше, поскольку они определяют возможность и сроки выполнения тех или иных работ. Приведем такой пример. В одной из экспедиций, работающих в районе Печоры, план работ был сорван потому, что вылеты вертолета оказались запланированы на период сильных северных ветров, которые не позволили полностью использовать этот вид транспорта.

Проект и смету производства инженерно-геологических исследований обычно рецензируют опытные специалисты, их утверждает руководство учреждения.

## § 22. ПОЛЕВОЙ ПЕРИОД И КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

В полевой период инженерно-геологической съемки производятся следующие виды работ:

- 1) описание местности, обнажений, колодцев и пр.;
- 2) горно-проходческие работы;
- 3) геофизические работы;
- 4) лабораторные работы;
- 5) камеральные работы.

Обычно для выполнения отдельных видов работ организуются специальные отряды, оснащенные соответствующим техническим оборудованием и снаряжением.

### 1. Описание местности и обнажений

Местность и обнажения описывают по заранее выбранным маршрутам. При описании отмечают геоморфологические особенности местности, естественные и искусственные (выемки, котлованы, карьеры и т. п.) обнажения пород. Проводят геоботанические наблюдения, для чего часто организуют самостоятельные отряды под руководством специалиста-ботаника. В ряде случаев изучение местности производят с самолета (аэрофотосъемка) или вертолета (аэровизуальная съемка) либо путем фотографирования и последующего дешифрирования фотоснимков при помощи специальной фотоаппаратуры.

Следует подчеркнуть, что выбор маршрутов, изучение местности и описание обнаженных пород при инженерно-геологической съемке в методическом отношении производится так же, как и при комплексной геологической съемке. В силу этого все инструктивные и методические указания, разработанные для комплексной геологической съемки, применимы также и при проведении инженерно-геологической съемки. Однако инженерно-геологическая съемка обладает рядом особенностей, делающих ее более сложной и трудоемкой. Дело в том, что при геологической съемке обычно опускается ряд деталей геологического строения, не имеющих значения для целей геологической съемки, но играющих очень важную роль при инженерно-геологической оценке местности. Так, например, при геологической съемке часто выделяют начки пород, характеризуя их в качестве «песчано-глинистой толщи», без указания мощности, положения в пространстве, минералогического состава и свойств отдельных тонких прослоев. При инженерно-геологической оценке эти детали геологического строения могут приобретать решающее значение. Например, наличием глинистого прослоя в песках и местом его положения определяется устойчивость и долговечность сооружения. Как отмечалось выше, наличие таких тонких прослоев глины в аллювиальных песках заставило проектировщиков почти в три раза снизить расчетное значение коэффициента внутреннего трения, что выразилось в изменении конструкции и стоимости сооружения. В силу этих причин при крупномасштабной инженерно-геологической съемке приходится описывать и изучать целый ряд особенностей и деталей геологического строения, которые не фиксируются при геологической съемке.

Задачи, возникающие при инженерно-геологической съемке, зависят от вида и конструкции сооружения, этапа исследований, геологического строения района и т. д. В настоящей работе нет возможности их детально охарактеризовать, здесь следует лишь указать, что при всякой инженерно-геологической съемке следует описывать и изучать все элементы геологического строения, необходимые для инженерно-геологической оценки местности применительно к задачам проектирования строительства на данной стадии исследований.

Из этого правила не следует делать вывода, что для каждого конкретного вида строительства необходимо проводить самостоятельную инженерно-геологическую съемку. Дело в том, как это будет в дальнейшем более детально рассмотрено, что конкретные задачи инженерно-геологических исследований предусмотрены масштабом съемок.

## 2. Применение метода ключевых участков при инженерно-геологическом районировании

В последнее время делаются попытки применения метода ключевых участков при инженерно-геологическом районировании. Метод ключевых участков был предложен А. Н. Разживиным, сущность метода сводится к следующему.



На изучаемой местности по геологическим признакам или по совокупности ландшафтных признаков выделяют территориальные единицы, в пределах которых предполагаются примерно одинаковые инженерно-геологические условия. На каждой территориальной единице выбирают несколько небольших, но типичных участков, которые носят название «ключевых». В ключевых участках детально изучают инженерно-геологические условия, применяя маршрутное описание территории, электроразведку, сейсморазведку, проходку горных и буровых выработок, выполняют лабораторные и полевые определения свойств пород и подземных вод.

Число, размеры и форма ключевых участков устанавливаются каждый раз в зависимости от масштаба съемки и сложности инженерно-геологических условий выделенной территориальной единицы. Данные, полученные при изучении ключевых участков, экстраполируются на всю площадь выделенной территориальной единицы.

Метод ключевых участков позволяет сокращать время и стоимость работ по инженерно-геологическому районированию и в этом отношении является перспективным. Однако надо отметить, что он находится в стадии разработки и практическое его применение встречает пока много трудностей по следующим причинам:

1. Отсутствуют разработанные критерии для определения количества и мест расположения ключевых участков.

2. Метод ключевых участков основан на экстраполяции данных, полученных по ключевому участку, на более или менее обширную территорию. Однако прежде чем проводить такую экстраполяцию необходимо иметь твердую уверенность в том, что данный изучаемый параметр (например, пластичность пород) функционально связан с координатами пространства или одинаков (например, одинаковые величины объемного веса пород) для всей выделенной территориальной единицы. В первом случае необходимо также знать характер и направление изменений изучаемого параметра. Например, известно, что состав и свойства флювиогляциальных отложений изменяются по мере удаления от центра оледенения. Не зная этой закономерности, ключевые участки разместить можно и по направлению изменения параметра, и перпендикулярно к нему, и вообще любым другим случайным способом. Сами же способы выделения «однородных» территориальных единиц районирования не предусматривают обязательности предварительного установления наличия таких закономерностей. Общий характер этих закономерностей можно установить только путем тщательного изучения условий образования и дальнейших изменений породы на всей территории ее распространения.

### 3. Горнопроходческие и буровые работы

В тех случаях, когда описания местности и обнажений недостаточно для создания четкого представления об инженерно-геологических условиях района, приходится в процессе съемки прибегать

к искусственному вскрытию разреза с помощью проходки так называемых картировочных горных выработок и буровых скважин.

Каждый тип горной выработки или буровой скважины отвечает только определенным целям, поэтому выработки должны соответствовать особенностям геологического строения района и поставленным инженерно-геологическим задачам (см. «Методы получения инженерно-геологической информации», гл. IV).

На практике в процессе съемки часто закладывают не только картировочные, но и разведочные выработки, что вызывает удорожание съемочных работ (особенно крупномасштабных), а иногда вообще делает съемку нерентабельной. Это является следствием отсутствия четко сформулированных целей и задач проведения картировочных выработок.

Основной целью всякой инженерно-геологической съемки являются поиски наиболее благоприятных геологических условий для строительства того или иного сооружения или его частей. Исходя из этой цели можно сформулировать, не претендуя на исчерпывающую полноту, дополняющие друг друга задачи, которые должны быть решены с помощью картировочных выработок. К числу таких задач относятся:

- 1) установление стратиграфии, литологического состава пород, условий их залегания и характера физико-геологических явлений;

- 2) инженерно-геологическая типизация горных пород;

- 3) отбор проб и производство опробования пород с целью определения их классификационных и косвенно-расчетных показателей физико-технических свойств, необходимых для инженерно-геологической типизации расчетов с помощью СНиПов.

Учитывая эти задачи следует размещать картировочные выработки на местности независимо от сферы воздействия сооружения на горные породы, т. е. они не должны иметь своей непосредственной целью освещение инженерно-геологических условий в этих пределах. Надо отметить, что некоторые выработки могут оказаться в пределах сферы влияния сооружения или в его контурах, если этот участок после съемки будет выбран для возведения сооружения. При размещении картировочных выработок необходимо учитывать основные геоморфологические элементы территории.

Перечисленные выше задачи определяют тип, глубину и наиболее рациональные режимы проходки горных выработок и буровых скважин, что способствует ускорению и удешевлению производства инженерно-геологических исследований.

Следует особо остановиться на способах размещения горных выработок и определении их количества для тех или иных геологических условий и масштабов съемки. До настоящего времени в практике инженерно-геологических исследований пользуются так называемыми «кондициями», с помощью которых определяется количество точек наблюдения, включая и искусственно вскрытые разрезы, на 1 км<sup>2</sup> площади исследований. Эти «кондиции» предусматривают

предварительное разделение местности на категории по сложности геологического строения. Кондиции разработаны различными ведомствами, они приведены в разных инструкциях и описаны многими авторами в учебниках и методических пособиях.

Общим недостатком всех такого рода методических указаний является отсутствие научного обоснования «кондиций». Их авторы обычно ссылаются на личный практический опыт, опыт того или иного учреждения или ведомства, либо вообще декларируют те или иные положения ничем их не аргументируя. Вероятно, поэтому в кондициях предлагаемых различными авторами имеются большие различия, а иногда и противоречия.

Так, например, количество точек наблюдения, рекомендуемое при инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 2000, колеблется от 82 до 1200 на 1 км<sup>2</sup>. Количество точек с искусственным вскрытием разреза горными выработками или буровыми скважинами изменяется по рекомендациям различных авторов от 10 до 80% от общего количества точек наблюдения. Даже если принять к исполнению среднее количество точек с искусственным вскрытием разреза, то затраты на 1 км<sup>2</sup> инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 2000 весьма возрастут, с учетом затрат на другие виды съемочных работ съемки будет нерентабельной.

Такие кондиции имеют и другой существенный недостаток. Пользование ими в значительной мере снимает ответственность с исполнителя за правильное и экономное размещение горных выработок и скважин применительно к конкретным геологическим условиям и задачам исследования и порождает бездумное отношение к производству этого важного и дорогостоящего вида работ.

Нам представляется, что пока нет научно обоснованных разработанных кондиций, следует отказаться от пользования ими, а при определении количества и места расположения выработок каждый раз оценивать конкретные геологические условия и обнаруженные на местности поисковые признаки. Впредь до официальной отмены кондиций, вероятно, следует разрешить производителям работ мотивированные отклонения от утвержденных нормативов. При разумном решении этого вопроса можно избежать излишеств, заложенных во многих нормативных документах, ускорить и удешевить производство инженерно-геологических исследований.

Приведем следующий пример излишеств, заложенных в нормативных документах. При инженерно-геологическом изучении трассы канала Кривой Рог — Донбасе Гидропроектом было пройдено горных выработок и буровых скважин на 30% меньше числа, рекомендованного методическими пособиями. Исполнительная съемка по бортам вскрытого канала, проведенная кафедрой инженерной геологии МГРИ (Г. К. Болдарик и др.), показала, что исполнительный разрез в точности совпал с разрезом, составленным по горным выработкам и буровым скважинам. Таким образом, выяснилось, что принятого уменьшенного на 30% количества выработок было вполне достаточно.

Размещать выработки на местности следует не случайно, а по принятой заранее системе. Такие системы описаны ниже, в главе VI, «Инженерно-геологическая разведка».

#### 4. Геофизические работы

При инженерно-геологической съемке геофизические методы исследований до последнего времени использовались недостаточно, хотя они уже довольно широко применяются при инженерно-геологической разведке. Такое положение, по-видимому, создано из-за известной недооценки геофизических методов и недостаточной их разработанности для инженерно-геологической съемки.

В настоящее время получен положительный опыт применения геофизических методов при инженерно-геологической съемке. Например, при съемке в районе Печоры и в нижнем течении Оби были успешно применены (в сочетании с другими методами) электроразведка и микросейсмическое зондирование. Опыт работ ВСЕГИНГЕО и МГУ показал применимость при съемке метода «радионил». Следует думать, что метод радиоволнового просвечивания в модификации Г. Я. Черныяка при соответствующей доработке также найдет широкое применение при инженерно-геологической съемке.

#### 5. Лабораторные работы

В процессе инженерно-геологических поисков производится большое количество видов лабораторных работ, значительная часть которых применяется также и при разведке.

Состав показателей, которые определяются в процессе поисков и разведки, зависит от конечной цели данного цикла исследований, что, естественно, влияет и на точность определения показателей. Конечной целью поисков является выбор наиболее подходящего места для размещения сооружений наиболее дешевыми и быстрыми способами, т. е. цель сводится к сравнительной оценке отдельных территорий или участков. В процессе работ, проведенных с помощью тех или иных методов, должны быть определены:

1) гранулометрический состав пород — с помощью механического анализа (ареометрического, ситового, отмучивания, Рутковского, эталонного, визуального и т. п.);

2) петрографические особенности пород — в основном с помощью микроскопического изучения шлифов или изучения пород под бинокуляр (структура, текстура, степень окатанности зерен, минералогический состав и т. д.);

3) состав воднорастворимых солей — с помощью в основном анализа водных и солянокислых вытяжек;

4) классификационные показатели (пластичность, пористость, консистенция).

Следует отметить, что в соответствии с принципом достижения цели наиболее быстрыми и экономичными способами все эти показа-

тели определяются в процессе инженерно-геологических поисков только для проведения инженерно-геологической типизации пород и производства расчетов с помощью существующих СНиПов. В подавляющем большинстве случаев выявления инженерно-геологических типов пород и производство расчетов по СНиПам наряду с оценкой общегеологических условий совершенно достаточно для сравнительной инженерно-геологической оценки конкурирующих участков изучаемой территории.

## 6. Камеральные работы

Для обработки полевых материалов и написания отчета отводится довольно большой отрезок времени после полевых работ, однако в процессе их производства все же приходится проводить текущую обработку материалов. Она сводится к переписке полевых дневников, составлению разрезов, увязке отдельных маршрутов, перенесению данных с полевых карт на черновые камеральные, разбору и регистрации образцов, отбору образцов на анализ и т. п.

Такая текущая обработка материалов помогает все время уточнять и проверять рабочую гипотезу об инженерно-геологических условиях местности, вносить изменения в схему расположения выработок, делать выводы из полученных материалов. Обычно обработку полевых данных производят в периоды вынужденных простоев (например, в ненастье), но иногда вследствие важности и необходимости этой работы для нее отводят один день в неделю, в который работники партии освобождаются от полевой работы.

В собственно камеральный период вначале обрабатывают полевые и лабораторные данные. В первую очередь составляют окончательные карты и разрезы, колонки, различные графики, изготавливают фотографии, составляют различные схемы, прорабатывают дополнительную литературу. Одновременно с этим изготавливают и изучают шлифы, просматривают и описывают образцы, проводят изучение пород в стационарных лабораториях.

Во вторую очередь составляют текст отчета о проведенных инженерно-геологических исследованиях.

## ГЛАВА VI

### ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗВЕДКА

#### § 23. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под инженерно-геологической разведкой следует понимать комплекс инженерно-геологических работ, проводимых в пределах сферы воздействия сооружения на горные породы. Главными целями инженерно-геологической разведки являются:

- 1) выделение инженерно-геологических элементов;
- 2) составление расчетной схемы основания сооружения;
- 3) определение расчетных показателей физико-технических свойств пород;
- 4) выбор наиболее рациональных способов борьбы с неблагоприятными инженерно-геологическими и физико-геологическими процессами.

Решение этих задач позволяет дать обоснованную оценку инженерно-геологических условий строительства и эксплуатации сооружений.

Инженерно-геологическую разведку наиболее рационально вести после того, как найдено наиболее благоприятное место для сооружения. В ряде случаев по экономическим и техническим соображениям разведку начинают в более ранние сроки, и по времени разведка в этом случае накладывается на поиски.

#### 1. Выделение инженерно-геологических элементов

Одной из главных конечных целей инженерно-геологических исследований является выбор расчетных значений показателей физико-технических свойств пород, используя которые проектировщики производят расчеты устойчивости сооружений. Однако расчетное значение того или иного показателя можно получить не сразу, а предварительно проделав довольно сложную работу по обобщению данных, полученных в процессе инженерно-геологической разведки.

Различают три значения показателей (по классификации, предложенной Е. Н. Медковым):

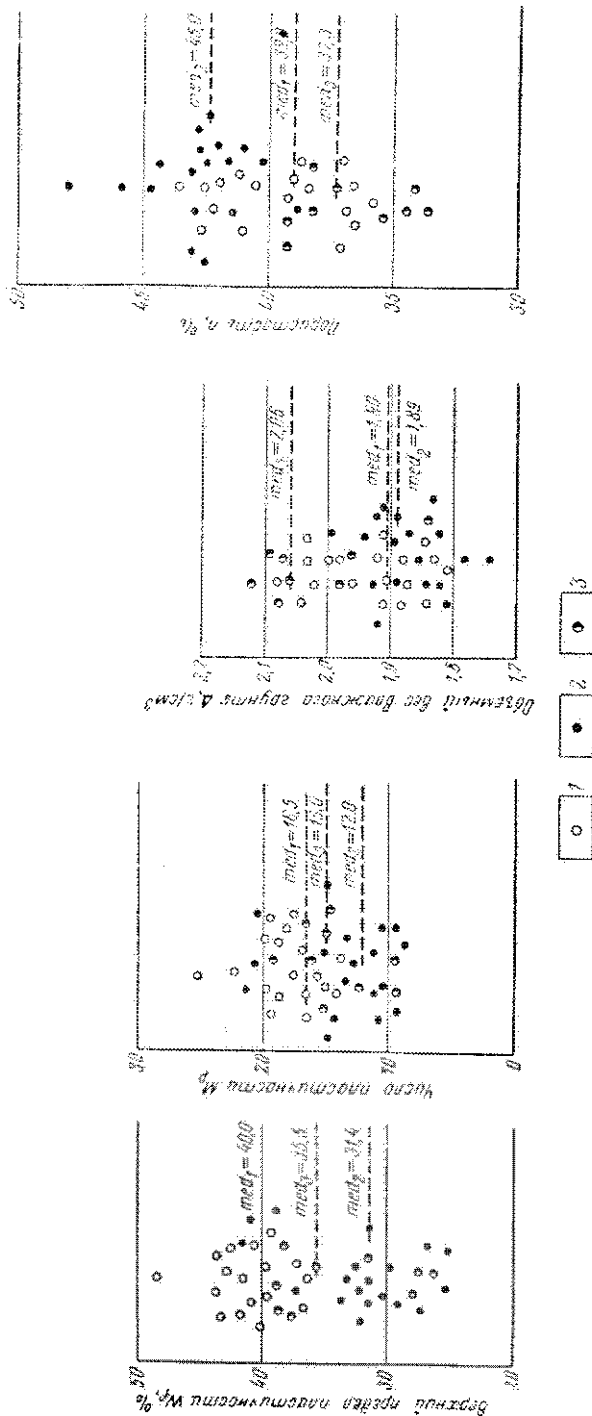


Рис. 60. Графики рассеяния значений некоторых показателей свойств оползневых накоплений, образованных из различных пород

Пробы из пород изложены: 1 — пестроцветной толщи; 2 — хостинской свиты; 3 — маньчжурской свиты. med — медианное значение показателя

- 1) частное (индивидуальное);
- 2) обобщенное;
- 3) расчетное.

Индивидуальное значение показателя получается при испытании отдельных проб горных пород. Индивидуальные значения показателей весьма отличаются друг от

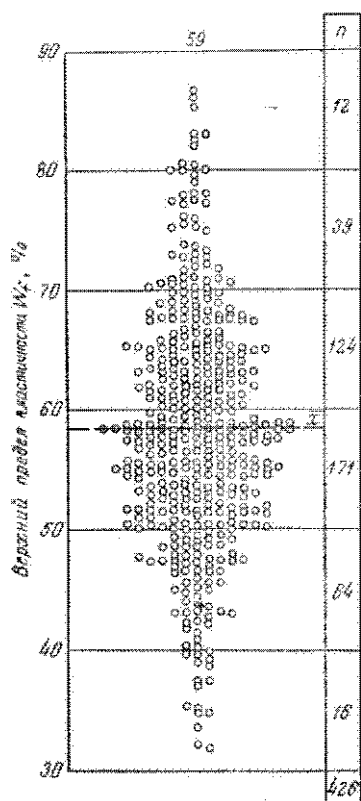


Рис. 61. График рассеяния значений верхнего предела пластичности бакинских глин; Нижнее Поволжье

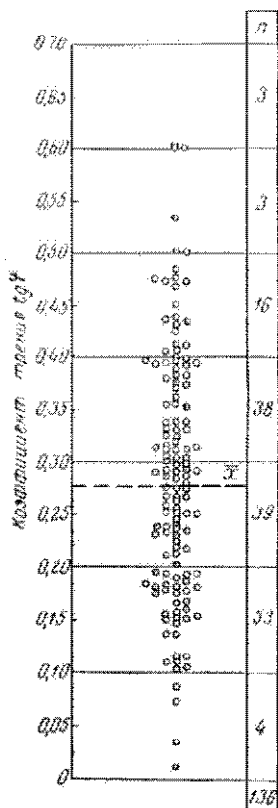


Рис. 62. График рассеяния значений коэффициента трения бакинских глин; Нижнее Поволжье

друга по величине не только для разных генетических типов пород, но и для проб, взятых в пределах одного пласта и даже из внешне совершенно однородного прослойка. В качестве иллюстрации этого положения на рис. 60, 61, 62 приведены графики рассеяния индивидуальных значений показателей некоторых типов пород.

Колебания значений показателей для внешне и генетически однородных элементов геологического разреза вполне понятны, так как условия осадкообразования, диагенеза и эпигенеза горных пород могут значительно меняться на коротких расстояниях (например,



при изменении направления и скорости струй, характера, силы и направления завихрений аллювиального потока). Результаты изучения различных генетических типов пород, проведенного М. В. Ивановым, Н. В. Коломенским, И. С. Комаровым и И. Н. Ивановой, В. Г. Булычевым и другими, показали, что значительный разброс индивидуальных значений показателей физико-технических свойств пород характерен для всех типов горных пород.

В формулы расчета устойчивости сооружений подставляется только одно значение показателя, следовательно, ни одно из индивидуальных значений не отвечает этому требованию, так как оно не характеризует всего пласта в целом, а отражает свойства лишь обычно маленького участка пласта.

При разбросе индивидуальных значений показателей характерным для всего пласта можно считать среднее значение, вычисленное из всех индивидуальных. Эта средняя величина показателя, вычисленная по индивидуальным его значениям, получила название **обобщенного значения показателя**.

Вводя поправки в обобщенное значение показателя, получают его расчетное значение (более подробно этот вопрос рассматривается во второй части книги, в главе VII, «Инженерно-геологическое опробование горных пород»).

Среднее значение показателя вычисляют по правилам математической статистики. Последняя предъявляет определенные требования к объектам изучения, которыми в данном случае являются горные породы. Применительно к горным породам эти требования можно сформулировать следующим образом. Осреднение индивидуальных значений показателей физико-технических свойств пород можно проводить только для геологических тел (линз, пластов, прослоев, массивов и т. п.), удовлетворяющих трем следующим условиям:

- 1) геологическое тело должно быть генетически однородно; нельзя, например, вычислять среднее значение показателя для морены и образовавшегося на ней элювия;

- 2) значение данного показателя должно изменяться случайно (по правилу «шум»), т. е. значение показателя не должно испытывать закономерного уменьшения или увеличения, например по глубине, простиранию или мощности и т. п.;

- 3) среди значений анализируемых показателей не должно быть резких «отскоков», так называемых «ураганных» и «штилевых» проб.

Таким образом, прежде чем приступать к вычислению обобщенных (средних) значений показателей, необходимо в основании сооружения выделить геологические тела, удовлетворяющие указанным выше условиям. Такие геологические тела получили название инженерно-геологических элементов. Под инженерно-геологическими элементами следует понимать такие геологические тела (линзы, слои, прослои и др.), для которых можно получить осредненные индивидуальные значения по-

показателей физико-технических свойств пород.

Это понятие можно сформулировать и следующим образом: под инженерно-геологическими элементами следует понимать геологические тела (глины, пласты, прослои и др.), генетически однородные, в пределах которых значения индивидуальных показателей носят случайный характер.

При выделении инженерно-геологических элементов необходимо учитывать цели исследований. Поясним это положение примером.

Некоторые генетические типы пород по своим свойствам (генетической однородности, не-закономерному характеру инженерно-геологической изменчивости) отвечают условиям, которые предъявляются к инженерно-геологическим элементам. К таким генетическим типам пород относятся, например, морена. В качестве примера приведем данные по изучению морены Калужской области. На рис. 63 показаны участки и места расположения точек отбора проб. Количество проб и выработок примерно одинаково для каждого участка.

В табл. 17 приведены результаты вычисления обобщенных значений показателей и других статистических характеристик для каждого участка. Как видно из табл. 17, статистические характеристики морены, слагающей эти участки, практически не отличаются друг от друга, хотя участки сильно различаются по своим размерам. Создается впечатление, что каждый из этих участков является частью одного и того же инженерно-геологического элемента, который охватывает всю область распространения морены.

Вторым примером могут служить расчеты, проведенные И. Н. Гудаевым. Он подсчитал значения величин объемного веса неомских глин в районе Саратовской ГЭС, вычислил максимальные и минимальные значения объемного веса для всей площади котлована ГЭС (примерно  $1700 \times 600$  м) и для проб, взятых из трех шурфов, расположенных на расстоянии 2 м друг от друга. Разница значений объемного веса в том и другом случае не превышала  $0,13-0,14$  г/см<sup>3</sup>. На основании этих данных И. Н. Гудаев сделал вывод, что для неомских глин можно установить минимальный объем породы, пробы из которого дадут тот же разброс объемных весов скелета, что и для слоя в целом при исследовании его по принятой в данное время

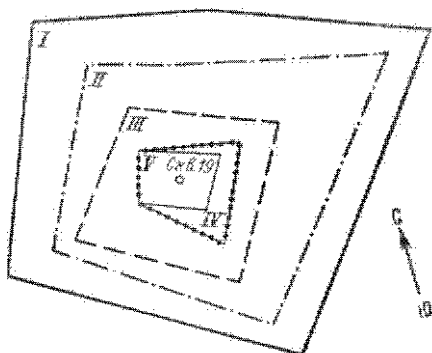


Рис. 63. Расположение опытных участков опробования морены:

участки: I — 146 км<sup>2</sup>, II — 42,2 км<sup>2</sup>, III — 8,2 км<sup>2</sup>

методике. И в этом случае создается тоже впечатление, что маленький участок, где расположены три шурфа, является частью инженерно-геологического элемента, распространенного по всей площади котлована ГЭС. Отсюда можно считать правильным вывод, сделанный И. Н. Гудасевым о возможности установления оптимального (минимального) объема породы для характеристики больших массивов пород.

Таблица 17

Значения статистических характеристик показателей физико-технических свойств основной морены ( $Q_{II}^A$ ) района села Митлево Калужской области по отдельным опробованным площадям

| Площадь участка | Опробованная площадь, га | Количество образцов | Основные статистические характеристики |           |              |      |                        |                  |              |      |                    |       |              |      |
|-----------------|--------------------------|---------------------|--|-----------|--------------|------|------------------------|------------------|--------------|------|--------------------|-------|--------------|------|
|                 |                          |                     | Естественная влажность                 |           |              |      | Коэффициент пористости |                  |              |      | Число пластичности |       |              |      |
|                 |                          |                     | N *                                    | $\bar{W}$ | $\pm \sigma$ | V%   | N                      | $\bar{\epsilon}$ | $\pm \sigma$ | V%   | N                  | $M_p$ | $\pm \sigma$ | V%   |
| I               | 177                      | 38                  | 565                                    | 12,2      | 1,2          | 9,8  | 568                    | 0,40             | 0,04         | 10,0 | 218                | 11,0  | 1,4          | 12,7 |
|                 |                          |                     | 30                                     | 11,5      | 1,3          | 11,0 | 30                     | 0,38             | 0,03         | 8,8  | 30                 | 10,2  | 1,41         | 13,7 |
| II              | 100                      | 23                  | 486                                    | 12,1      | 1,2          | 99,8 | 485                    | 0,40             | 0,04         | 10,0 | 209                | 11,0  | 1,4          | 12,7 |
|                 |                          |                     | 30                                     | 11,4      | 1,2          | 10,2 | 30                     | 0,38             | 0,03         | 7,9  | 30                 | 10,6  | 1,17         | 11,0 |
| III             | 42                       | 17                  | 375                                    | 12,0      | 1,2          | 10,0 | 373                    | 0,40             | 0,04         | 10,0 | 151                | 11,0  | 1,5          | 13,0 |
|                 |                          |                     | 30                                     | 11,9      | 1,0          | 8,6  | 30                     | 0,40             | 0,03         | 8,4  | 30                 | 11,0  | 1,31         | 10,3 |
| IV              | 13                       | 9                   | 225                                    | 12,3      | 1,1          | 9,0  | 225                    | 0,40             | 0,04         | 10,0 | 80                 | 11,0  | 1,3          | 11,8 |
|                 |                          |                     | 30                                     | 12,3      | 1,1          | 8,8  | 30                     | 0,40             | 0,04         | 8,8  | 30                 | 11,3  | 1,24         | 11,1 |
| V               | 8                        | 5                   | 118                                    | 12,7      | 1,1          | 8,6  | 118                    | 0,40             | 0,04         | 10,0 | 42                 | 11,0  | 1,4          | 12,7 |
|                 |                          |                     | 30                                     | 12,8      | 0,9          | 7,0  | 30                     | 0,42             | 0,03         | 7,1  | 30                 | 10,8  | 1,11         | 10,3 |
|                 |                          |                     | 23                                     | 12,1      | 0,9          | 7,5  | 24                     | 0,40             | 0,03         | 7,5  | 10                 | 11,0  | 1,7          | 15,4 |

\* N — количество определений: в числителе — для генеральной выборки, в знаменателе — для оптимального количества проб (сохранится для всех граф);  $\pm \sigma$  — среднеквадратическое отклонение; V — коэффициент вариации.

Однако нельзя быть уверенным, что в пределах крупных массивов, кажущихся однородными (например, морены в нашем примере), нет небольших линз или маломощных прослоев пород, существенно отличающихся по своим свойствам от основного массива. При достаточно большом количестве проб отклонения в ту и другую стороны взаимно уничтожаются, а суммарное отклонение в большинстве случаев мало влияет на среднее значение. Кроме того, часть случайных значений как бы растворяется в общей массе значений и в силу этого также мало влияет на вычисленное среднее значение.

Например, если в толще морены, распространенной на территории в несколько сотен квадратных километров, имеется случайная линза опесчаненных суглинков длиной 50 м, то значения показате-

дей, полученные для этой линзы, не окажут существенного влияния на среднее значение показателя, вычисленного для всей площади морены, так как по сравнению с ней площадь распространения линзы будет ничтожно мала. И наоборот, если будет оцениваться участок протяженностью 50 м. находящийся как раз в том месте, где в толще морены находится линза опесчаненных суглинков, соотношение существенно изменится. Влияние опесчаненных пород значительно возрастает и может существенно изменить среднее значение показателя. На таком участке линзу опесчаненных пород следует выделить в самостоятельный инженерно-геологический элемент, тогда как на участке в несколько сотен квадратных километров ее можно считать несущественным случайным включением.

Из приведенного примера следует, что при определении размера территорий, на которые можно распространить результаты определений показателей физико-технических свойств пород, необходимо учитывать цели исследования. Так, например, при производстве мелкомасштабной инженерно-геологической съемки с целью выбора территории для строительства города, морену, площадь распространения которой в нашем примере составляет несколько сотен квадратных километров, мы считаем геологическим телом, которое можно охарактеризовать обобщенными значениями показателей физико-технических свойств пород. В этом случае мы будем иметь дело с инженерно-геологическим элементом, носящим региональный характер.

Таким образом, под региональным инженерно-геологическим элементом следует понимать геологические тела (пласты, прослои, линзы и т. п.), генетически однородные, в пределах которых значения индивидуальных показателей носят случайный характер, а включенные в них геологические тела, инородные по генезису и свойствам, имеют неизмеримо малую протяженность по сравнению с размерами сооружения.

В другом случае, когда целью исследования является, например, расчет устойчивости какого-либо сооружения — плотины, домны, заводского корпуса и т. п. на ограниченном участке (в нашем примере площадью 50 м<sup>2</sup>) — обобщенными значениями показателей, полученными для всей морены, нельзя охарактеризовать естественное основание сооружения. Необходимо разделить разрез основания на два инженерно-геологических элемента (в нашем примере — это морена и опесчаненные породы) и для каждого из них вычислить обобщенные значения показателей физико-технических свойств пород. В этом случае инженерно-геологические элементы будут носить локальный характер.

Выделение инженерно-геологических элементов в разрезе — это процесс весьма сложный, он производится не сразу, а постепенно, по мере детализации исследований и выполняется в приведенной ниже последовательности.

1. В процессе инженерно-геологической съемки и предварительной разведки толщину пород расчленяют на инженерно-геологические классы, типы и виды (см. часть III учебника), причем форма выделенных геологических тел может быть совершенно различной — пласты, линзы и т. п. Они выделяются в разрезе на основании изучения минералогического состава и петрографических особенностей пород методами, принятыми в геологии, чаще всего в процессе инженерно-геологической съемки и камеральной обработки полевых материалов. При этом проводится визуальное описание пород, применяются оптические методы исследования и методы ускоренного определения минералогического состава глинистых пород.

2. Для каждого выделенного инженерно-геологического вида пород определяют классификационные и косвенные показатели инженерно-геологических свойств пород, в которые входят и показатели пенетрации. Эти данные используются для уточнения положения в пространстве инженерно-геологических видов и для разделения их на инженерно-геологические элементы.

При разделении инженерно-геологических видов пород на инженерно-геологические элементы учитываются не только петрографические особенности пород, но и их состояние (плотность, влажность, консистенция, степень трещиноватости и т. п.). Выделенные инженерно-геологические элементы должны обладать близкими значениями этих показателей.

Из сказанного выше следует, что в процессе инженерно-геологических исследований могут быть выделены инженерно-геологические элементы двух типов: региональные и локальные. Однако это не значит, что оба типа можно выделить всегда, как это будет показано во второй части книги (глава VII «Инженерно-геологическое опробование горных пород»).

Для обоих типов инженерно-геологических элементов могут быть вычислены обобщенные значения классификационных показателей физико-технических свойств пород. Однако надо подчеркнуть, что прямые расчетные показатели свойств пород целесообразно определять только для локальных инженерно-геологических элементов и выполнять это в процессе инженерно-геологической разведки, когда устанавливается тип, конструкция сооружения и место его расположения.

Как отмечалось выше, строение и состав сферы воздействия сооружения на горные породы будут очень сильно меняться в зависимости от естественных условий, типа и конструкции данного сооружения. Действительно, если не определена конструкция сооружения и неизвестно, например, будут работать породы основания на сдвиг или только на сжатие, нельзя определить, какие составные элементы естественного основания будут «работать» под сооружением и на какие виды их деформации необходимо рассчитывать, а следовательно, неизвестно, какие показатели необходимо определять (это положение хорошо иллюстрирует рис. 17). Определение же прямых расчетных показателей для всех (встреченных на изучаемой в процессе съемки

территории) инженерно-геологических элементов приведет к неоправданной затрате средств и времени. Действительно, если в процессе инженерно-геологических поисков неизвестны конкретные места размещения сооружений, их тип и конструкция, то придется определять прямые показатели для всех инженерно-геологических элементов, составляющих изучаемую территорию.

Например, при крупномасштабной инженерно-геологической съемке на участке в 1 км<sup>2</sup> при средней сложности геологического строения можно выделить 60—100 инженерно-геологических элементов. Каждый из выделенных элементов придется охарактеризовать примерно 25—30 определениями прямых показателей свойств пород (обоснование количества определений приведено в главе VII «Инженерно-геологическое опробование горных пород»). Таким образом, для инженерно-геологической характеристики пород в пределах одного планшета потребуется минимум примерно 1500 определений прямых показателей. Для этого потребуется отобрать 1500 образцов с ненарушенной структурой и влажностью, пройти для отбора образцов примерно 200 буровых скважин или шурфов. Стоимость только горно-буровых работ выразится в этом случае очень большой цифрой. В таком детальном изучении всей территории без определенной цели и связанной с этим затратой значительных средств нет никакой необходимости, так как цель съемки — поиски наиболее благоприятного места для размещения сооружения — может быть достигнута более простыми и экономическими геологическими средствами.

Следовательно, прежде чем приступать к инженерно-геологическому опробованию отдельных инженерно-геологических элементов, необходимо составить расчетную инженерно-геологическую схему естественного основания сооружения.

## 2. Расчетная инженерно-геологическая схема естественного основания сооружения

Для того чтобы рассчитать устойчивость сооружения, необходимо иметь детальный разрез отложений, слагающих естественное основание сооружения, и схему действия сил, создаваемых сооружением на породы основания. Такая схема определяется типом и конструкцией сооружения.

Действительно, обычные гражданские сооружения (например, жилые дома) главным образом создают силы, стремящиеся сжать породу, слагающую основание, тогда как при сооружении плотин возникают в большинстве случаев силы, стремящиеся не только сжать породы основания, но и сдвинуть их по направлению нижнего бьефа. К этим силам иногда присоединяются динамические нагрузки от работающих турбин, движения по гребню плотин поездов и т. д. Естественно, что в зависимости от схемы воздействия этих сил на горные породы выбираются и различные схемы расчета проверки устойчивости сооружения.

вычисленного по небольшому числу определений. В настоящее время существуют три способа вычисления надежных обобщенных значений показателей (которые могут быть приняты за расчетные) по ненадежным (полученным по малому числу определений): 1) способ среднего минимального или среднего максимального; 2) способ среднего минимального взвешенного или среднего максимального взвешенного; 3) способ доверительных пределов или способ гарантированных значений.

Эти способы заимствованы из математической статистики (см. руководства по математической статистике), а условия применения их для инженерно-геологических целей описаны в главе VII «Инженерно-геологическое опробование горных пород».

3. В качестве расчетного принимается надежное его значение с поправкой на возможное изменение свойств пород в процессе строительства или эксплуатации сооружения.

Обобщенные значения показателей физико-технических свойств пород вычисляют по определениям, произведенным на пробах, испытанных еще до начала строительства сооружения. В процессе строительства или эксплуатации сооружения естественные условия значительно изменяются, например, может произойти выщелачивание воднорастворимых солей, разрушение цемента при сжатии пород и т. п., что приведет к существенному изменению физико-технических свойств пород. Поэтому даже надежное обобщенное значение показателя, полученное в процессе исследований, нельзя принять за расчетное, если в процессе строительства и эксплуатации сооружения будут происходить изменения физико-технических свойств пород. В таком случае в обобщенное значение показателя необходимо вводить поправку, учитывающую возможное изменение свойств пород.

Для этой цели в процессе разведки проводят лабораторные или полевые экспериментальные работы. Исходя из анализа работы сооружения в конкретных естественных условиях, устанавливают, какие инженерно-геологические процессы могут возникнуть в период строительства и эксплуатации сооружения: выщелачивание воднорастворимых солей при фильтрации воды из верхнего в нижний бьефы плотин, разрушение цемента, увеличение влажности пород и т. п. Затем в лабораторных или полевых условиях моделируют эти процессы (например, производят искусственное выщелачивание пород) и определяют показатели физико-технических свойств пород, уже изменившихся в процессе проведения опыта. По полученным опытным данным устанавливают поправочные коэффициенты, которые и вводят в полученные ранее обобщенные значения показателей.

Следует отметить, что производство опытов, моделирующих инженерно-геологические процессы, часто требуют длительного времени. Например, каждый опыт по выщелачиванию воднорастворимых солей из глинистых пород может длиться несколько месяцев. Поэтому такие опыты проводят не в массовых масштабах, а на небольшом количестве типичных образцов пород.

Естественные условия возведения сооружений, как и типы сооружений, чрезвычайно разнообразны, в связи с чем могут возникать весьма разнообразные по характеру и интенсивности инженерно-геологические процессы. Поэтому заранее нельзя рекомендовать ту или иную методику моделирования инженерно-геологических процессов и даже примерные величины необходимых поправок к обобщенным показателям физико-технических свойств пород. Для решения этих задач в каждом конкретном случае составляется специальная программа производства работ, носящих научно-исследовательский характер.

4. В качестве расчетного принимается ненадежное значение показателя с поправками: а) на недостаточную надежность обобщенного значения показателя, вычисленного по небольшому числу определений; б) на возможное изменение физико-технических свойств пород в процессе строительства и эксплуатации сооружения.

#### **4. Выбор рациональных способов борьбы с неблагоприятными инженерно-геологическими и физико-геологическими процессами**

При проведении инженерно-геологической разведки изучаются инженерно-геологические и физико-геологические процессы и их влияние на конструкцию, прочность и долговечность сооружений. Например, сопоставляя нагрузки на породу, возникающие от сооружений и компрессионные свойства пород основания, определяют возможность осадки сооружения и даже вычисляют, не используя методы механики грунтов, величину и время осадки сооружения. Аналогичным образом выявляют все инженерно-геологические процессы, могущие возникнуть в процессе строительства и эксплуатации сооружения, устанавливают их влияние на выбор его конструкции, прочность и долговечность.

В процессе инженерно-геологической разведки устанавливаются области распространения каждого проявления физико-геологических процессов, размеры и главные причины и степень опасности этого процесса для устойчивости и долговечности сооружения.

Инженерно-геологические и физико-геологические процессы могут оказаться неблагоприятными для сооружения и вызвать необходимость изменения его конструкции или производства специальных работ, направленных на борьбу с этими процессами. К таким мероприятиям относятся, например, искусственное повышение прочности пород (силикатизация, цементация и т. п.), уменьшение утечек воды путем глинизации пород, создания цементных завес, гидронизации пород, искусственное замачивание лессов для предотвращения катастрофических осадок сооружений, возведение подпорных и волноотбойных стен и ряд других мероприятий.

Следует иметь в виду, что такого рода мероприятия, как правило, требуют для своего осуществления большого количества средств и времени, что существенно сказывается на сроках и стоимости строительства. По этой причине при размещении сооружений стараются



избегать территорий, где развиты или могут возникнуть неблагоприятные физико-геологические и инженерно-геологические процессы. Если же таких мест избежать нельзя, то при инженерно-геологической разведке следует обосновать меры борьбы с этими процессами. Меры борьбы выбираются в соответствии с естественными условиями возникновения и развития физико-геологических и инженерно-геологических процессов, от их интенсивности и характера.

## **§ 24. ЭТАПЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ**

Инженерно-геологическая разведка может быть предварительной, детальной и разведкой в процессе строительства.

### **1. Предварительная и детальная разведка**

Предварительной разведкой можно считать работы, проведенные при прослеживании и окомтуривании однородных в инженерно-геологическом отношении участков территории, выбранной для строительства, при выявлении опасных геологических факторов или условий, требующих выполнения сложных строительных мероприятий (карстовых полостей, ослабленных зон и т. п.), с помощью минимального количества горных выработок, расположенных по редкой сети и иногда без учета отдельных конструктивных элементов сооружения. Результаты предварительной разведки служат обоснованием для разведки детальной.

В процессе предварительной разведки уже намечаются и частично опробуются инженерно-геологические элементы, определяется расчетная схема сооружения.

Детальная разведка уточняет данные предварительной разведки. В процессе ее проведения окончательно окомтуриваются и детально опробуются инженерно-геологические элементы, входящие в расчетную схему сооружения, выбираются окончательные расчетные показатели.

Если в процессе предварительной разведки не возникают сомнения в однородности и благоприятности естественных оснований сооружений или сами сооружения не сложны, то для сокращения времени исследований можно сблизить этапы предварительной и детальной разведки, иногда возможно даже их взаимное перекрытие. В таком случае еще до завершения предварительной разведки на всей площади строительства начинается детальная разведка на участках расположения отдельных элементов сооружения.

### **2. Инженерно-геологическая разведка в процессе строительства сооружений**

Инженерно-геологические исследования, проводимые в процессе строительства сооружений, должны обеспечить решение следующих основных задач.

4. Проверка правильности инженерно-геологических прогнозов, сделанных на предыдущих этапах исследований, значительное количество которых основывается на интерполяции и экстраполяции непосредственно наблюдаемых явлений.

Достоверность таких интерполяций и экстраполяций в значительной степени зависит от опытности специалиста, дающего прогноз, а также от степени изученности самого явления или процесса. Например, до самого последнего времени большинство специалистов считало, что процессы выветривания, существенно изменяющие породы, проникают в земную кору на глубину, не превышающую 15—20 м. Однако исследования последних лет показали, что эта глубина превышает 100 м. Некоторые явления вообще еще нельзя считать достаточно изученными потому, что их стали изучать только в последнее время. Например, только недавно начали разрабатывать полезные ископаемые с помощью глубоких (до 500 м и более) открытых карьеров, в которых поведение пород и проявления физико-геологических и инженерно-геологических процессов изучены еще недостаточно.

В силу этих причин в ряде случаев бывает необходимо продолжать инженерно-геологические исследования в процессе строительства сооружений, когда имеется возможность непосредственного осмотра и изучения пород, наблюдения за развитием инженерно-геологических процессов, возникающих в строительных котлованах под воздействием строящихся сооружений. Иногда инженерно-геологические наблюдения продолжают и в процессе эксплуатации сооружений, например наблюдения за осадками сооружений, устойчивостью откосов и т. п.

Проверка прогнозов преследует цель выявления новых, учтенных прогнозом факторов с тем, чтобы внести соответствующие изменения в конструкцию сооружения или в методы производства строительных работ. Проверка инженерно-геологических прогнозов осуществляется только при возведении крупных, ответственных или уникальных сооружений.

2. Выявление изменений инженерно-геологических условий в процессе строительных работ с целью своевременного применения мер по борьбе с неблагоприятными явлениями.

При строительстве сооружений применяются различные способы и разнообразные механизмы, воздействие которых на горные породы и возникновение вследствие этого неблагоприятных инженерно-геологических процессов еще почти не изучено. Нередко в процессе строительства инженерно-геологические условия существенно изменяются, что заставляет или менять конструкцию сооружения, или осуществлять другие мероприятия, не предусмотренные проектом. Например, при инженерно-геологическом изучении песчаных оснований сооружений Волгоградской ГЭС было обнаружено, что в процессе отрывки котлованов с помощью земснарядов плотность песков с глубиной значительно уменьшилась. Возникла необходимость принятия соответствующих мер по упрочнению оснований

сооружений. Часто существенные изменения свойств пород происходят и при проходке котлованов взрывным способом, при воздействии на породы механизмов, создающих динамические нагрузки (например, бетономешалок) и т. п.

При строительстве сооружений используются самые разнообразные механизмы, все время совершенствуемые, вводится в практику новая строительная техника, применяемая в самых разнообразных геологических условиях. Заранее трудно предусмотреть влияние этой техники на изменение инженерно-геологических условий, такие изменения приходится изучать в процессе строительства.

3. Наблюдение за соблюдением технических условий, изучение инженерно-геологических условий на площадках временных и вспомогательных сооружений, контроль за правильным проведением строительных работ, влияющих на изменение инженерно-геологических условий, и т. п.

При инженерно-геологических исследованиях проводится исполнительная документация строительных котлованов, в процессе которой описываются стенки и дно котлованов и горных выработок, проходимых для различных целей, например для водопонижения. Исполнительная документация сопровождается зарисовками, фотографированием, отбором образцов пород и проб воды, ископаемой фауны и флоры.

В результате производства исполнительной документации составляются разрезы и карты с объяснительными записками к ним, в которых отражаются все факторы, необходимые для инженерно-геологической оценки. Как правило, исполнительные карты, разрезы и зарисовки составляют в крупных масштабах — от 1 : 500 до 1 : 50 и даже 1 : 10. Некоторые зарисовки делают в натуральном масштабе.

Исполнительную документацию производят периодически по мере проходки строительных котлованов, периодичность определяется темпами строительных работ. Необходимость периодического производства исполнительной документации обосновывается тем, что по мере расширения и углубления строительных котлованов некоторые их участки могут быть застроены, интересующие исследователей проявления отдельных процессов, изменения пород состояния, а также выходы подземных вод могут оказаться уничтоженными или сильно уменьшенными. В силу этого надо стремиться получить наибольшее количество инженерно-геологических данных в процессе текущей, а не окончательной документации.

Окончательная исполнительная документация проводится перед приемкой оснований сооружения и материалы ее включаются в акт приемки оснований.

Выполнение перечисленных выше задач обеспечивается проведением целого комплекса работ.

1. Геодезические работы. Их целью является планово-высотная привязка документируемых объектов к опорной геодезической сети. Привязке подлежат все важные в инженерно-геологическом отношении точки наблюдения: горные выработки,

места отбора образцов проб, находок фауны и флоры, контакты пород, крупные трещины, тектонические зоны, выходы подземных вод и т. п.

2. Опробование горных пород. Целями опробования на этой стадии исследований являются проверка соответствия показателей физико-технических свойств пород принятым в проекте расчетным значениям показателей, а также изучение изменений свойств пород, которые могут произойти в процессе строительства. Для этой цели производится отбор проб преимущественно по правильной геометрической сетке в границах распространения отдельных инженерно-геологических элементов горных пород. Размеры сеток при опробовании определяются в зависимости от характера сооружения, степени неоднородности пород, площади опробуемого участка и др. При исследовании оснований гидротехнических сооружений в качестве ориентировочных рекомендуются следующие размеры разведочных сеток (табл. 18).

Таблица 18

Ориентировочные размеры сеток для опробования горных пород, являющихся основанием гидротехнических сооружений

По Г. К. Бондаренку

| Сооружения  | Размеры сеток, м                                       |  |
|---|--|--|
|   | на участках, сложенных песчаными и глинистыми породами | на участках, сложенных породами из выходов |
| Водобой, бетонные плотины, здания ГЭС, раздельные устои | 10 × 10  | 10 × 10                                    |
| Рисбермы, понуры, водоприемники                         | 15 × 10  | 15 × 10                                    |
| Основания и откосы деривационных каналов                | 20 × 20  | 25 × 25                                    |
| Земляные сооружения                                     | 25 × 25  | Не опробуются                              |

3. Стационарные наблюдения проводятся с целью изучения изменений инженерно-геологических условий в процессе строительства, выявления и изучения возникающих инженерно-геологических процессов, разработки мероприятий по их устранению или ослаблению, проведения систематического геологического контроля за производством строительных работ. Выполняются также режимные гидрогеологические наблюдения, наблюдения за устойчивостью откосов котлованов, за работой водоотливных средств и строительных механизмов, за правильностью проведения взрывных работ. Основной задачей таких наблюдений при производстве строительных работ является установление элементов, вызывающих ухудшение инженерно-геологических условий.

## § 25. ГОРНО-БУРОВЫЕ РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

При инженерно-геологической разведке основными целями проходки горно-буровых выработок являются уточнение геологических и гидрогеологических условий и определение расчетных показателей инженерно-геологических свойств пород, находящихся в сфере воздействия сооружения на горные породы. Учитывая эти обстоятельства, следует считать разведочными такие инженерно-геологические выработки, которые удовлетворяют следующим, дополняющим друг друга условиям:

- 1) выработки, которые проходятся в пределах сферы воздействия сооружения на горные породы, для уточнения и изучения литологического состава горных пород, условий их залегания, гидрогеологических условий, возникающих физико-геологических явлений и выделения инженерно-геологических элементов;

- 2) выработки, которые предназначаются для определения расчетных показателей физико-технических свойств пород лабораторными и полевыми методами, а также для опытных работ.

Однако при описании производства горно-буровых работ мы не ограничимся только рассмотрением производства разведочных работ, а попытаемся охарактеризовать основные положения производства горно-буровых работ на всех стадиях инженерно-геологических исследований.

При производстве разведочных работ для инженерно-геологических целей, как и всегда при разведочных работах, следует определить наиболее рациональный в данных конкретных условиях тип горно-разведочной выработки, ее глубину и режим проходки и рационально разместить выработки на местности, соблюдая принцип наименьших затрат времени и средств. Однако проходка выработок при инженерно-геологических исследованиях, а особенно их документация, обладает рядом следующих специфических особенностей, отличающихся от проходки и документации выработок, проводимых в других целях.

### 1. Определение типа разведочных выработок

Тип горноразведочных выработок определяется в первую очередь геоморфологическими особенностями местности, условиями залегания, свойствами горных пород, гидрогеологическими условиями местности и целями исследований.

При выборе типа выработок и их размещении у исследователя всегда должно быть представление о геологическом строении территории, которое создается на основании рекогносцировки местности или на данных предшествующих исследований. Как известно, представление о геологическом строении местности уточняется по мере ее дальнейшего изучения, перехода от более ранних к более поздним стадиям исследования. Поэтому типы выработок, их глубина, и система размещения также будут меняться по мере изменения представлений о геологическом строении местности.

Кроме условий залегания и петрографических особенностей пород, должны быть изучены их состояние и физико-технические свойства. Учитывая это, надо выбирать такие горные выработки и такие способы их проходки, которые обеспечивали бы возможность получения с различных глубин, а иногда и по всему разрезу монолитов пород с некарушенной структурой и естественной влажностью. Необходимость производства в горных выработках различных гидро-геологических и инженерно-геологических наблюдений и опытных работ иногда заставляет существенно изменять обычные методы разведки.

Эти специфические особенности инженерно-геологической разведки не всегда позволяют применять типы горных выработок, режимы и нормы проходки, установленные для разведки полезных ископаемых. В зависимости от конкретных естественных условий и целей исследований приходится в каждом конкретном случае выбирать тип и режим проходки разведочных выработок, учитывая описанные в общей части настоящей работы особенности различных типов горно-буровых выработок и условия их применения. Например, при проходке глини буровыми скважинами колонковым способом обычно применяется промывка и значительные скорости вращения снаряда. При таком режиме проходки скважина может произойти разрушение естественной структуры пород и измениться их естественная влажность, трудным также становится точное определение положения уровня подземных вод. Поэтому часто при проходке таких скважин для инженерно-геологических целей целесообразно ограничивать количество оборотов снаряда, давление на забой, подачу промывочной жидкости. Иногда даже приходится проходить скважины всухую.

Специфика проходки инженерно-геологических скважин определяет и их конструкцию. Например, конечный диаметр скважины, а следовательно, и вся ее конструкция, определяется: размерами монолита, необходимого для испытания в лабораторных условиях, размерами и характером оборудования, размещенного в скважине для того или иного испытания (размеры штампов, крыльчаток, фильтров и т. п.).

## 2. Размещение горно-буровых выработок

Рациональное размещение горно-буровых выработок при инженерно-геологических исследованиях не только обеспечивает более правильные и точные инженерно-геологические прогнозы, но может сильно повлиять и на стоимость инженерно-геологических исследований. Например, при проектировании гидроэнергетических установок на крупных реках объемы буровых и горных работ на всех стадиях исследований составляют от 20 до 100 тыс. *пог. м.* на средних реках от 5 до 20 тыс. *пог. м.*, что требует очень больших затрат.

В ряде случаев мы не в состоянии решить, достаточно или недостаточно того или иного количества горных выработок или образцов

для оценки физико-технических свойств данного массива горных пород. Именно по этой причине количество определений показателей физико-технических свойств пород изменяется в очень широких пределах — от единичных определений при исследованиях для гражданского строительства до нескольких сотен и даже тысяч — для гидротехнических сооружений. Существующие нормы и методические указания, основанные на опытных данных (очень часто недостаточных), а так же на общих соображениях, несколько ограничивают произвольный подход к выбору количества определений. Обычно в методических руководствах и инструкциях по размещению инженерно-геологических скважин указываются пределы расстояний между ними. Например, для плотин с напором более 20 м на стадии проектного задания рекомендуются расстояния между скважинами 100—200 м («Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства» т. 1, Госгеолиздат, 1950). При средней длине створа 3 км и глубине скважины 70 м (что вполне реально), принимая первый или второй предел, мы получим разницу в 1050 пог. м бурения. Если же учесть, что при изысканиях, например для Волгоградской плотины, было разведано 17 створов, то можно представить, как велика будет разница в затратах и стоимости работ.

В настоящее время еще не разработаны научные обоснования рационального размещения горно-буровых выработок при инженерно-геологических исследованиях и приходится руководствоваться лишь практическим опытом, часто совершенно недостаточным.

В целом ряде случаев в эти рекомендации можно и нужно вносить поправки в соответствии с конкретными условиями. Для этой цели прежде всего необходимо рассмотреть основные принципы размещения горно-буровых выработок при инженерно-геологических исследованиях.

### *Принципы размещения горных выработок*

При размещении горных выработок, проходимых с целью инженерно-геологической оценки местности, надо руководствоваться следующими основными принципами.

Принцип соответствия системы размещения горных выработок поставленной цели. Система горных выработок в первую очередь определяется целью инженерно-геологических исследований. Так, при исследованиях для строительства города уже предопределяется размещение горных выработок на какой-то более или менее значительной площади, тогда как при исследованиях для прокладки носейной дороги выработки надо размещать по вытянутой линии часто на большом протяжении. При строительстве какого-либо подпорного сооружения требуется определение фильтрационных свойств пород, слагающих разрез ниже отметки подпора воды, тогда как при строительстве гражданских сооружений в этом нет необходимости.

Не только тип сооружения определяет задачи исследований, они меняются также в зависимости от стадии проектирования. На-

пример, при исследованиях гидроэнергетических сооружений для составления схемы регулирования водотока (ТЭД) вопросы прочности горных пород решаются на основании общих геологических соображений, тогда как на стадии проектного задания уже требуется количественная характеристика физико-технических свойств пород, для чего необходима проходка горных выработок иногда специального назначения. Таким образом, нельзя приступить к инженерно-геологической разведке и правильно наметить систему горных выработок, не зная целей и задач исследования.

Принцип предварительного составления рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях изучаемой местности. Разведку в инженерно-геологических целях нельзя начинать без предварительного составления рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях местности, так как в противном случае она будет производиться «слепую», выработки окажутся размещенными без учета реальных условий. Рабочая гипотеза составляется на основании результатов предыдущих исследований, которые в этом случае должны быть тщательно систематизированы и проанализированы.

В тех сравнительно редких случаях, когда данных предшествующих исследований недостаточно или они отсутствуют, производится рекогносцировка или даже площадная инженерно-геологическая съемка местности.

Рабочая гипотеза об инженерно-геологических условиях изучаемого района должна непрерывно уточняться по мере поступления данных разведки, для чего необходима систематическая обработка и обобщение результатов разведки в полевых условиях. Этим требованием в целом ряде случаев определяется порядок проходки горных выработок. Действительно, при постепенном уточнении геологического строения местности могут выявиться такие особенности, которые заставят отменить проходку ряда ранее запроектированных выработок или покажут целесообразность их иного, более рационального размещения. Поэтому с точки зрения экономии средств целесообразно проходить выработки не одновременно, а последовательно одну за другой. Однако при этом, как будет видно ниже, параллельная проходка скважин не исключается и в ряде случаев может быть осуществлена.

Принцип постепенного сгущения сети горно-буровых выработок направлен на соблюдение возможной экономии средств. В процессе исследований может оказаться, что предполагаемое при построении рабочей гипотезы разнообразие инженерно-геологических условий в действительности окажется меньшим или территориально ограниченным. Кроме того, в целом ряде случаев анализ данных, полученных по разреженной сети горно-буровых выработок, дает возможность наметить конкретные места их сгущения, а в некоторых случаях позволит заменить горно-буровые выработки более экономичными и быстрыми методами испытаний, например пенетрационными.

Системы размещения горно-буровых выработок. Чтобы рационально разместить горно-буровые выработки при инженерно-гео-



логических исследованиях, необходимо оценить существующие системы их размещения и условиях их применения.

В практике инженерно-геологических исследований применяются следующие основные системы размещения горно-буровых выработок:

- 1) геометрически неправильных сеток;
- 2) размещения по разведочным линиям (створам);
- 3) правильных геометрических сеток.

Следует отметить, что правильное применение той или иной системы размещения горно-буровых выработок при инженерно-геологических исследованиях осложняется тем обстоятельством, что среди специалистов существуют противники и сторонники применения тех или иных систем. Так, например, Л. Д. Белый (1957) считает, что «...разведка правильно расположенными скважинами (по сетке или по заранее установленным расстояниям между ними) ни в коем случае не может обеспечить правильного решения задачи». Имеются и сторонники применения этой системы. Нам представляется, что все эти системы можно применять, но необходимо предварительно выявить их особенности и определить рациональные условия их применения.

*Система геометрически неправильных сеток размещения горно-буровых выработок* предусматривает освещение основных элементов геологического строения местности, которые в природе почти никогда не располагаются геометрически правильно. Так, например, при изучении речных долин нецелесообразно размещать выработки по правильной сетке, так как ширина террас, русел рек, водоразделов, склонов и т. п. различна, и при размещении выработок по какой-либо геометрически правильной сетке (например, по квадратной) один элемент геологического строения местности может быть разведан неоправданно большим количеством выработок, тогда как другие вообще не будут освещены. На рис. 64 показано, как при размещении выработок по квадратной сетке правый склон оказался разведанным неоправданно большим количеством выработок, а пойма, склон левого берега и надпойменные террасы обоих берегов остались неизученными. Если же расположить выработки с учетом геологического строения долины, как это указано на рис. 64, то тем же количеством выработок (в нашем примере их 9), какое использовано на каждой линии геометрически правильной сетки, можно достаточно полно осветить все элементы геологического строения реки, хотя выработки будут расположены геометрически неправильно. Целесообразность применения системы геометрически неправильной сетки расположения горных выработок определяется рядом условий, которые будут рассмотрены ниже.

*Система расположения горно-буровых выработок по разведочным линиям (створам)* определяется в основном характером сооружения. Действительно, при изысканиях для строительства плотин целесообразно располагать выработки по линии створа плотины, т. е. непосредственно в пределах сооружения. Такое расположение выработок не только позволяет охарактеризовать породы, слагающие естественные основания сооружений, но и гарантирует от вся-

ких неожиданностей, связанных с интерполяцией данных между выработками. Разведочные линии могут быть как прямолинейными, так и криволинейными.

Размещение выработок по прямым линиям практикуется обычно при исследовании трасс шоссейных и железных дорог, каналов и т. п., когда по оси трассы, которая может иметь криволинейный характер, через определенные интервалы закладываются прямолинейные поперечники перпендикулярно или под углом к оси трассы. Длина поперечников должна соответствовать ширине проектируемого сооружения, например канала. Такие поперечники закладываются и в местах расположения наиболее ответственных частей сооружений, например в местах расположения верхней и нижней голов шлюза. При проектировании плотин разведочные линии обычно закладываются: по створу плотины, параллельно створу и вдоль долины реки. В последнем случае выработки закладываются с целью выявления условий фильтрации под плотиной, наличия ослабленных прослоев пород или трещин и т. д.

*Систему расположения горно-буровых выработок по геометрически правиль-*

*ным сеткам квадратным, прямоугольным или ромбическим чаще всего используют в пределах габаритов сооружения или его отдельных частей. Такая система размещения применяется в тех случаях, когда все сооружение находится в пределах одного геоморфологического элемента, например на террасе реки, условия образования которой позволяют предполагать значительные изменения ее геологического строения и состава пород.*

Например, при изучении инженерно-геологических условий строительства донного водоспуска Химкинской плотины в пределах террасы р. Химки внешние наблюдения не позволяли судить о различии геологического строения вдоль трассы водоспуска. Однако на одном участке трассы тяжелые бетонные плиты начали неравно-

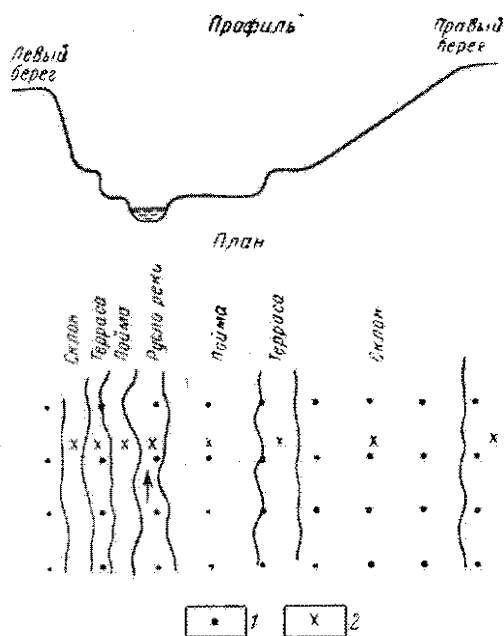


Рис. 64. Схема расположения горно-буровых выработок при инженерно-геологическом изучении речной долины

Выработки расположены: 1 — по квадратной сетке; 2 — по геологическим соображениям

мерно опускаться. Проверка основания буровыми скважинами показала, что в промежутке между двумя скважинами были пропущены линзы торфа. Конечно, на основании общих представлений об условиях образования аллювиальных отложений можно было заранее предусмотреть возможность наличия резких изменений геологического строения как по вертикали, так и по горизонтали. Однако обнаружить и оконтурить такую линзу торфа было возможно только с помощью достаточно густой сети скважин, применив систему размещения выработок по геометрически правильной сетке.

Геометрически правильную сетку размещения горно-буровых выработок целесообразно применять и при исследовании оснований однородных в конструктивном отношении сооружений или отдельных частей крупного сооружения (например, здания ГЭС, отдельные секции бетонных плотин, головы плузов, крупные устои мостов, корпуса больших заводских цехов и т. п.).

### *Условия размещения горно-буровых выработок*

Рациональное размещение горно-буровых выработок определяется рядом условий, основными из которых являются:

- 1) геоморфологические особенности местности;
- 2) условия залегания пород;
- 3) состав и состояние пород;
- 4) гидрогеологические условия местности;
- 5) тип сооружения и его конструкции;
- 6) стадия проектирования.

**Геоморфологические условия.** Геоморфологические элементы отражают геологическое строение местности, поэтому горные выработки должны быть размещены таким образом, чтобы осветить каждый геоморфологический элемент в пределах изучаемой территории. Задачи инженерно-геологических исследований и геологическое строение разных районов чрезвычайно разнообразны. Невозможно дать какой-либо универсальный рецепт определения мест размещения и количества горных выработок для всех случаев, встречающихся в практике, однако можно руководствоваться общими соображениями, которые сводятся к следующему:

1) в процессе разведки должно быть охарактеризовано геологическое строение каждого более или менее крупного геоморфологического элемента;

2) на поздних стадиях исследования необходимо сгущать сеть выработок;

3) в процессе разведки должны быть установлены взаимоотношения отдельных геоморфологических элементов (например, вложенность террас и т. п.), с этой целью, например при изучении оползней, проходят выработки не только в пределах самих оползневых тел, но и на геоморфологических элементах, примыкающих к ним;

4) полученные для одного геоморфологического элемента данные можно переносить на аналогичные элементы, распространенные в районе исследований.

Геоморфологический подход к размещению горных выработок применим:

- 1) при инженерно-геологической съемке;
- 2) при предварительной разведке для крупных сооружений.

На более поздних стадиях исследований геоморфологический подход приобретает подчиненное значение, он заменяется другими методами, а иногда и вовсе не может быть использован (например, при исследованиях для объектов небольшой протяженности, таких как дамбы, газгольдеры, отдельные опоры мостов и т. п.), хотя в каждом из этих случаев необходимо знать, на каком геоморфологическом элементе возводится сооружение.

При геоморфологическом подходе к размещению горно-буровых выработок допускается одновременная (параллельная) проходка всех намеченных выработок одновременно, так как независимо от типа проектируемого сооружения в дальнейшем могут понадобиться сведения о геологическом строении каждого геоморфологического элемента.

Условия залегания пород определяют как конструкцию сооружения — его устойчивость, способы производства строительных работ, так и тип и размещение горных выработок.

Условия залегания пород устанавливаются на основе составленной гипотезы об инженерно-геологических условиях местности, выделяются участки с однородными условиями залегания пород. Каждый такой участок освещается выработками наиболее рационального в данных условиях типа: канавами, шурфами, скважинами наклонными или вертикальными и т. п. Количество выработок, необходимых для освещения выделенных участков, определяется сложностью геологических условий: степенью дислоцированности пород, скрытости их покровными образованиями и т. п.

Особенности условий залегания пород необходимо учитывать на всех стадиях исследований, так как эти условия могут меняться на очень коротких расстояниях, что существенно отразится на устойчивости сооружения (например, линзы торфа или их раздутия в аллювиальных отложениях могут появляться буквально на протяжении нескольких метров).

На ранних стадиях разведки обычно бывает достаточно пройти 1—2 горные выработки, которые надо задавать исходя из геоморфологических соображений и предварительно составленной гипотезы о геологическом строении местности, чтобы осветить главные геоструктурные элементы.

На более поздних этапах исследований производится сгущение выработок с целью уточнения условий залегания пород, при их размещении необходимо учитывать также тип и конструкцию сооружения.

В этот период работы целесообразно проходить намеченные выработки не одновременно, а последовательно, так как данные, полученные по каждой из выработок, могут уточнить рабочую гипотезу о геологическом строении местности и внести поправки в расположение других, еще не пройденных выработок; однако вполне допустима и одновременная проходка по одной выработке на каждом выделенном участке.

Состав, состояние и свойства пород учитываются на всех стадиях исследования и для всех типов сооружений, от них в значительной степени зависят устойчивость сооружений, выбор его конструкции и способа производства строительных работ.

На первых стадиях исследования состояние и свойства пород оцениваются на основании общих геологических соображений. Например, известно, что породы поймы обычно имеют глинисто-песчаный состав, могут содержать значительное количество органических веществ, обладают высокой пористостью; они сильно увлажнены, имеют пластическую или даже полужидкую консистенцию, вследствие чего будут давать значительную и неравномерную осадку и т. п. На основании того, что порода находится в ядре антиклинальной складки, можно предполагать, что она разбита трещинами, обладает высокой водопроницаемостью и т. п. Однако на последующих стадиях исследования такими общими соображениями ограничиваться нельзя, поскольку для проектирования сооружений требуется не только более точная качественная характеристика состояния и свойства пород, но и количественное их выражение.

Исходя из этих соображений, можно следующим образом определить общие условия применения той или иной системы размещения горных выработок с учетом состава, состояния и свойств пород:

1) в процессе поисков никаких специальных горных выработок для характеристики состава, состояния и свойств пород не требуется, можно удовлетвориться данными, полученными на основании оценки общих геологических условий и опробования картировочных горно-буровых выработок;

2) при инженерно-геологической разведке, т. е. при изучении пород в сфере воздействия сооружения на горные породы, разведочные горно-буровые выработки следует закладывать с таким расчетом, чтобы каждый инженерно-геологический элемент, входящий в расчетную инженерно-геологическую схему основания сооружения, был охарактеризован достаточным количеством частных (индивидуальных) значений того или иного показателя (см. главу VII, «Инженерно-геологическое опробование горных пород»).

Гидрогеологические условия местности. При размещении разведочных выработок для решения инженерно-геологических задач особенно необходимо учитывать гидрогеологические особенности местности с тем, чтобы изучить влияние водоносных горизонтов на условия строительства сооружений, фильтрационные свойства пород, химический состав подземных вод и т. п.

**Тип сооружения и его конструкция.** Горно-буровые выработки должны быть размещены в соответствии с типом и конструкцией сооружения. В первую очередь при их размещении следует учитывать естественные условия и их возможные взаимодействия с сооружением. Например, при проектировании напорных сооружений всегда требуется оценивать возможные утечки воды в обход и под сооружением, отсюда возникает необходимость проходки разведочных выработок в береговых примыканиях и в основании сооружения. Если для сооружения не опасны большие и неравномерные осадки (например, для земляных плотин), то разведочные выработки можно задавать на большем расстоянии одну от другой, чем, например, при исследованиях для жестких сооружений (например, бетонных плотин). В каждом отдельном случае необходимо выяснить влияние сооружения на естественные условия и конкретные задачи, которые в связи с этим возникают, после чего уже будет возможность рационально разместить разведочные выработки.

Следует отметить, что в зависимости от естественных условий задачи, определяемые типом и конструкцией сооружения, могут быть весьма различными. Например, если береговые примыкания плотин сложены породами, обладающими повышенными фильтрационными свойствами, то возникает опасение больших утечек воды в обход плотины. Если же берег сложен глинистыми породами, то задача определения утечек воды в обход плотины снимается, но может возникнуть необходимость изучения устойчивости пород в примыканиях. Естественно, что в обоих этих случаях размещение горно-буровых выработок будет различным, как, кстати, будут различными цели, тип, конструкции горно-буровых выработок и режим их проходки.

Разведочные выработки должны осветить основание каждого конструктивного элемента сооружения. Целесообразно, например, изучить породы основания под каждой секцией плотины, под головами и камерами шлюза и т. п., так как каждый из этих элементов является как бы самостоятельным блоком и может быть расположен на разных породах, слагающих естественные основания.

При размещении разведочных выработок необходимо учитывать также влияние класса и конструкции сооружения. Основания таких ответственных сооружений, как здания ГЭС, бетонные плотины, головы шлюзов и т. п., следует изучать значительно более подробно, чем основания земляных дамб, судоходных каналов и т. п. Детальность изучения возрастает и с увеличением напорности гидротехнических сооружений, поскольку опасность их разрушения и катастрофичность последствий разрушения возрастает по мере увеличения напорности.

И в этом случае в настоящее время еще нельзя рекомендовать какие-либо математические приемы или даже таблицы для определения количества выработок и их размещения. В каждом конкретном случае приходится опираться на оценку приведенных выше

общих условий размещения разведочных выработок и накопленный практический опыт.

Стадии проектирования. В зависимости от стадии проектирования решаются различные инженерно-геологические задачи и предъявляются различные требования к точности и степени детальности инженерно-геологических данных. В зависимости от этих требований — а они неодинаковы для различных типов сооружений — планируется размещение горных выработок, отвечающее задачам проектирования. По существу стадия проектирования определяет этап инженерно-геологических исследований, а каждый этап, как это описано выше, имеет свои цели, исходя из которых намечают ту или иную систему размещения горно-буровых выработок и их типы.

## § 26. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

К числу основных целей инженерно-геологической разведки относится выделение инженерно-геологических элементов и получение расчетных показателей инженерно-геологических свойств пород. Для решения этих задач наиболее часто применяется лабораторный метод изучения инженерно-геологических свойств пород.

Как отмечалось выше, в процессе инженерно-геологической съемки, направленной на поиски наиболее благоприятного места для размещения сооружения, на изучаемой территории выделяются инженерно-геологические виды пород. Эти таксономические единицы пород уже в значительной мере удовлетворяют требованиям, предъявляемым к инженерно-геологическим элементам, так как они однородны по происхождению, минеральному составу и петрографическим особенностям. Однако пока остается не выясненным характер изменения значений показателей в пределах этих выделенных геологических тел.

При изучении характера изменений значений показателей в процессе инженерно-геологической разведки отбираются пробы и определяются значения классификационных и косвенно-расчетных показателей для каждого выделенного типа породы в пределах пространства, ограниченного сферой воздействия сооружения на горные породы.

На основании анализа полученных данных инженерно-геологические виды пород делятся на инженерно-геологические элементы. Например, пласт глины, однородной по литолого-петрографическим признакам, может быть разделен на инженерно-геологические элементы по состоянию породы: полутвердые, тугопластичные, пластичные и т. д. Выделенный инженерно-геологический вид пород может оказаться однородным по составу и состоянию (значения классификационных и косвенно-расчетных показателей не выходят за пределы класса, предусмотренного СНиПами или соответствующими инженерно-геологическими классификациями). В этом случае предварительно выделенный инженерно-геологический или даже литолого-петрографический тип породы отвечает инженерно-геологическому

элементу и в его дальнейшем разделении нет необходимости. Кроме того, по данным классификационных и косвенно-расчетных показателей в процессе инженерно-геологической разведки устанавливается характер изменчивости значений показателей в пределах инженерно-геологического элемента. Если значения показателей изменяются по правилу «силы», то к ним можно применить методы математического осреднения.

Для получения расчетных значений показателей составляется расчетная инженерно-геологическая схема естественного основания сооружения, т. е., по существу, устанавливаются те инженерно-геологические элементы, которые будут «работать» в основании и от которых зависит устойчивость сооружений. Для каждого такого инженерно-геологического элемента отбирается количество проб, необходимое (см. раздел «Инженерно-геологическое опробование горных пород») для определения прямых расчетных показателей и выбора расчетного значения показателя.

## § 27. ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ И СТАЦИОНАРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Опытные работы позволяют получать наиболее достоверные данные, хотя требуют больших затрат времени и средств. Поэтому они производятся обычно на этапе детальной разведки. В задачу опытных работ входит:

1. Определение расчетных показателей для более или менее значительных массивов горных пород. При решении этой задачи опытные работы производят на массивах пород, несомненно больших по объему, чем лабораторные образцы. Например, в лабораторных условиях определения сдвигающих усилий производят на образцах с площадью сдвига примерно  $40 \text{ см}^2$ , а в полевых условиях площадь сдвига достигает 10 000 и даже 20 000  $\text{см}^2$ , т. е. она будет в 250—500 раз больше.

2. Установление возможности осуществления тех или иных инженерных мероприятий, особенно в тех случаях, когда такую проверку нельзя выполнить лабораторными методами исследования. Например, в целом ряде случаев нельзя заранее определить, будет ли эффективным замораживание пород, осуществима ли забивка шпунта в те или иные породы, каков будет характер и размеры деформаций льссов при их замачивании и т. п. В этих случаях в процессе инженерно-геологической разведки производится опытное замораживание пород, опытная забивка шпунтов, замачивание льссовых пород и т. д.

Производство опытных работ обычно требует специального и довольно сложного оборудования, проходки дорогостоящих горно-буровых выработок большого диаметра (например, шахт), длительных сроков производства опытов, что определяет их значительную стоимость. По этой причине опытные работы проводятся большей частью в сфере воздействия сооружения на горные породы и



выполняются по специальной программе, разработанной опытными специалистами с учетом типа, конструкции сооружения и инженерно-геологических условий. В качестве примера ниже приводится такая специальная программа изучения физико-технических свойств пород в опытной шахте, пройденной в створе одной из плотин на Волге, и методика проведения испытаний.

### **Программа изучения физико-технических свойств пород разреза опытной шахты**

Задачей исследования являлось определение физико-технических характеристик пород сарминской и уржумской свит в целях корректирования расчетных показателей этих пород, принятых для проектирования основания бетонной части плотины. В соответствии с этой задачей основное внимание уделялось исследованию напластований, залегающих ниже подошвы бетонных сооружений.

Наряду с обстоятельным исследованием физико-механических свойств пород основания изучению подвергались разности вышележащей части разреза, представленные главным образом аллювиальными песками. Изучение песков в условиях естественного залегания всегда представляет большой практический интерес при решении ряда вопросов, связанных с изучением основания земляных плотин.

Исследования аллювиальной толщи проводились на всю ее мощность в целях: а) установления естественной плотности песчаных отложений и б) определения степени их устойчивости и фильтрационных свойств на различной глубине при естественной плотности.

Исследование песков проводилось только в лабораторных условиях. В данном случае с этой целью при проходке шахтой аллювиальной толщи с забоя двухножевым грунтоносом были отобраны образцы песка с ненарушенной структурой, через 5 м по глубине, по два образца с каждого горизонта. Образцы немедленно взвешивались на месте, затем направлялись в лабораторию для исследований.

Для всех образцов песка были определены следующие характеристики:

- 1) гранулометрический состав;
- 2) пористость в естественном состоянии;
- 3) влажность;
- 4) содержание органических остатков.

На основании полученных характеристик песчаный разрез был расчленен на относительно однородные горизонты. Ведущим показателем для такого расчленения принимается гранулометрический состав.

В описываемом случае в соответствии с предварительными данными предполагалось выделить 4—5 горизонтов. Для характеристики песка каждого выделенного горизонта было намечено определение следующих показателей:

- 1) максимальной и минимальной пористости;
- 2) критической пористости;

3) угла внутреннего трения при естественной пористости и влажности;

4) коэффициента фильтрации при естественной пористости.

По этим данным составлялось общая инженерно-геологическая характеристика разреза аллювиальной толщи.

Исследование толщи коренных пород, как основания бетонной части плотины, определялось ее естественным состоянием и условиями залегания слагающих ее пород. Толща состояла из перемежающихся напластований различной мощности и состояла из полутвердых и твердых глин и мергелей. Эта особенность строения толщи грунтов основания при изучении их физико-механических свойств заставила уделить внимание проверке сравнительной однородности толщи по прочности и возможному сопротивлению скольжению по контактам напластований, главным образом в верхней ее части. Именно эти особенности толщи предполагалось осветить с помощью лабораторных и полевых исследований.

Лабораторные исследования проводились различными методами, принятыми для исследования глин и полускальных пород, к которым относятся мергели и твердые мергелистые глины. Все породы, подлежащие исследованию, изучались по трем комплексам испытаний — сокращенному, нормальному и специальному, и выполнялись на образцах с ненарушенной структурой. Эти комплексы были разграничены для мягких и твердых пород.

Для мягких пород был принят следующий состав испытаний.

#### Сокращенный комплекс

- 1) влажность в естественном состоянии;
- 2) пористость;
- 3) пределы пластичности;
- 4) размокаемость.

#### Нормальный комплекс

- 1) все определения, входящие в сокращенный комплекс;
- 2) стандартные определения: гранулометрического состава, набухания, компрессионных характеристик, сопротивления срезу.

#### Специальный комплекс

- 1) все определения, входящие в нормальный комплекс;
- 2) определения:
  - а) коэффициента фильтрации под нагрузкой (в отдельных случаях);
  - б) показателей сопротивления сжатию при ограниченном боковом расширении;
  - в) показателей сопротивления сдвигу, определяемых по разрушению образца при трехосном обжатии.

Для твердых пород состав испытаний устанавливался следующий.

## Сокращенный комплекс

- 1) влажность в естественном состоянии;
- 2) пористость.

## Нормальный комплекс

- 1) определения, входящие в сокращенный комплекс;
- 2) временное сопротивление на раздавливание кубиков размером  $10 \times 10 \times 10$  см в насыщенном в парах воды состоянии.

## Специальный комплекс

- 1) определения, входящие в нормальный комплекс;
- 2) испытание на сжатие при ограниченном боковом давлении с определением модулей упругости и пластичности;
- 3) сопротивление сдвигу, определяемое из условий раздавливания при трехосном эллипсоиде напряжений;
- 4) определение коэффициента фильтрации под нагрузкой (отдельные случаи).

Помимо указанных исследований, в лаборатории изучалось сопротивление скольжению пород по контактам путем сдвига образцов ненарушенной структуры с площадью размерами  $100 \times 200$  мм, вырезанных из пород контактных зон. Сдвиги осуществлялись в приборе Фельда.

Лабораторным исследованиям подлежали все литологические разности, слагающие разрез коренных пород по шахте. При мощности разностей свыше 10 см породы испытывались по нормальному комплексу. Более тонкие прослойки пород, помимо испытаний по контактам, исследовались по сокращенному комплексу. По специальному комплексу исследовались главным образом породы горизонтов, сложенных глинистыми и мергелистыми разностями, мощность которых имела существенное значение при определении несущей способности толщ основания в пределах разреза шахты. Определения, входившие в этот комплекс сверх определений, составляющих нормальный комплекс, считались контрольными, они уточняли расчетные характеристики, определенные по нормальному комплексу испытаний.

Полевые исследования. При данных геологических условиях практический интерес представляло определение сопротивления пород скольжению по контактам в верхней части толщ грунтов основания.

В целях уточнения лабораторных определений сопротивления сдвигающим усилиям в контактных зонах, полученных при срезе образцов площадью  $200 \text{ см}^2$ , было принято решение произвести определение непосредственно в шахте на специально обработанных уча-

срезах массива с площадью среза  $50 \times 100 = 5000 \text{ см}^2$ . Срезы предполагалось делать под вертикальной нагрузкой, соответствующей весу вышележащего столба грунта плюс вес сооружения на данном горизонте. Вертикальная нагрузка осуществлялась при помощи гидравлических домкратов, соединенных в специальной самоуравновешивающейся установке. Горизонтальная нагрузка передавалась срезаемому массиву также гидравлическим домкратом, упираемым в стенку шахты. Ориентировочно было намечено сделать срезы на 4—5 участках контакта глин с песчаником, мергелем и алевролитом на глубине от 24 до 40 м.

Помимо испытаний на сдвиг, проектировалось обследование состояния плотности разреза коренных пород путем пенетрации стенки шахты специально сконструированным для данной цели пенетрометром.

Отбор монолитов для лабораторных исследований производился следующим образом.

1. Из слоя мощностью 10 см отбирались 2 образца размером  $10 \times 10 \text{ см}$  на всю мощность.

2. При мощности слоя 10—30 см отбирались также два монолита на всю мощность с размерами в плане  $25 \times 25 \text{ см}$ .

3. При слое мощностью от 30 до 50 см вырезались два монолита  $25 \times 25 \times 25 \text{ см}$  из середины слоя.

4. При слое мощностью от 50 см до 1 м вырезались два монолита  $25 \times 25 \times 25 \text{ см}$ , отстоящие от контактных зон не менее 10 см.

5. При слое мощностью более 1 м вырезались монолиты  $25 \times 25 \times 25 \text{ см}$  через каждые 0,5 м, причем верхний и нижний монолиты отбирались не ближе 10—15 см от кровли и подошвы слоя.

6. При ленточном переслаивании микропрослоек толща считалась однородной и монолиты отбирались соответственно вышеизложенному.

Помимо монолитов, предназначенных на испытания для оценки отдельных литологических горизонтов, отбирались монолиты и для оценки сопротивления скольжению по контактам. Их вырезали из контактной зоны так, чтобы плоскость контакта располагалась примерно на половине высоты монолита. Размеры таких образцов в плане должны быть не менее  $25 \times 25 \text{ см}$ , а высота не менее 20 см. Как правило, эти монолиты вынимались из целиков, специально оставленных на забое шахты. Брели по два монолита с каждого из следующих контактов:

- 1) глина — мергель;
- 2) глина — алевролит;
- 3) мергель — алевролит;
- 4) более мягкие глины — более твердые.

Одновременно с отбором монолитов отбирались по две пробы грунта на влажность, которая определялась немедленно в полевой лаборатории при шахте. Все монолиты немедленно парафинировались на месте и направлялись в центральную лабораторию экспедиции.

Заключивая описание проведенных работ, отметим, что по существу стационарные наблюдения преследуют те же цели, что и опытные работы, но сроки получения необходимых данных в этом случае удлиняются. Например, определение скорости и направления движения оползней имеют целью выработку мероприятий по предотвращению оползания пород, но обычно для решения этой задачи требуется проводить наблюдения от нескольких сезонов до нескольких лет. В силу этого стационарные наблюдения иногда начинаются на этапе разведки, продолжаются весь построечный период, часто захватывая значительную часть периода эксплуатации сооружения.

## ГЛАВА VII

### ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

#### § 28. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Инженерно-геологическим опробованием следует называть процесс выявления состава, состояния и инженерно-геологических свойств пород, составляющих естественные основания сооружений или тела земляных сооружений. Такое опробование осуществляется путем отбора проб пород в горных выработках, буровых скважинах, обнажениях и дальнейшего определения их свойств различными способами (лабораторными, полевыми), а также путем определения этих свойств на массивах пород, залегающих в естественных условиях (замеры углов устойчивых откосов, осадки и т. п.). Завершением процесса инженерно-геологического опробования горных пород является систематизация, обобщение экспериментальных данных и выбор расчетных значений показателей физико-технических свойств пород.

Инженерно-геологическое опробование проводится на всех стадиях и циклах инженерно-геологических исследований, оно сопутствует съемке и разведке. Детальность его повышается по мере перехода к более поздним стадиям исследования. Естественно, что и методы опробования меняются в зависимости от целей, поставленных перед отдельными стадиями и этапами инженерно-геологических исследований.

Определение показателей физико-технических свойств горных пород необходимо для следующих целей:

- 1) прогноза физико-геологических и инженерно-геологических явлений и выявления их причин;
- 2) выбора наиболее выгодных расчетных значений показателей физико-технических свойств пород;
- 3) обоснованного выбора мер борьбы с неблагоприятными физико-геологическими явлениями и инженерно-геологическими процессами.

Однако следует сразу же подчеркнуть, что нельзя обеспечить достижение отмеченных выше целей только путем усовершенствования

методов лабораторного или полевого определения тех или иных показателей физико-технических свойств пород. Для их достижения необходимо, кроме того, соблюдение целого ряда взаимосвязанных условий: правильное размещение мест отбора проб, применение рационального метода проходки горных выработок, соблюдение условий хранения и предварительной обработки проб и т. д. К сожалению, в практике инженерно-геологических исследований иногда забывают о том, что при игнорировании хотя бы одного из этих условий нередко получаются неправильные результаты, создаются неправильные представления о природе свойств пород и явлений, что влечет за собой выбор необоснованных значений расчетных показателей — приводит к излишней затрате средств и времени.

В настоящее время предпринимается большое количество попыток применения методов математики для инженерно-геологических расчетов и достигнуты определенные успехи. Можно считать доказанной целесообразность применения математических методов при определении, например, количества необходимых проб, оптимальных расстояний между горными выработками и других подобных параметров, которые в настоящее время назначаются чисто «волевым» порядком.

Однако, как нам представляется, успешное применение математических методов для решения инженерно-геологических задач возможно только при предварительном соблюдении ряда условий.

1. Формализация понятий, используемых в инженерно-геологическом опробовании горных пород, т. е. должны быть сформулированы аксиомы и системы аксиом, удовлетворяющие требованиям формальной логики, с установлением их непротиворечивости, полноты и разрешимости.

2. Определение основных, реально существующих в природе законов изменчивости показателей инженерно-геологических свойств пород, не зная которые невозможно выбрать математический аппарат, с помощью которого можно правильно решить ту или иную инженерно-геологическую задачу.

3. Создание геологической гипотезы, обосновывающей\* законы изменчивости показателей инженерно-геологических свойств пород, определяющей направления исследований и размещение объектов изучения. Поэтому в первую очередь необходимо попытаться сформулировать понятия основных терминов, используемых в инженерно-геологическом опробовании.

Прежде всего отметим, что следует различать термины «образец», «проба» и «монолит».

Образцом следует называть любой объем породы, отобранный с целью его дальнейшего геологического изучения, визуального описания, изучения под микроскопом и т. п.

Под термином «инженерно-геологическая проба породы» подразумевается строго определенный объем породы, используемый для испытания в лабораторных и полевых условиях с целью опреде-

дения какого-либо ее показателя: состава, состояния или физико-технических свойств.

Естественно, что для определения различных показателей состава, состояния и свойств пород потребуются пробы различных размеров, что определяется принятыми методами исследования. Следует подчеркнуть, что не всегда пробу пород нужно извлекать из выработки на поверхность земли. Так, например, при полевом определении сопротивления пород сдвигающим усилиям пробу не извлекают на поверхность земли, а испытывают на месте — в шахте, шурфе, котловане и т. п. При проведении пенетрационных исследований определяется плотность определенного ограниченного объема породы. Этот опробуемый объем породы также охватывается понятием инженерно-геологической пробы.

Вполне понятно, что весь образец или его часть могут представлять собой и пробу, если он предназначен также и для изучения состава, состояния и свойств породы.

Монолитом следует называть образец породы, отобранный с сохранением ее естественных структуры и влажности. Из монолита также можно брать пробы как с сохранением структуры и влажности (например, для определения сжимаемости), так и с их нарушением (например, для определения показателей пластичности).

Интервалом  $h$  опробования следует называть расстояние между пробами по вертикали (например, по глубине выработки). Шагом опробования  $L$  следует называть расстояние между пробами по горизонтали.

Весь процесс инженерно-геологического опробования горных пород состоит из следующих взаимосвязанных операций:

- 1) выбора метода инженерно-геологической оценки массива горных пород;
- 2) определения системы опробования;
- 3) отбора проб или производства наблюдений;
- 4) обработки проб;
- 5) анализ проб лабораторными и полевыми методами, включая выбор системы показателей и методов их определения;
- 6) обработки экспериментальных данных;
- 7) выбора расчетных значений показателей физико-технических свойств пород.

## § 29. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Большое значение при изучении инженерно-геологических условий имеет оценка характера изменчивости инженерно-геологических свойств пород.

Под инженерно-геологической изменчивостью горных пород подразумевается



изменение значений показателей физико-технических свойств пород как по глубине, так и по простиранию.

Общей особенностью горных пород является изменение значений показателей их физико-технических свойств от точки к точке как по горизонтали, так и по вертикали. Многочисленные определения значений этих показателей для пород различных генетических типов, пробы которых отбирались на различных расстояниях друг от друга, показывают, что в настоящее время можно выделить три типа закономерностей инженерно-геологической изменчивости пород (рис. 65).

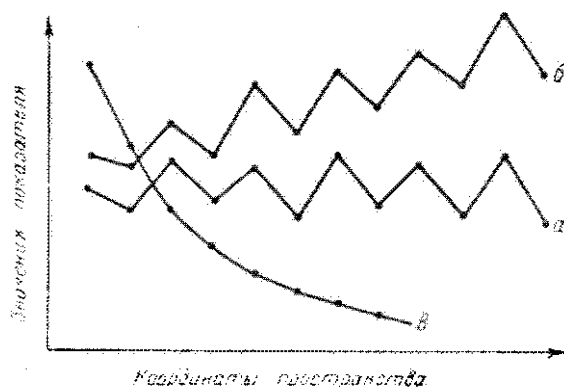


Рис. 65. График, иллюстрирующий инженерно-геологическую изменчивость горных пород

а — скачкообразная незакономерная изменчивость;  
б — скачкообразная закономерная изменчивость; в — функциональная изменчивость

1. Скачкообразная незакономерная изменчивость, при которой не наблюдается закономерной связи с параметрами пространства  $h$  и  $L$  (рис. 65, а). Такой тип инженерно-геологической изменчивости свойств наблюдается даже во внешне однородных слоях пород, значения показателей которых изменяются от точки к точке незакономерно, случайно (рис. 65, б). Этот тип изменчивости был впервые установлен И. В. Ивановым под руководством Н. Н. Маслова при отборе и испытании проб из внешне вполне однородного тонкого прослоя ленточной глины. Такие изменения значений показателей Н. Н. Маслов назвал изменениями по правилу «шпиль».

Кафедрой инженерной геологии МГРИ были выполнены исследования по изучению закономерностей изменчивости пород различного типа — опалово-глинистых песчаников букацкого яруса и старичных современных отложений Волги у Волгограда, лёссовидных суглинков юга Украины и других. Образцы отбирались из слоев, характеризующихся значительной однородностью, на не-

Содержание в шлифах кварца и глауконита (в песчаной фракции) и тонкого алевроито-глинистого материала (вместе с цементом), %

| № п/п                               | № шлифа | Глауконит | Кварц | Цемент и алевроитовый материал |
|-------------------------------------|---------|-----------|-------|--------------------------------|
| 1                                   | 58/1    | 13,0      | 12,0  | 75,0                           |
| 2                                   | 58/3    | 9,0       | 6,4   | 84,6                           |
| 3                                   | 58/4    | 7,0       | 10,8  | 82,2                           |
| 4                                   | 58/5    | 11,7      | 15,5  | 72,8                           |
| 5                                   | 58/6    | 11,7      | 10,2  | 78,1                           |
| 6                                   | 58/7    | 16,9      | 15,5  | 67,6                           |
| 7                                   | 58/8    | 8,5       | 13,3  | 78,2                           |
| 8                                   | 58/9    | 10,0      | 8,5   | 81,5                           |
| 9                                   | 58/10   | 11,3      | 9,6   | 79,1                           |
| 10                                  | 58/11   | 8,8       | 9,5   | 81,7                           |
| Среднее                             |         | 11,9      | 11,13 | 78,0                           |
| Максимальное отклонение от среднего |         | 42        | 42    | 19                             |

больших интервалах один от другого. Результаты некоторых из этих исследований приведены на рис. 66—72.

На графиках видно, что на небольших расстояниях, измеряющихся метрами или десятками метров, как правило, не наблюдается каких-либо закономерностей в изменении свойств пород. Это показывает, что текстура и структура пород также не вполне постоянны, а претерпевают некоторые незакономерные количественные изменения как по мощности, так и по простиранию выделенного слоя. Для того чтобы проверить это положение, М. Н. Иванова выполнила следующий опыт.

Из одного большого образца песчано-алевритовой породы бучакского яруса была сделана серия шлифов (10 шт.), вырезанных перпендикулярно слоистости на расстоянии 1 см один от другого. Результаты количественного определения состава породы в шлифах приведены в табл. 19.

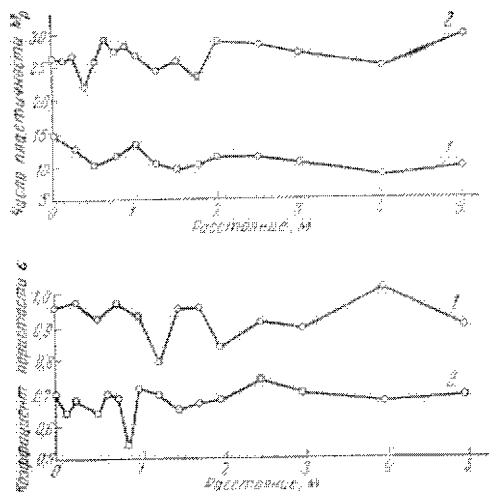


Рис. 66. Изменение значений числа пористости  $M_p$  и коэффициента пористости в абсолютных суглинках и старичных глинах  
1 — старичные глины Печоры; 2 — абсолютные суглинки юга Украины

Данные, приведенные в табл. 19, показывают, что условия осадконакопления были весьма непостоянны, на расстоянии 1 см содержание глауконита и кварца без видимой закономерности значительно менялось, давая максимальное отклонение от среднего состава до

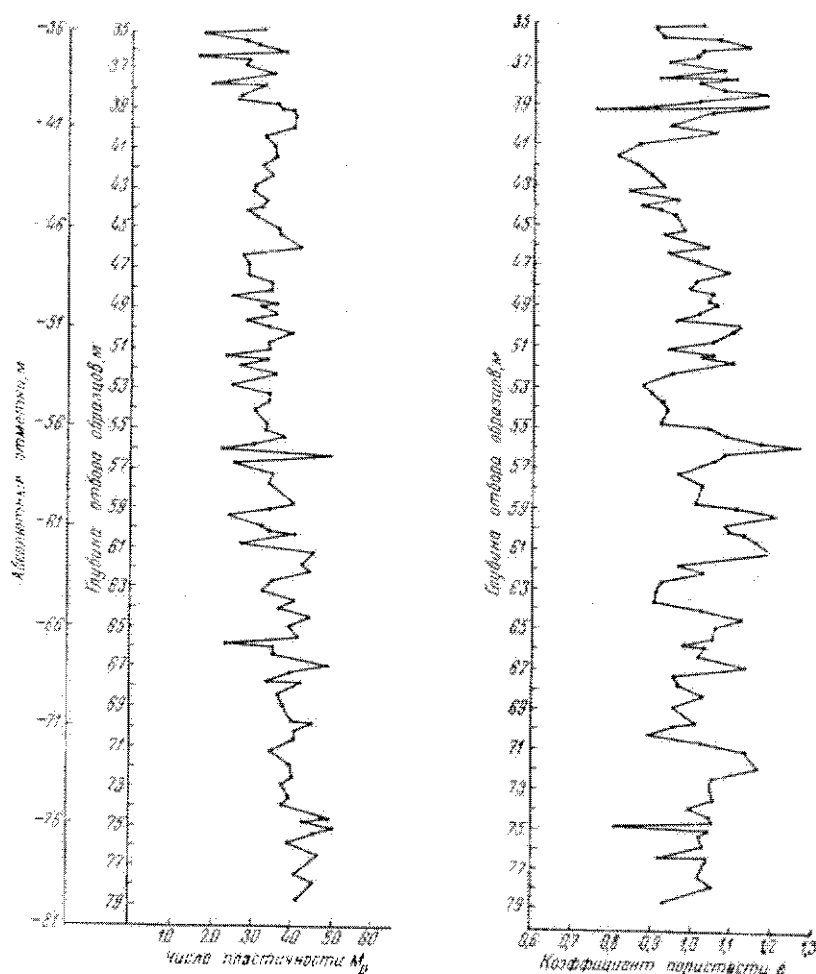


Рис. 67. Изменение с глубиной значений числа пластичности и коэффициента пористости майконских глин с глубиной (район Волгограда)

42%. Естественно, что при таких колебаниях минералогического состава должны были испытывать значительные колебания и значения показателей физико-технических свойств пород. Таким образом, можно считать, что изменчивость любого свойства горной породы зависит от условий образования и последующих изменений породы

и является геологическим фактором. К аналогичному выводу пришел Д. А. Зенков (1955), анализируя изменчивость рудных тел.

Из сказанного выше вытекает, что в природе на отдельных отрезках разреза инженерно-геологическая изменчивость характе-

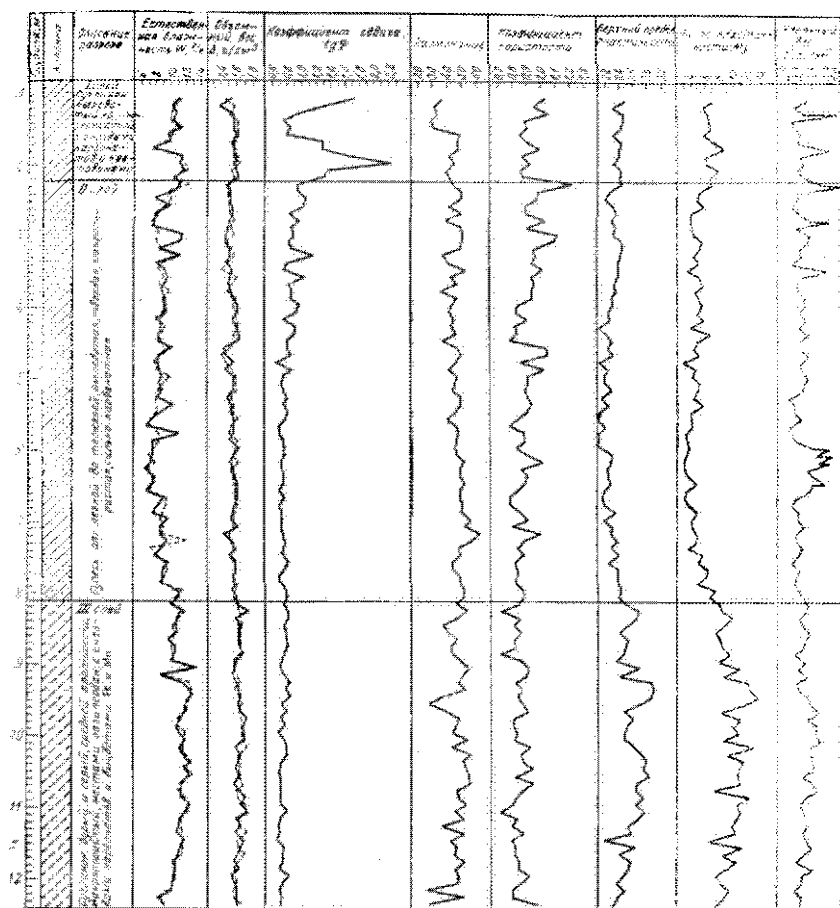


Рис. 68. Изменения значений показателей физико-технических свойств лессовых пород с глубиной (Херсонская обл.)

ризуется отсутствием какой-либо закономерной связи значений показателей с параметрами пространства  $h$  и  $L$ .

Забегая несколько вперед, отметим, что скачкообразный незакономерный тип инженерно-геологической изменчивости обычно наблюдается в пределах площадей, соизмеримых с площадями естественных оснований подавляющего большинства инженерных сооружений, кроме линейно-протяженных (например, каналов, дорог и т. п.). Другими словами, в пределах сферы воздействия большинства

инженерных сооружений (кроме линейно-протяженных) на горные породы большей частью наблюдается инженерно-геологическая изменчивость по правилу «пилы». Следовательно, при наличии скачкообразного пезакономерного типа инженерно-геологической изменчивости при обработке экспериментальных данных вполне возможно применить методы, разработанные математической статистикой.

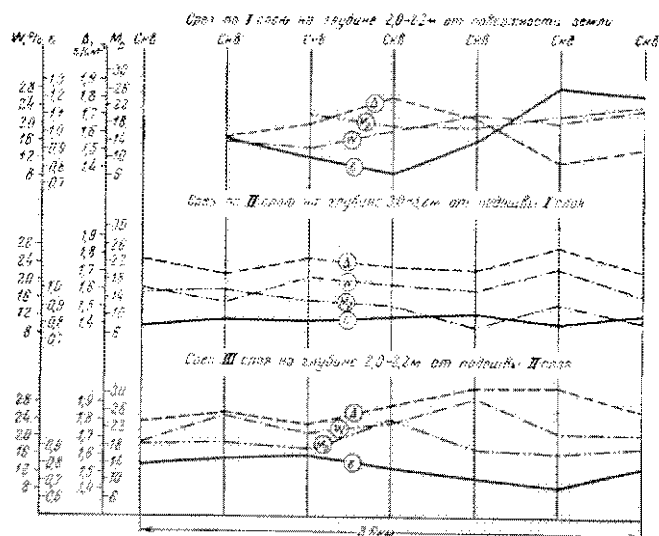


Рис. 69. Графики изменения частных значений показателей физико-технических свойств лёссовых пород, определенных по пробам, отобраным с одной глубины по профилю (Белгородская обл.)

W — естественная влажность, E — коэффициент пористости; Δ — объемный вес,  $M_p$  — число пластичности. Расстояние между скважинами условное

2. Скачкообразная закономерная изменчивость, при которой наблюдается закономерная связь с параметрами пространства  $h$  и  $L$  (см. рис. 65).

В природе наблюдаются закономерные изменения значений показателей инженерно-геологических свойств, зависящие от глубины залегания или простирания пород. К ним относятся, например, обычные для аллювиальных отложений изменения состава и связанных с ним свойств, в первую очередь изменения механического состава пород по мере удаления от истоков к устью аллювиального потока, а также изменения, возникающие в зависимости от положения базиса эрозии. Такой характер изменчивости значений показателей свойств пород типичен также для лёссовых образований, для делювиальных, флювиогляциальных и других генетических типов отложений.

Примером может служить закономерное изменение значений числа пластичности лёссовых пород Центрального и Восточного Предкавказья (рис. 73). На рис. 74 отчетливо видно, как изменяется

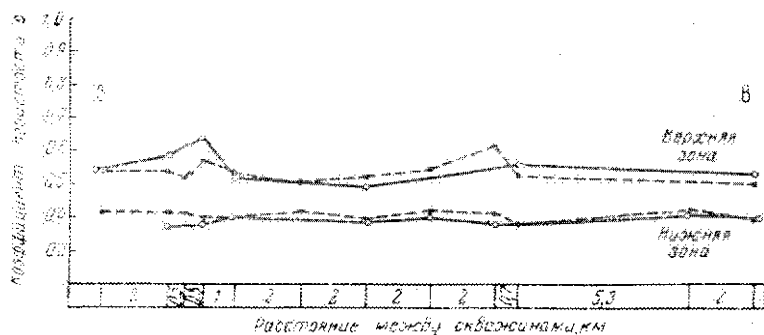


Рис. 70. Изменение значений коэффициента пористости основной морены (Калужская обл.) по направлению с запада на восток (по М. М. Максимова)

1 — среднее значение для слоя по скважине; 2 — индивидуальные (частные) значения для верхней зоны — на глубине 3 м, для нижней зоны — на глубине 7 м

Рис. 71. Изменение объемного веса песчанников и алевроитов ( $Q_{III}$ ) с глубиной. Центральный Казахстан (по М. В. Рацу)

Скачкообразные изменения: скв. 1183 — закономерные; скв. 3058 — не закономерные

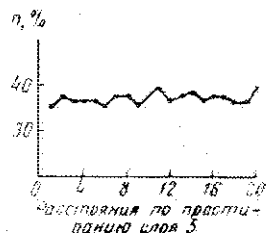
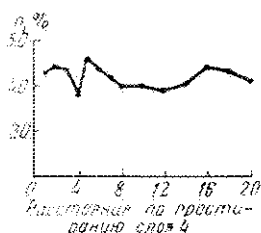
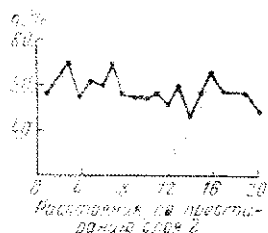
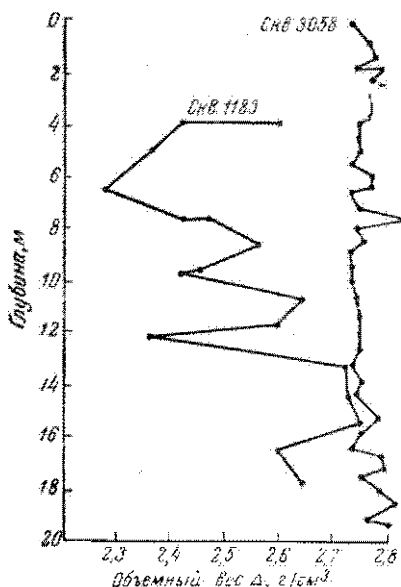


Рис. 72. Изменение пористости песков по простиранию слоев в разрезе современного аллювия (al  $Q_{IV}$ ) р. Клязьмы (по Н. Н. Фадееву)

число пластичности четвертичных отложений по мере приближения к оси синклинального прогиба. Интересные данные получены и для верхнеюрских глин района Ангрена (рис. 75), где значения

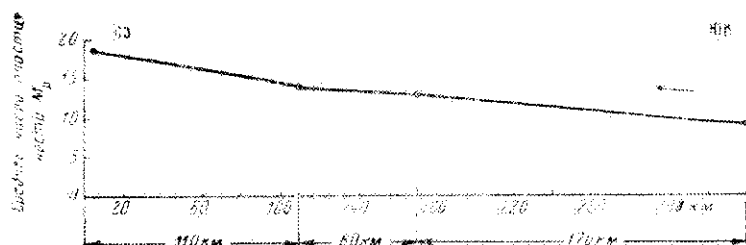


Рис. 73. Изменение числа пластичности  $M_p$  лёссовых пород ( $Q_{II-III}$ ) Центрального и Восточного Предкавказья (по материалам Л. Г. Балаева)

пористости, числа пластичности и влажности изменяются с глубиной по мере изменения степени выветрелости горных пород. Весьма наглядные данные, показывающие закономерное изменение значений показателей свойств пород, получены С. Н. Егоровым для хвалынских глин района Волгограда (табл. 20).

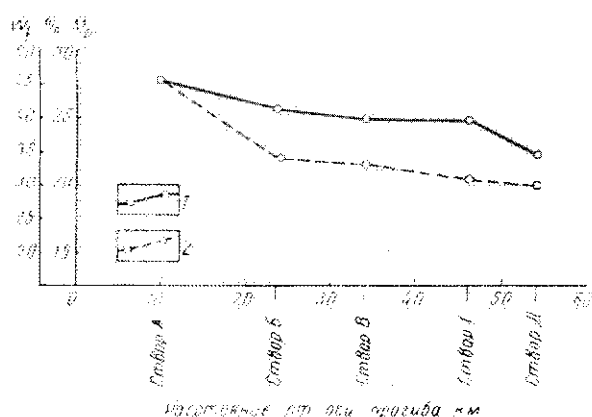


Рис. 74. Изменения обобщенных значений числа пластичности (I) и предела текучести (2) четвертичных отложений по направлению от оси прогиба

Едва ли нужно доказывать, что все эти изменения связаны с условиями образования горных пород, с их диагенезом и эпигенезом.

Очевидно, можно считать, что изменения значений показателей физико-технических свойств пород, приведенные на рис. 73 и 74, относятся к осадкам, образовавшимся более или менее одновременно, и объясняются они изменениями интенсивности основных факторов

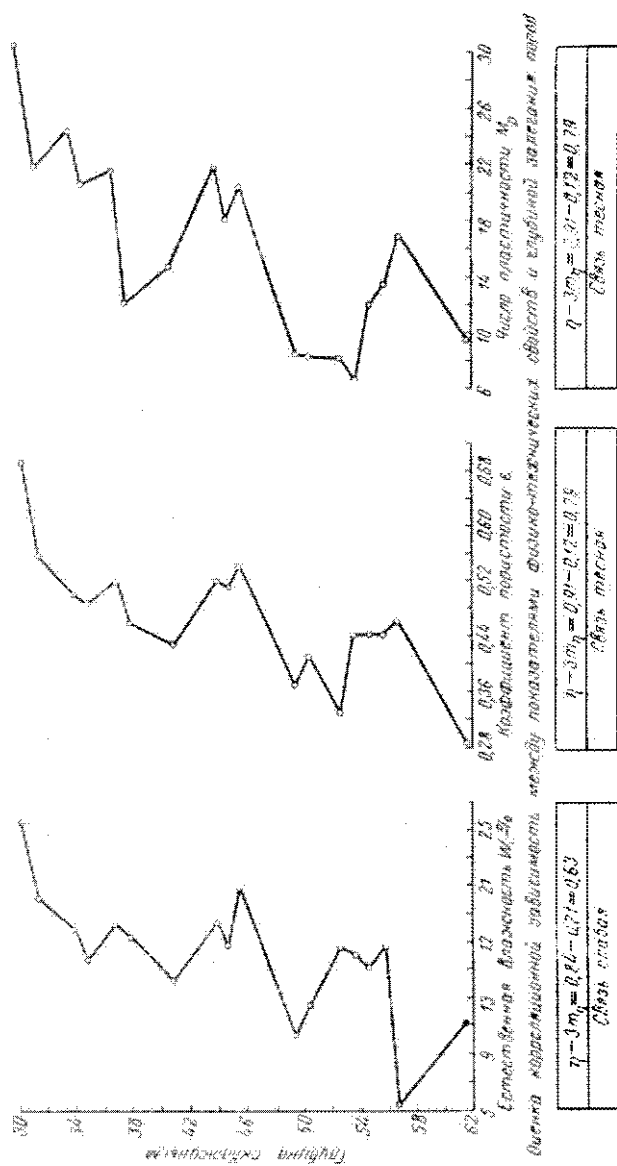


Рис. 75. Изменения с глубиной показателей физико-технических свойств верхнеюрских глин в смещенном состоянии (Ангрен, скв. 1081)



Показатели физико-технических свойств хвалыньских глин  
района Волгограда  
по С. Н. Егорову

| Зона | Глубина<br>заглубления<br>зоны, м | Естествен-<br>ная<br>влажность,<br>W, % | Показатели пластичности |       |       | Коэффициент<br>пористости |
|------|-----------------------------------|---|-------------------------|-------|-------|---------------------------|
|      |                                   |   | $W_f$                   | $W_p$ | $M_p$ |                           |
| 1    | 0—2                               | 17,8                                    | 52,2                    | 23,5  | 28,7  | 0,705                     |
| 2    | 2—7                               | 30,0                                    | 64,7                    | 27,4  | 27,3  | 0,867                     |
| 3    | 7—11                              | 33,9                                    | 69,2                    | 29,1  | 40,1  | 0,950                     |
| 4    | 11—14,5                           | 37,5                                    | 71,9                    | 29,6  | 42,3  | 1,064                     |

осадкообразования, например изменением живой силы ветра, несущего лёссовую пыль, и т. п. Такую инженерно-геологическую изменчивость можно назвать региональной инженерно-геологической изменчивостью.

Изменчивость значений показателей физико-технических свойств пород, показанная на рис. 75 и в табл. 20, относится к разновременным образовавшимся осадкам, она может быть названа временной инженерно-геологической изменчивостью.

Итак, инженерно-геологическая изменчивость пород может иметь региональный и временный характер, причем эти оба вида изменчивости зависят от координат пространства и обусловлены геологическими факторами. Следует особо подчеркнуть, что только зная направление и характер изменений геологических факторов, обуславливающих региональную и временную инженерно-геологическую изменчивость, удастся правильно наметить систему опробования и размещения горно-буровых выработок. Таким образом, без предварительного анализа геологической истории развития района невозможно правильно и экономно наметить систему инженерно-геологического опробования горных пород.

При разборе скачкообразного закономерного типа инженерно-геологической изменчивости обращает на себя внимание два важных обстоятельства. Во-первых, скачкообразная изменчивость (по правилу «пиль») в этом случае накладывается на более или менее плавные, закономерные изменения средних значений показателей. Во-вторых, на коротких участках разреза региональная инженерно-геологическая изменчивость не выявляется из-за колебаний средних значений показателей, менее резких, чем колебания частных значений показателей, но все же заметных.

Последнее обстоятельство очень важно для практики, так как оно даёт возможность применить весьма простой математический прием, позволяющий использовать для обработки экспериментальных данных уже в какой-то мере апробированные для этой цели методы математической статистики. Действительно, бесконечно малый участок кривой можно рассматривать в качестве прямой линии.

На том же основании и ограниченный участок разреза можно считать типичным какой-либо закономерной изменчивости, т. е. характеризующийся только изменчивостью по правилу «пилы». Такой подход оправдывается тем обстоятельством, что площадь, занимаемая даже крупным сооружением, бесконечно мала по сравнению с площадью пород, на которой прослеживаются региональные изменения (например, площадь распространения лёссовых пород). Учитывая это, можно рекомендовать производить с помощью методов математической статистики обработку экспериментальных данных, полученных в пределах сферы воздействия сооружения на горные породы, если даже в этих пределах намечается региональная или временная инженерно-геологическая изменчивость, которая выявляется по средним значениям показателей инженерно-геологических свойств пород.

Однако при наличии явно выраженной региональной или временной изменчивости и при необходимости оценки в этом случае инженерно-геологических условий строительства линейно-протяженных сооружений применение методов математической статистики становится неправомерным. В этом случае вполне правомерными и для практической цели достаточно точными являются методы интерполяции и экстраполяции.

3. Функциональная изменчивость показателей физико-технических свойств пород иногда наблюдается при искусственном воздействии на горные породы. При такой зависимости частные значения показателей инженерно-геологических свойств пород являются функциями параметров пространства  $h$  и  $L$ . К ней относятся, например, изменения влажности пород при искусственном замачивании лёссов или при определении водопроницаемости пород методом наливов; изменения плотности пород при искусственном их уплотнении и т. п.

В этих случаях для обработки экспериментальных данных употребляются известные математические приемы, разработанные в механике грунтов и гидрогеологии. Мы здесь на них не останавливаемся.

На основании изложенного можно установить следующие основные положения.

1. Инженерно-геологическая изменчивость пород является геологическим фактором, т. е. она зависит от условий образования пород и от их дальнейших изменений, а для различных генетических типов пород она будет определяться собственными им геологическими факторами.

2. В настоящее время устанавливаются три основных типа инженерно-геологической изменчивости: скачкообразная незакономерная, скачкообразная закономерная (региональная и временная), функциональная.

3. Описанные типы инженерно-геологической изменчивости требуют различного подхода к инженерно-геологическому опробованию

горных пород: разных систем расположения горно-буровых выработок, разного количества проб, разных математических приемов обработки экспериментальных данных.

### § 30. МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

В практике инженерно-геологических исследований применяются следующие методы инженерно-геологической оценки массивов горных пород:

- 1) косвенный;
- 2) инженерно-геологических аналогий;
- 3) типизации;
- 4) естественно-статистический;
- 5) статистический;
- 6) механико-математические.

Следует отметить, что не всегда эти методы применяются в чистом виде. Большой частью один метод дополняет другой, и по существу приведенное выше разделение методов инженерно-геологической оценки носит несколько условный характер. Однако необходимо иметь в виду, что на разных этапах исследований применяются различные сочетания методов оценки, так как выбор метода определяется целями инженерно-геологических исследований. Ниже приводится описание отдельных методов инженерно-геологической оценки массивов горных пород и условий их применения.

#### 1. Косвенный метод

Этот метод иногда называют методом, основанным на общих соображениях, под которыми следует понимать выводы об инженерно-геологических условиях, вытекающие из анализа конкретных данных, косвенно характеризующих инженерно-геологические условия.

К факторам (признакам), косвенно характеризующим инженерно-геологические условия, относятся:

- 1) условия осадкообразования, диагенез и эпигенез;
- 2) тектонические условия;
- 3) геоморфологические условия;
- 4) литолого-петрографический состав пород;
- 5) гидрогеологические условия;
- 6) геоботанические признаки;
- 7) характер физико-геологических процессов.

По существу условия осадкообразования, диагенетические и эпигенетические изменения пород всегда дают возможность косвенно судить об инженерно-геологических свойствах пород и их изменениях. Действительно, условиями осадкообразования определяется механический, химический и минералогический состав пород; именно состав пород и действующие в данном районе агенты выветривания определяют характер продуктов выветривания, их химико-минера-

логический состав, степеней раздробленности и т. д. А этих данных уже достаточно для ориентировочного прогноза инженерно-геологических свойств пород и их поведения в сфере воздействия сооружения. Так, например, один факт принадлежности глин к древним морским отложениям позволяет сделать ряд инженерно-геологических выводов: эти породы должны быть плотными, однородными на значительных пространствах, давать незначительную осадку по сравнению с более молодыми отложениями, они не должны обладать просадочными свойствами. Таким же образом, исходя из условий образования, моренам можно дать следующую инженерно-геологическую характеристику: это плотные породы, содержащие много включений иногда имеющих значительные размеры, они трудно поддаются разработке, не содержат значительных скоплений воды, дают малую осадку при строительстве обычных сооружений, не дают просадок, не выщелачиваются, так как не содержат воднорастворимых солей и т. п.

Результаты изучения тектонических условий также позволяют сделать ряд косвенных инженерно-геологических выводов. Например, скальные породы, находящиеся в ядре антиклиналей или брахиклинов, будут иметь значительную трещиноватость, следовательно, строительные котлованы в этих породах могут быть сильно обводнены, стенки их могут обваливаться. При строительстве в таких условиях плотины придется считаться с большими утечками воды в обход и под плотиной, а может быть и с понижением сопротивления пород сдвигающим усилиям. При пересечении, например, туннелем смятых в складки пород различной прочности можно судить о необходимости применения различных типов обделки туннеля, о разной интенсивности возможных вывалов пород и интенсивного притока воды в выработки, об участках обрушения кровли и т. п. Естественно, что оценка тектонических процессов, различно проявляющихся в разных геологических условиях, обуславливает различия и в инженерно-геологических оценках, которые в свою очередь зависят от типа и конструкции сооружений. В такой же степени для косвенной оценки инженерно-геологических условий могут быть использованы и другие перечисленные выше общие факторы.

Следует отметить, что использование косвенного метода инженерно-геологической оценки горных пород вовсе не предполагает определения каких-либо показателей их свойств. Правда, при использовании для этих целей литологического состава прибегают к единичным определениям классификационных показателей свойств пород, но на их основании не проводят каких-либо расчетов. Эти показатели в данном случае служат лишь для проверки правильности визуального определения литологического состава пород и для того, чтобы эти определения были стандартными для всех отрядов и партий экспедиции.

Все перечисленные выше признаки не позволяют дать точной цифровой оценки инженерно-геологических условий, но позволяют

охарактеризовать их косвенно. Поэтому инженерно-геологическая оценка в данном случае носит приближенный характер.

Косвенный метод оценки может быть применен только на ранних стадиях исследований, в процессе поисков наиболее благоприятных мест размещения сооружений. Не исключена возможность его использования и при более детальных исследованиях, но в данном случае этот метод дополняется другими методами оценки инженерно-геологических условий.

## 2. Метод инженерно-геологических аналогий

Метод впервые был сформулирован акад. Ф. П. Саваренским и широко им использован. Он заключается в выявлении инженерно-геологических условий строительства и эксплуатации данного сооружения, в подыскании аналогичных условий возведения сооружений в прошлом. Например, известно, что методика изучения физико-технических свойств свойств илов разработана недостаточно. По этой причине при проектировании Каховской ГЭС были приняты для расчетов оправдавшие себя значения показателей физико-технических свойств пород, слагающих основание Карповской плотины (район Дона), так как исследования показали значительное сходство инженерно-геологических условий на участках строительства двух этих сооружений.

Ф. П. Саваренский рекомендует при изучении оползневых склонов изучать и соседние участки, чтобы выявить оползни, уже произошедшие в аналогичных условиях. По этим оползням можно с большей или меньшей степенью вероятности установить положение будущей поверхности скольжения в пространстве, объемы оползневых тел, а часто и причины возникновения оползневого процесса.

Интересен случай применения метода инженерно-геологических аналогий при оценке условий строительства Туркменского канала. Большая часть этого канала проходила по хорошо фильтрующим пескам и, естественно, что у исследователей возникло опасение возможности чрезмерной утечки воды из канала. При подыскании соответствующей аналогии в данном районе был обнаружен так называемый Келифский узбой. Узбой проходил в песках и несмотря на это в свое время действовал и не давал катастрофических утечек воды. При более подробном изучении вопроса выяснилось, что дно Келифского узбоя было закальматировано глинистыми частицами, принесенными водами Аму-Дарьи. Это обстоятельство позволило дать положительную инженерно-геологическую оценку и трассе Туркменского канала.

Метод инженерно-геологических аналогий включает и использование накопленного опыта, результаты которого в виде таблиц и рекомендаций приводятся в различных справочниках, методических руководствах, инструкциях и т. п. Он может быть применен очень широко в разнообразных геологических условиях и при про-

ектировании различных типов сооружений. Однако поскольку его применение связано с использованием накопленного опыта, к сожалению, не всегда достаточно полно описанного в существующей литературе, приходится в целом ряде случаев прибегать к опыту отдельных крупных специалистов-консультантов.

Наибольшие трудности при применении этого метода вызывает необходимость выявления подобия между объектом прогноза и его природным аналогом. Дело в том, что применяемые обычно способы — сопоставление обобщенных качественных оценок или скрупулезное сравнение отдельных конкретных характеристик оставляют большой простор для субъективных решений. При этом нередко заключение о подобии двух явлений или процессов, неравномерно изменяющихся во времени (оползня, селя, землетрясения и т. д.), становится больше догадкой, чем научно обоснованным выводом.

В последнее время метод сравнения аналогов был усовершенствован Л. Б. Розовским (1962), применившим математический аппарат и выводы общей теории физического подобия и теории распознавания образов в инженерно-геологических целях. На этой основе Л. Б. Розовский сформулировал ряд положений теории геологического подобия и натурного моделирования.

Принципиальная возможность установления подобия сложных геологических процессов, явлений и образований обосновывается тем, что они обладают однородностью в целом, неоднородностью в точке. Так, сравнивая два пласта песка, легко обнаружить различие форм, размеров, состава частиц в соответственных точках пространства. Но это не исключает сходства обобщенных качеств — мощности пласта, форм залегания песков, их механического состава и т. д.

Приближенное сходство обобщенных, существенных качеств (однородного в целом) при несхожести частных (неоднородного в точке) и называется геологическим подобием. Выявление этих качеств в каждом конкретном процессе и явлении представляет собой главное в геологическом моделировании.

На природные аналоги, представляющие собой особый вид моделей — так называемые натурные модели, распространяются все основные положения общей теории подобия.

Согласно этой теории подобие сравниваемых процессов и явлений обеспечивается, если совпадают критерии подобия и условия однозначности.

В приближенном геологическом моделировании применяются как качественные (атрибутивные) критерии подобия, так и количественные. Первыми обычно служат качественные оценки сходства — названия классов, групп, к которым принадлежит объект и его аналог.

Количественные критерии геологического подобия (КГП) представляют собой безразмерные (отвлеченные) числа, характеризующие взаимодействие существенных сторон явления и процесса.

Вывод структуры КГП осуществляется или путем теоретического анализа или так называемого анализа размерности.

Последний способ заключается в последовательном выполнении четырех операций: 1) составления структурной схемы процесса, из которой устанавливаются осуществленные факторы; 2) нахождение величин, количественно представляющих эти факторы (одна из величин выбирается в качестве прогнозируемой); 3) составления в общем виде уравнения связи прогнозируемой величины и остальных показателей в виде степенного одночлена; 4) применения анализа размерности.

Покажем вывод критериев подобия на примере переработки лессовых берегов водохранилищ. В табл. 21 приводится перечень важнейших факторов, их представляющих показателей и размерностей.

Таблица 21

**Важнейшие факторы, их показатели и размерность показателей, необходимых для выводов критериев подобия при оценке переработки берегов водохранилищ**

По Л. Б. Резовскому

| Фактор  | Представляющий показатель  | Обозначение    | Размерность     |
|---|--|----------------|-----------------|
| Энергия волнения и прибойного потока  | Энергия волн на апем-пем крае отмели   | $\mathcal{E}$  | $MLT^{-2}$      |
| Потери волновой энергии на отмели   | Ширина отмели  |                | $L$             |
| Сопротивляемость пород размыву  | Угол сдвига и объемный вес грунта  | $\Psi; \gamma$ | $ML^{-2}T^{-2}$ |
| Вес и потенциальная энергия сопротивления размаву обвалных масс в одном цикле обрушения | Высота берега и ускорение силы тяжести   | $h; g$         | $L; LT^{-2}$    |
| Профиль склона  | Уклон (крутизна) склона  | $i$            | Нет             |
| Извилистость береговой линии  | Коэффициент извилистости (отношение длины береговой линии к ее проекции)         | $J$            | "               |
| Аккумуляция наносов на отмели   | Коэффициент аккумуляции (отношение объема отложившихся пород к объему размывших) | $z_0$          | "               |

Взаимосвязь между представляющими показателями из табл. 21 и прогнозируемой величиной (шириной отмели  $l$ ) записывается в виде уравнения — степенного одночлена

$$l = l_0 \gamma^a g^b \mathcal{E}^c \Psi^d J^m z_0^n. \quad (1)$$

Показатели степени в формуле 1 неизвестны. Преобразуем уравнение, подставив размерности из табл. 21

$$L = L^a [ML^{-2}T^{-2}]^b [LT^{-2}]^c [ML^{-2}T^{-2}]^d J^m z_0^n. \quad (2)$$

Группируем показатели степени при одинаковых единицах (в левой и правой частях уравнения)

$$\begin{array}{l|l} L & 1 = x - 2y + z + 2\alpha; \\ M & 0 = y + \alpha; \\ T & 0 = -2y - 2z - 2\alpha. \end{array} \quad (3)$$

Решая системы уравнений в отношении  $\alpha$ , получим

$$x = 1 - 4\alpha; \quad z = 0; \quad y = -\alpha.$$

Подставляем в формулу (1) значения показателей степени

$$l = h^{1-4\alpha} \gamma^{-2\alpha} g_0 \partial^i \psi^j i^k J^m z_0^n = h \frac{\partial}{h^4 \gamma} \psi^j i^k J^m z_0^n, \quad (4)$$

Обозначим

$$K_1 = \frac{\partial}{h^4 \gamma}; \quad K_2 = \psi; \quad K_3 = i; \quad K_4 = J; \quad K_5 = z_0. \quad (5)$$

Эти безразмерные коэффициенты и являются критериями геологического подобия.

Совпадение важнейших из этих критериев является первым необходимым требованием для констатации приближенного подобия двух сравниваемых геологических процессов и явлений. Вторым требованием — необходимым и достаточным для решения задачи — является совпадение или сходство так называемых условий однозначности.

Сформулированный в общей теории подобия комплекс условий однозначности применительно к геологическим процессам определяется следующим перечнем условий: 1) исходные (начальные) геологические условия; 2) пространственные характеристики территории, на которой проявляется процесс или явление; 3) геологическая история и продолжительность явления; 4) условия взаимодействия системы с окружающей средой (граничные и краевые условия).

Не трудно заметить, что критерии  $K_1, K_2, K_3, K_4$  включают условия однозначности, следовательно их совпадение позволяет сделать вывод о подобии. Однако нередко путем эмпирической проверки удается установить, что для выявления приближенного подобия можно ограничиться совпадением только важнейших качественных и одного-двух количественных критериев, в данном случае  $K_1$  и  $K_2$ .

Некоторые критерии имеют универсальный характер и применяются для сравнения многих процессов и явлений, к их числу относится  $K_1$ . Физическая сущность этого критерия — отношение энергии сил, производящих разрушение (денудацию), и энергии сил, сопротивляющихся разрушению; он получил название критерия геодинамического подобия.

Возможность выбора природного аналога не только по качественным оценкам подобия, но и по количественным повышает объективность и точность моделирования. Критерии подобия можно вычислять



заранее и помещать на картах природных аналогов, последние можно группировать в альбомы аналогов, а при большом их количестве — вносить в память электронных машин. Таким образом, создается как бы библиотека аналогов.

Природные аналоги и количественные критерии подобия нашли применение в прогнозах переработки берегов водохранилищ (Л. Б. Розовский), оползней (Е. П. Емельянова), осадок зданий, находящихся в сложных геологических условиях (М. С. Захаров). Очевидно, ту же методику можно будет применить и для решения других задач инженерной геологии.

Метод инженерно-геологических аналогий может применяться на различных стадиях проектирования и на разных этапах инженерно-геологических исследований, так как с его помощью удается получать не только качественную оценку инженерно-геологических условий, но и достаточно точные цифровые характеристики, например величину устойчивых углов естественных откосов и др.

### 3. Метод типизации

Метод типизации заключается в том, что для изучаемых пород определяются классификационные и косвенные показатели (их состав, пластичность, влажность, пористость, консистенция и т. п.), с помощью которых в разрезе выделяют геологические тела, обладающие примерно одинаковыми инженерно-геологическими свойствами, т. е. выделяют инженерно-геологические виды пород. На основании достаточного количества этих показателей, определенных для каждого инженерно-геологического вида пород, производят расчеты по существующим СНиПам, определяют поведение пород при замачивании водой, возможность оплывания стенок котлованов и т. п. Сравнивая оценки отдельных инженерно-геологических видов пород, распространенных на изучаемой территории, сделанные на основании простейших показателей свойств пород, выбирают наилучший из них в качестве основания сооружения.

Метод типизации широко распространен в практике инженерно-геологических исследований и применяется при наиболее детальных исследованиях. Для массовых видов сооружений, особенно в местах старых строок, а также при простых геологических условиях этот метод иногда является окончательным для количественной оценки инженерно-геологических условий.

Применять этот метод на начальных стадиях исследований, например при инженерно-геологических съемках мелкого масштаба, нецелесообразно из-за необходимости прохождения большого количества выработок, значительных затрат на лабораторные работы, а главным образом потому, что на этом цикле исследований еще неизвестны тип и место возведения данного конкретного сооружения.

#### 4. Естественно-статистический метод

Впервые этот метод широко применил при изучении переработки берегов Волги В. А. Ширимов по идее акад. Ф. П. Саваренского.

Идея метода заключается в том, что в природных условиях геологические процессы стремятся прийти в равновесие с окружающими условиями. Это равновесие длится до того момента, пока какие-либо естественные или искусственные причины не изменят окружающие условия.

Например, на одном из участков оползней близ Киева берег был устойчивым до тех пор, пока не была размыта аллювиальная терраса, служившая контрфорсом для оползней. Часто можно наблюдать, как породы в откосах, длительное время находившиеся в устойчивом состоянии, приходят в движение из-за подрезок склонов и т. п.

Многочисленные наблюдения, проведенные В. А. Ширимовым и Н. В. Коломенским, показали, что на Средней Волге глинистые породы татарского яруса имеют один и тот же устойчивый угол естественного откоса. При наблюдениях, проведенных А. Н. Шекон в районе Гурзуфа, из 55 случаев (рис. 76) не было ни одного случая нарушения устойчивости щебнисто-глинистых пород в данных естественных условиях на склонах, имеющих крутизну менее  $15^\circ$ . Установление этого факта позволило выделять пригодные для строительства участки территории. Таким образом, естественно-статистический метод позволяет получать цифровые данные, характеризующие устойчивость пород в данных климатических, геологических, гидрогеологических и других условиях.

Для получения таких данных при инженерно-геологических съемках производят массовые замеры интересующих параметров (например, угла устойчивых откосов) и подвергают их статистической обработке.

На рис. 77, составленном Н. М. Хайме, показана интенсивность развития физико-геологических процессов в зависимости от крутизны и экспозиции склона. Знаки на графике показывают количество наблюдаемых проявлений физико-геологических процессов.

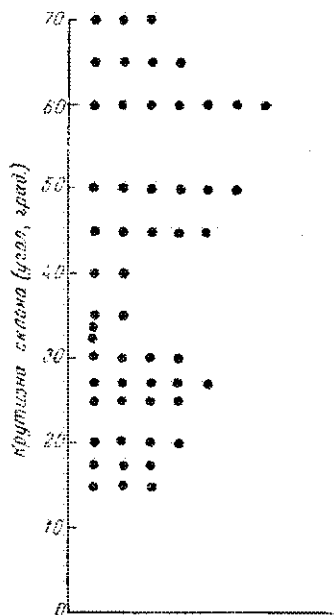


Рис. 76. График частоты оползневых нарушений устойчивости склона в зависимости от его крутизны (по А. Н. Шекон)

Из графика ясно, что наибольшее количество проявлений приурочено к склонам северной экспозиции, а интенсивное развитие осыпей начинается на склонах, крутизна которых превышает 15°.

Естественно-статистический метод применим в различных геологических условиях и для получения самых разнообразных

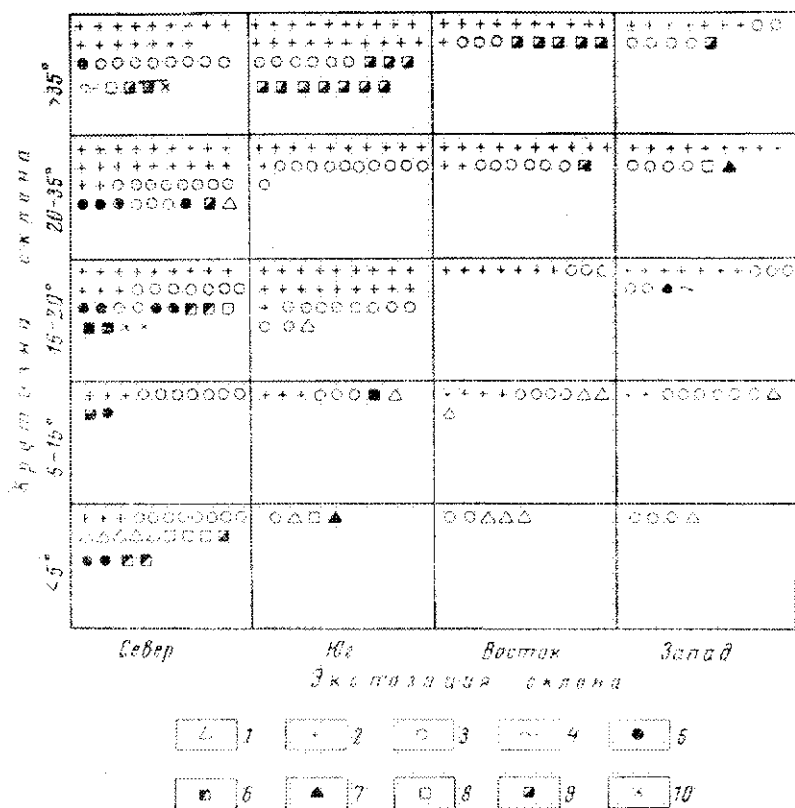


Рис. 77. Частота встречаемости физико-геологических процессов и явлений на склонах разной экспозиции и различной крутизны

1 — осыпи; 2 — осыпи; 3 — наметенные пятна; 4 — медальоны; 5 — бугры пучения; 6 — околостылевые возбуждения; 7 — термокарст; 8 — солификация; 9 — отсыпание склонов; 10 — морозобойные трещины

инженерно-геологических параметров, характеризующих инженерно-геологические условия, но требует сбора массовых данных. Он может быть применен на всех стадиях и этапах инженерно-геологических исследований.

## 5. Статистический метод

Статистический метод является аналогом естественно-статистического метода оценки инженерно-геологических свойств пород. В схеме он сводится к следующим операциям (см. раздел «Инже-

мерно-геологическая разведка» и § 35 «Обработка экспериментальных данных»):

1) расчленению пород на инженерно-геологические элементы по геологическим, литолого-петрографическим признакам и по простейшим показателям инженерно-геологических свойств пород;

2) определению для выделенных инженерно-геологических элементов показателей свойств пород в количестве, обеспечивающем достоверность конечных данных;

3) вычислению обобщенных значений показателей свойств пород, определенных лабораторными и полевыми методами;

4) выбору расчетных значений показателей свойств пород с введением разного рода поправок в значения обобщенных показателей.

Этот метод инженерно-геологической оценки пород, основанный на использовании современных методов инженерной геологии в сочетании с методами математической статистики, является наиболее точным и совершенным. Однако при его применении требуется детальное расчленение разреза и выполнение значительного объема горно-буровых работ, лабораторных и полевых определений показателей свойств пород, т. е. значительные затраты средств и времени. Кроме того, исходя из основного принципа инженерной геологии — зависимости инженерно-геологической оценки не только от естественных условий, но и от типа и конструкции сооружений нельзя расчленять геологический разрез на инженерно-геологические элементы, если неизвестны место расположения, тип и конструкция сооружения. Поэтому статистический метод может быть применен только на последней стадии инженерно-геологических исследований, т. е. по существу, в процессе детальной инженерно-геологической разведки.

## 6. Механико-математические методы

Механико-математические методы оценки инженерно-геологических условий основаны на применении различных принципов механики, в частности механики грунтов и математических приемов для вычисления тех или иных количественных параметров. К ним относятся различные способы вычисления величины и скорости осадки сооружений, ширины полосы переработки берегов водохранилищ, коэффициентов устойчивости откосов и т. п.

Применение всех этих способов возможно лишь при детальном расчленении геологического разреза и наличии достаточно достоверных расчетных значений показателей физико-технических свойств пород. Кроме того, во всех механико-математических методах принимается ряд допущений, упрощающих расчет, но вместе с тем и схематизирующих геологический разрез. Поэтому применение механико-математических методов оценки инженерно-геологических условий возможно только в не очень сложных геологических условиях в процессе детальной разведки и для предварительных расчетов в процессе предварительной инженерно-геологической разведки.

**Принципиальная схема применения различных методов  
инженерно-геологической оценки массивов горных пород  
на отдельных этапах инженерно-геологических исследований**

| Цели инженерно-геологических исследований | Виды инженерно-геологических исследований                              | Методы инженерно-геологической оценки массивов горных пород   | Основное применение   |
|---|--|---|---|
| Поиски                                    | Реконструировка для составления обзорных карт (1 : 1 000 000 и мельче) | 1. Косвенный<br>2. Инженерно-геологических аналогий   | —   |
|   | Мелкомасштабная съемка (от 1 : 500 000 до 1 : 50 000)                  | 1. Косвенный<br>2. Инженерно-геологических аналогий<br>3. Естественно-статистический  | —   |
|   | Крупномасштабная съемка (1 : 25 000 и крупнее)                         | 1. Инженерно-геологических аналогий<br>2. Естественно-статистический<br>3. Типизации  | —   |
| Разведка                                  | Предварительная разведка   | 1. Инженерно-геологических аналогий<br>2. Естественно-статистический<br>3. Типизации<br>4. Статистический<br>5. Механико-математический | Для предварительных расчетов  |
|   | Детальная разведка   | 1. Инженерно-геологических аналогий<br>2. Статистический<br>3. Типизации<br>4. Механико-математический                                  | —   |
|   | Разведка в процессе строительства и эксплуатации сооружений            | То же   | Контроль полученных в процессе исследований данных<br>Применяются только при строительстве крупных сооружений |

Как отмечено выше, каждый из методов оценки инженерно-геологических условий и свойств пород имеет свои границы применения и дает результаты разной степени точности и достоверности. В силу этого, а также с учетом требований соблюдения основного принципа производства геологоразведочных работ — применять самые рациональные методы, позволяющие проводить работы с наименьшими затратами средств, — целесообразно использовать и разные методы оценки инженерно-геологических условий, сообразуясь с возможностями самого метода и целями исследований. В табл. 22 показано наиболее целесообразное применение различных методов инженерно-геологической оценки массивов пород применительно к отдельным циклам и этапам инженерно-геологических исследований. Следует, однако, отметить, что по мере развития науки и техники методы определения показателей физико-технических свойств пород и оценки инженерно-геологических условий строительства будут изменяться, совершенствоваться, и работы станут более дешевыми. В связи с этим изменится и комплекс методов, применяемых на разных стадиях, циклах и этапах инженерно-геологических исследований.

### **§ 31. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ ПОРОД**

Определение системы опробования сводится к выбору метода инженерно-геологической оценки массива горных пород и установлению количества и мест отбора проб.

#### **1. Выбор метода инженерно-геологической оценки массива горных пород**

Как отмечалось выше, выбор метода инженерно-геологической оценки массива пород зависит от цикла и этапов инженерно-геологических исследований, что определяется целью работ и возможностями с помощью метода получить необходимые данные в конкретных природных условиях. Действительно, не имеет смысла, например, применять статистический или механико-математические методы при инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 500 000, так как это не соответствует задачам съемки и невозможно из-за отсутствия сведений о типе, конструкции и размещении сооружений, кроме того, это требует больших неоправданных затрат средств и времени. Однако применение для этих целей косвенного метода и метода инженерно-геологических аналогий оправдано как с технической, так и с экономической точек зрения.

Выбрать наиболее рациональные методы инженерно-геологической оценки массивов пород можно только в том случае, когда известна цель исследования и создана рабочая гипотеза об инженерно-геологических условиях изучаемого района. Сами методы оценки и условия их применения были описаны выше.

## 2. Определение количества проб и выбор мест их взятия

Исходя из описанных выше основных закономерностей инженерно-геологической изменчивости пород и из сложившейся практики, в настоящее время могут быть применены четыре способа определения необходимого количества проб: 1) нормативный; 2) приближенно-статистический; 3) интерполяции и экстраполяции; 4) контрольный.

Нормативный способ основан на использовании рекомендаций, помещенных в инструкции и методических пособиях, принятых для руководства различными ведомствами, основанных на практическом опыте и не имеющих какого-либо теоретического обоснования.

В этих инструкциях и методических пособиях содержатся следующие рекомендации:

1) следует отбирать геологические (документационные) образцы через 1—0,5 м из однородных по внешнему виду пластов значительной мощности, чаще из пластов, имеющих мощность меньше 1 м;

2) для определения показателей инженерно-геологических свойств пород отбирать от 10 до 30% проб от общего числа геологических образцов в зависимости от цели, сложности инженерно-геологических условий и ответственности сооружений; для определения количества проб в зависимости от сложности условий и ответственности сооружений не приводится никаких критериев.

Нормативный способ определения количества инженерно-геологических проб чрезвычайно прост, но имеет следующие недостатки:

а) он позволяет приблизительно определять интервалы проб, но не дает рекомендаций по определению шага опробования, а следовательно, и по размещению в плане горно-буровых выработок;

б) рекомендуемое в различных инструкциях и методических руководствах количество проб весьма изменчиво, неопределенно (от 10 до 30% от количества документационных образцов), а в целом ряде случаев и неоправданно велико.

Приближенно-статистический способ применим только в следующих случаях:

1) когда инженерно-геологическая изменчивость пород имеет скачкообразный незакономерный (по правилу «пилы») характер;

2) когда на ограниченном участке закономерная (региональная или временная) изменчивость может быть принята за незакономерную (по правилу «пилы»).

Для установления типа изменчивости используют три приема, каждый из которых может иметь самостоятельное значение или дополнять друг друга.

Первый прием основан на изучении истории геологического развития района, физико-географических условий образования осадка и его дальнейших изменений. Для этой цели в геологии разработаны соответствующие методы и мы на них останавливаться не будем. Отметим только, что способ базируется на вполне доказан-

ном положении зависимости инженерно-геологических свойств пород от геологических факторов.

Второй прием основан на изучении показателей свойств пород, полученных предыдущими исследованиями для сопредельных с изучаемым районом, имеющих такое же геологическое строение. Если такие данные окажутся в достаточном количестве, то, анализируя изменения показателей свойств пород в различных направлениях и по глубине, можно установить тип, характер и направления изменчивости показателей физико-технических свойств пород.

Особенно хорошие результаты дает сочетание второго приема с первым, т. е. те случаи, когда тип изменчивости может быть подтвержден анализом геологических факторов.

Третий прием заключается в определении показателей свойств пород на опытных участках, организуемых на изучаемой территории. В этом случае на ограниченном участке проходят два-три створа горно-буровых выработок, отбирают пробы для определения простейших показателей свойств пород, по которым и устанавливают тип и направление изменчивости.

Количество створов и число горно-буровых выработок окажется значительно меньше, если в процессе инженерно-геологической съемки будут изучены характер и направление изменений основных геологических породообразующих факторов, например направление движения ледника, течения потоков ледниковых вод, ветрового переноса материала и т. п.

Приближенно-статистический способ основывается на двух уже известных положениях:

- 1) обобщенное (среднее) значение показателя физико-технических свойств пород характеризует весь инженерно-геологический элемент;
- 2) практически приемлемое обобщенное значение показателя может быть получено по ограниченному количеству (индивидуальных) частных значений показателей.

Если в процессе предшествующих инженерно-геологических исследований в разрезе были выделены инженерно-геологические элементы, то решение задачи сводится к определению:

а) допустимой величины отклонения обобщенных значений от генерального среднего значения показателя;

б) количества частных значений прямых показателей, достаточного для вычисления достоверного обобщенного (среднего) значения показателя;

в) мест взятия проб.

Установить количество частных значений показателей, достаточное для вычисления достоверного обобщенного значения показателя, можно опытным путем.

В табл. 23 и на рис. 78, 79, 80 приведены данные, полученные Н. Н. Ивановой, показывающие оптимальное количество частных значений показателей, необходимое для вычисления достоверного обобщенного значения некоторых показателей физико-технических свойств различных генетических типов пород.



**Оптимальное количество определений показателей  
физико-технических свойств различных генетических типов пород**

| Генетические типы пород  | Естественная изменчивость | Коэффициент дисперсности | Число пластичности | Коэффициент хрупкости | Величина сцепления |
|--|---------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Лёссовые породы, слой II, с. Бесславка Белгородской обл. . . . . | 4—8 *                     | 4—8                      | —                  | —                     | —                  |
| То же, с. Лебимовка Херсонской обл. . . . .                      | 5—10                      | 5—20                     | 5—20               | —                     | —                  |
| То же, слой III . . . . .  | 5—10                      | 5—10                     | 5—10               | —                     | —                  |
| Лёссовые породы, район Новочеркасска . . . . .                   | 6—12                      | 6—6                      | 6—6                | —                     | —                  |
| Лёссовые породы, слой II, район Днепронетровска . . . . .        | 9—18                      | 9—9                      | 9—18               | —                     | —                  |
| Лёссовые породы, район Одессы . . . . .                          | 10—21                     | 10—10                    | 10—10              | —                     | —                  |
| Лёссовые породы, слой I, район Херсона . . . . .                 | 5—10                      | 5—10                     | 5—5                | 5—10                  | 5—25               |
| То же, слой II . . . . .   | 6—12                      | 6—12                     | 6—6                | 12—12                 | 6—12               |
| Моренные суглинки, район Ленинграда . . . . .                    | 7—7                       | 7—13                     | 7—7                | 7—13                  | 13—13              |
| Моренные суглинки, район с. Митасово Калужской обл. . . . .      | 8—8                       | 8—30                     | 8—30               | —                     | —                  |
| Моренные суглинки, район Москвы . . . . .                        | 6—12                      | 6—6                      | 6—6                | 12—12                 | 12—12              |
| Флювиогляциальные суглинки, район Москвы . . . . .               | 12—18                     | 12—18                    | 6—6                | 6—12                  | 12—12              |
| Моренные суглинки, район Москвы . . . . .                        | 6—12                      | 6—6                      | 6—20               | 6—12                  | 6—25               |
| Хвалыцкие глины, район Волгограда . . . . .                      | 10—5                      | 10—10                    | 10—5               | —                     | —                  |
| Хазарские глины, впадина Воли . . . . .                          | 5—15                      | 10—15                    | 5—10               | 10—15                 | 10—20              |
| Бакинские глины, впадина Воли . . . . .                          | 6—6                       | 12—6                     | 20—20              | 6—20                  | 20—20              |
| Майкопские глины, район Волгограда . . . . .                     | 8—17                      | 6—8                      | 8—6                | 17—17                 | 17—17              |
| Оксфордские глины, район Москвы . . . . .                        | 13—13                     | 13—13                    | 13—13              | 18—25                 | 25—18              |
| Глинистые породы карбона, район Москвы . . . . .                 | 15—15                     | 15—15                    | 10—20              | 10—10                 | 20—10              |
| Минимум . . . . .  | 4—5                       | 4—5                      | 5—5                | 5—10                  | 5—10               |
| Максимум . . . . .   | 15—18                     | 15—50                    | 20—30              | 18—25                 | 25—25              |

\* Первая цифра — оптимальное количество определений, установленное по отклонению от генерального среднего значения показателя;  
 вторая цифра — оптимальное количество определений, установленное по отклонению от коэффициента изменчивости генеральной выборки.

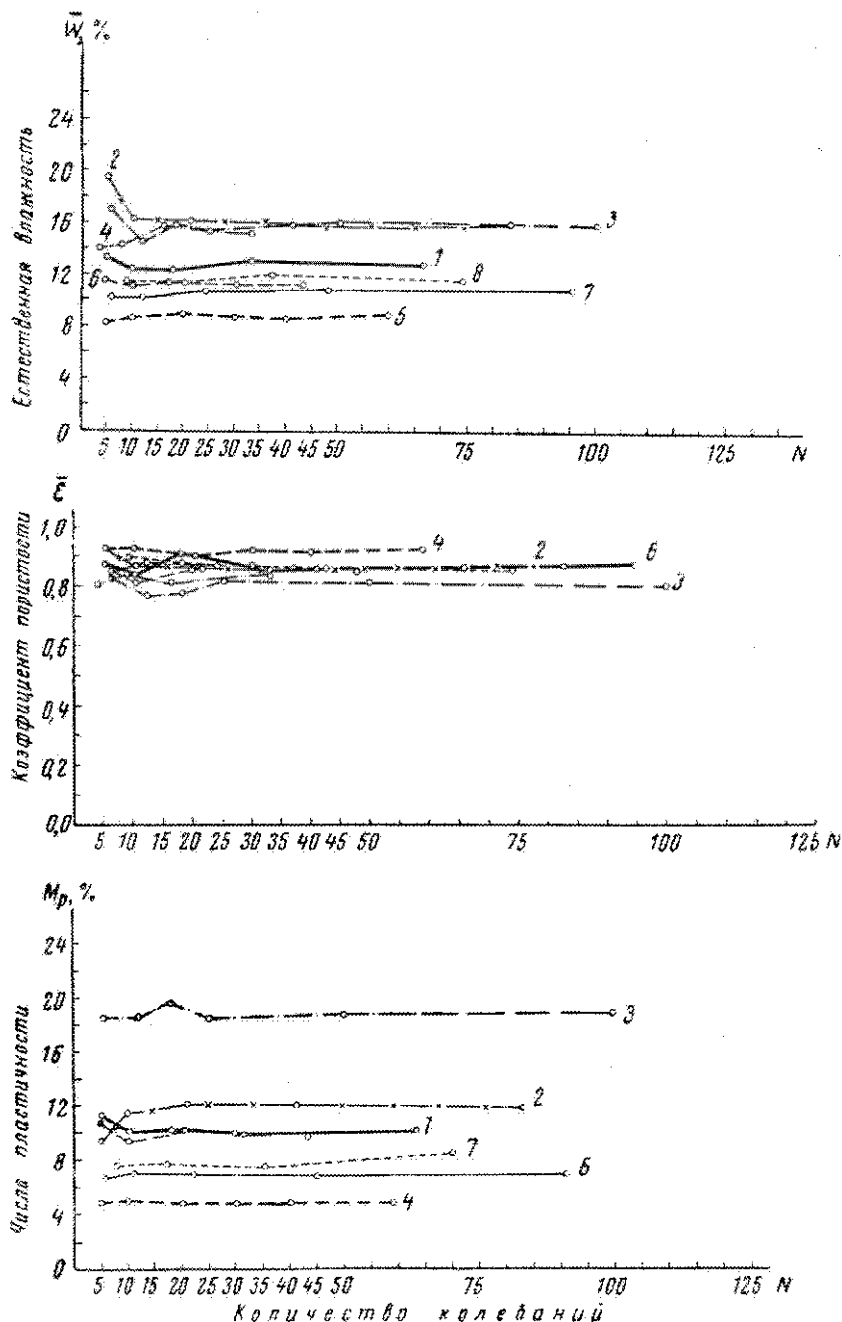


Рис. 78. Графики зависимости среднего значения естественной влажности, пористости и числа пластичности дёссовых пород от количества определений.

Дёссовые породы *сод-дQ* III:

1 — суглинки, слой I (г. Херсон); 2 — суглинки (г. Одесса); 3 — глины и суглинки (г. Новочеркасск); 4 — суглинки, слой II (с. Бессоновка Восточной обл.); 5 — супесь, слой II, шурф 20 (с. Любимовка Херсонской обл.); 6 — суглинки, слой III, шурф 20 (с. Любимовка Херсонской обл.); 7 — супесь и суглинки, слой II (г. Херсон); 8 — суглинки и супесь, слой II (г. Днепропетровск)

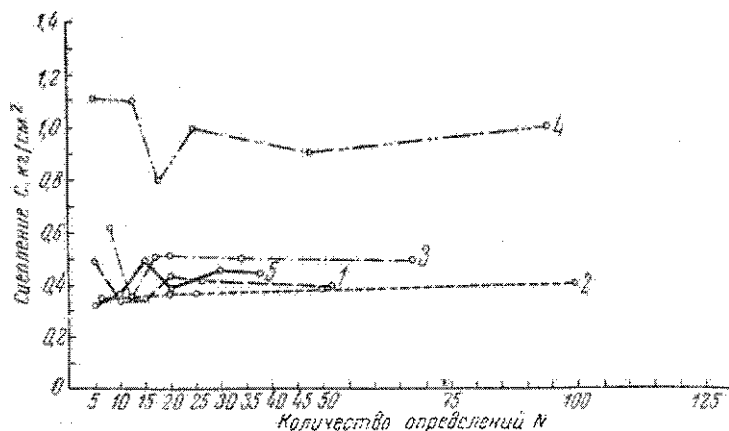
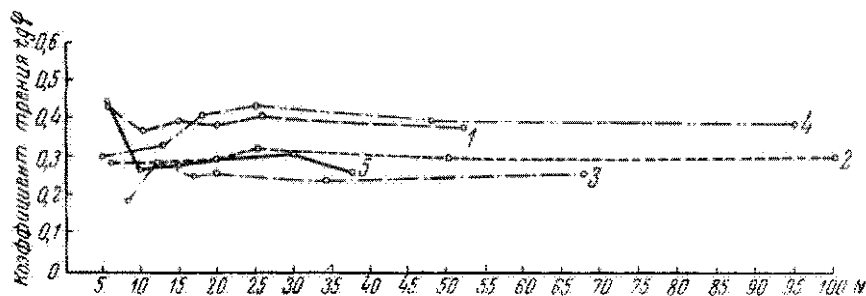
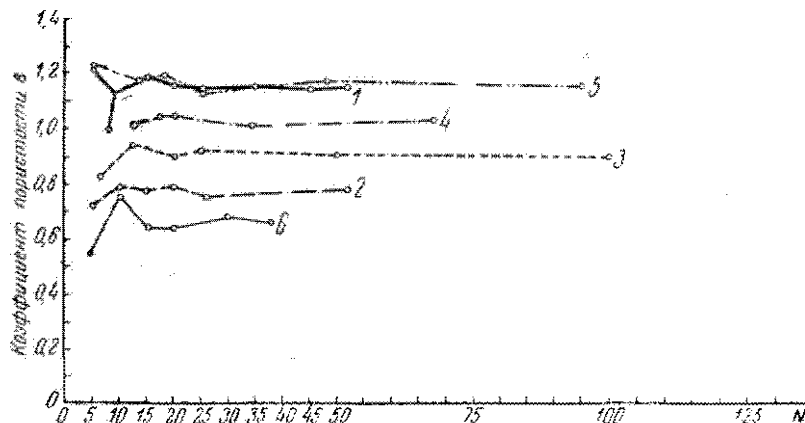


Рис. 79. Графики зависимости среднего значения коэффициентов пористости и трения и величины сцепления от количества определений для ледниковых отложений

1 — моренные суглинки каляйского оледенения (г. Ленинград); 2 — моренные суглинки московского оледенения (Московская обл.); 3 — моренные суглинки московского оледенения (Калужская обл.); 4 — флювиогляциальные суглинки единцового межледникового (Московская обл.); 5 — моренные суглинки днепровского оледенения (Московская обл.)

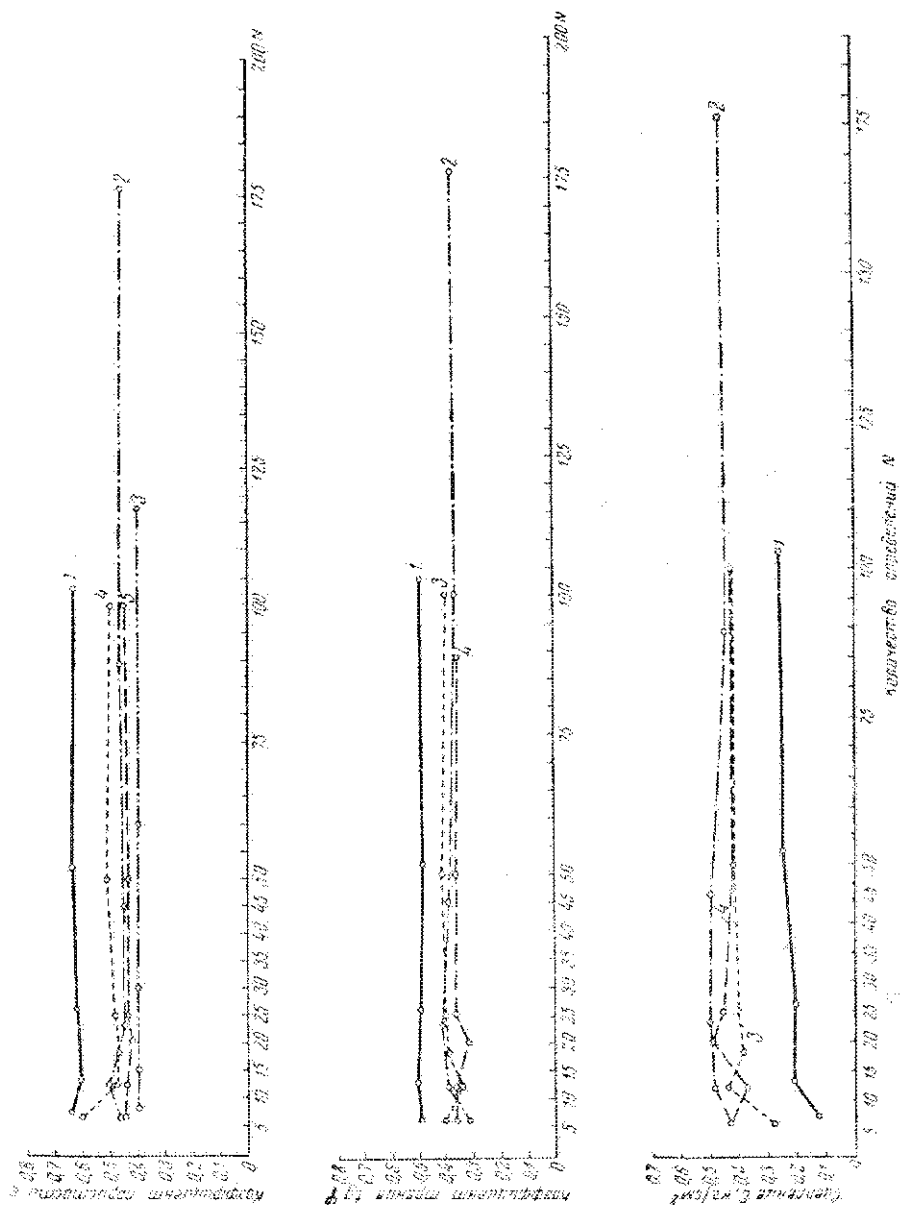


Рис. 80. Графики зависимости среднего значения коэффициентов пористости и трения и величин сдвига от количества определений для танкетных морских отложений

[illegible]

Данные, приведенные в табл. 23, получены следующим образом. Для слоев пород, однородных по генезису и литологическому составу, были получены выборки значений показателей (до 374 значений для одного слоя), которые и приняты за генеральные совокупности. По ним вычислены генеральные средние значения показателей. Затем из этих выборок отброшено 50% величин (случайных), подсчитано среднее для оставшихся 50% частных значений показателей и проведено их сравнение с генеральным средним значением показателя. Если практическая разница между двумя этими величинами не наблюдалась, то из оставшихся 50% частных значений отбрасывалось еще 50% случайных и для оставшихся опять вычислялось среднее значение показателя. Выборки были уменьшены до пяти частных значений в каждой. В уменьшенной таким образом выборке вычислялось среднее значение показателя, показатель изменчивости (отношение среднеквадратического значения показателя к среднеарифметическому), а также строились кривые распределения. Рациональным (оптимальным) количеством частных (индивидуальных) значений, т. е. таким, которое обеспечивает вычисление надежного среднего, считалось количество, при котором удовлетворялись три следующие условия:

- 1) вычисленное по данной выборке среднее значение показателя отклонялось от генерального среднего (за генеральную выборку принимались имеющиеся максимальные выборки, насчитывающие для разных пород от 60 до 374 членов) в допустимых пределах;

- 2) показатели изменчивости существенно не отличались от показателей изменчивости выборки, принимаемой за генеральную;

- 3) полученная кривая распределения существенно не отклонялась от кривой нормального распределения.

За допустимый предел отклонения средних значений, вычисленных по оптимальному числу определений (оптимальная выборка), от генерального среднего значения принималась допустимая разница между параллельными определениями показателя, принятая современной практикой лабораторных исследований. Результаты описанных выше опытов позволили сделать следующие выводы.

1. Рациональное число определений (проб) зависит от условий образования и последующих изменений пород, а также от характера показателя.

2. Рациональное число определений (проб) для простейших показателей (влажности, пластичности, объемного веса) не превышает 30, а у некоторых пород достигает 10.

3. Рациональное число определений (проб) для прямых показателей (сцепление, коэффициент трения, модуль сжимаемости) различных пород колеблется от 18 до 30.

Не считая приведенные данные исчерпывающими, все же можно рекомендовать их для практического использования. В настоящее время с этой точки зрения различные генетические типы пород еще не изучены, а увеличение рационального числа определений сверх 30 является, по-видимому, редким случаем, поэтому для всех пород,

обладающих незакономерной (по правилу «штыля») инженерно-геологической изменчивостью, можно рекомендовать отбирать 25—30 проб для вычисления обобщенных значений показателей. Возможно, что при дальнейшем изучении удастся установить оптимальные количества проб для каждого генетического типа пород.

Из приведенных выше соображений вытекает и способ размещения горно-буровых выработок. Действительно, в соответствии с положениями математической статистики для вычисления среднего значения того или иного показателя необходимо размещать горно-буровые выработки так, чтобы они обеспечивали равномерное, но незакономерное (не по геометрически правильным сеткам или линиям) распределение мест отбора проб по всему изучаемому инженерно-геологическому элементу, т. е. интервал и шаг опробования должны быть неодинаковы по величине.

Естественно, что в каждом конкретном случае количество, глубина и тип горно-буровых выработок будут различны. Это различие будет определяться:

1) сферой воздействия сооружения на горные породы, поскольку площадь размещения и глубина выработок будут определяться размерами и формой этой сферы;

2) типом и конструкцией сооружения, так как в зависимости от типа сооружения изменится расчетная инженерно-геологическая схема основания сооружения, а следовательно также число и качество инженерно-геологических элементов, для которых необходимо получить показатели инженерно-геологических свойств пород.

Способ интерполяции и экстраполяции можно использовать для практических целей при соблюдении следующих условий:

1) при наличии закономерной инженерно-геологической изменчивости пород;

2) при наличии данных о физико-технических свойствах изучаемых пород в сопредельных районах.

Действительно, если, например, изменение значений данного показателя между двумя точками можно графически изобразить прямой (или близкой к ней) линией, то значение показателя в промежутке между этими точками можно вычислить, интерполируя данные, полученные в этих двух точках. На том же основании можно получить значение показателя для изучаемого пласта, экстраполируя данные, имеющиеся по двум точкам, за их пределы. Так, например, на кафедре инженерной геологии Московского геологоразведочного института (И. Н. Иванова, Е. Н. Дрюк) были проведены следующие опыты.

На площади сплошного распространения лёссовых пород близ селений Изни и Бессоновки в Белгородской области были выбраны два опытных участка, находившихся на расстоянии примерно 80 км один от другого, и для них получены средние значения показателей физико-технических свойств лёссов. На основании интерполяции были вычислены значения этих показателей для района с. Яковлевки, расположенного между этими двумя пунктами. Последующая про-

верка на опытном участке в районе Яковлевки подтвердила данные интерполяции. Этот способ применим для предварительных расчетов.

**Контрольный способ**<sup>1</sup>. Сущность способа сводится к проверке достаточности количества определений показателей свойств пород, при котором обеспечивается получение обобщенного показателя свойств с заранее заданной надежностью. Способ контроля необходимого количества определений того или иного показателя физико-технических свойств пород, основанный на использовании приемов математической статистики, был предложен Н. С. Комаровым и усовершенствован Г. К. Бондариком. Ниже приводится описание варианта метода, разработанного Г. К. Бондариком.

Предлагаемый метод контроля базируется на последовательном анализе, разработанном А. Вальдом. Отличие его от других методов проверки статистических гипотез, основанных на заданном постоянном числе наблюдений, заключается в том, что количество наблюдений, которые нужно провести, заранее неизвестно. Необходимое количество наблюдений (в нашем случае количество определений значений показателя) проверяется всякий раз после окончания очередного эксперимента. В зависимости от результатов проверки принимается одно из следующих решений:

1) прекратить дальнейшие испытания, поскольку данных всех проведенных (включая и последний) экспериментов достаточно для получения обобщенного значения показателя с заданной надежностью и вероятностью;

2) продолжить испытания, так как имеющиеся данные не позволяют решить вопрос о количестве опытов;

3) прекратить испытания, поскольку разброс результатов проведенных экспериментов превышает заданную или принятую максимальную величину разброса (например, среднего квадратического отклонения) и не обеспечивает нужной точности вычисления среднего значения при принятой вероятности допущения ошибки<sup>2</sup>.

Пусть  $X_i$  — результат одного эксперимента. Проверим гипотезу о том, что среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  (неизвестная величина) переменной величины  $X_i$  не превышает заданного значения  $\sigma^1$ . Если среднее квадратическое отклонение окажется больше  $\sigma^1$ , то, следовательно, испытания не обеспечивают получения среднего значения показателя с нужной точностью. Если же величина среднего квадратического отклонения точно соответствует заданной, т. е. если  $\sigma = \sigma^1$  или  $\sigma < \sigma^1$ , то можно считать, что среднее значение показателя получено с достаточной степенью точности.

Дальнейшие действия по установлению оптимального количества испытаний сводятся к следующему.

Задаются двумя величинами  $\sigma$  и  $\sigma_1$  так, чтобы они удовлетворяли следующим неравенствам  $\sigma_0 < \sigma^1$  и  $\sigma_1 > \sigma^1$ . Квалификация данных

<sup>1</sup> Раздел составлен Г. К. Бондариком.

<sup>2</sup> Здесь и ниже для краткости наряду с выражением «испытания, не обеспечивающие необходимой точности вычисления среднего значения» употребляется выражение «испытания неточные».

испытаний как не обеспечивающих достаточной точности вычисления среднего считается ошибкой при  $\sigma \leq \sigma_0$ , а квалификация данных испытаний как удовлетворяющих условиям задания считается ошибкой при  $\sigma \geq \sigma_1$ . В соответствии с определением А. Вальда допустимый риск принятия неверного решения применительно к рассматриваемому случаю контроля можно охарактеризовать следующим образом. Вероятность квалификации результатов испытаний как неточных не должна превышать заданной малой величины  $\alpha$ , когда  $\sigma \leq \sigma_0$ , а вероятность квалификации результатов испытаний как удовлетворительных не должна превышать заданной малой величины  $\beta$ , когда  $\sigma \geq \sigma_1$ .

До начала испытания задаются величинами  $\sigma_0$  и  $\sigma_1$ , а также значениями  $\alpha$  (вероятность ошибки признать результаты испытаний неточными, когда  $\sigma \leq \sigma_0$ ) и значениями  $\beta$  (вероятность ошибки признать результаты испытаний удовлетворительными, когда  $\sigma \geq \sigma_1$ ). Значения  $\alpha$  и  $\beta$ , представляющие собой вероятности ошибок, по сути дела определяют достоверность правильности контроля ( $1 - \alpha$  и  $1 - \beta$ ). Наиболее часто значения  $\alpha$  и  $\beta$  принимают в диапазоне величин от 0,01 до 0,05.

Для каждого значения  $m$  ( $m$  — номер испытания: 1, 2, 3, ...,  $m$ ) вычисляют приемочное число

$$a_{m-1} = \frac{2 \ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}} + (m-1) \frac{\ln \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2}}{\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}}; \quad (1)$$

и браковочное число

$$r_{m-1} = \frac{2 \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}} + (m-1) \frac{\ln \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2}}{\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}}. \quad (2)$$

Величины  $a_{m-1}$  и  $r_{m-1}$  не зависят от исхода испытаний и могут быть вычислены заранее, до начала контроля.

Проверку, а следовательно, и испытания продолжают до тех пор пока

$$a_{m-1} < \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 < r_{m-1}, \quad \text{где } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_m}{m}.$$

Практически после каждого очередного испытания вычисляют накопленную сумму квадратов отклонений и сравнивают ее со значениями  $a_{m-1}$  и  $r_{m-1}$ . Как только величина  $\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2$  окажется за пределами значений  $a_{m-1}$  и  $r_{m-1}$ , проверку прекращают.

Если после последнего этапа испытаний окажется, что  $\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \leq a_{m-1}$ , то результаты классифицируются как удовлетвори-



тельные, обеспечивающие принятую точность вычисления обобщенного показателя, если же  $\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \geq r_{m-1}$ , то результаты являются неточными для принятых уровней надежности  $\alpha$ ;  $\beta$ .

Для этой проверки очень удобен графический способ. На графике по оси абсцисс откладывают  $m$  (число испытаний), а по оси ординат сумму квадратов отклонений (рис. 81). Приемочное и браковочное числа являются линейными функциями, поэтому точки  $(m, a_m)$  будут лежать на прямой линии  $L_0$ , а точки  $(m, r_m)$  на прямой  $L_1$ .

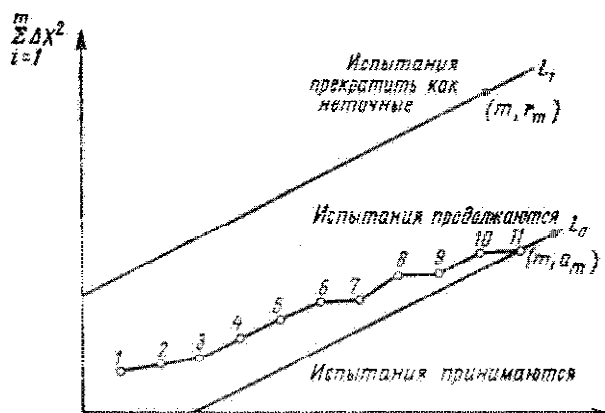


Рис. 81. Графический способ осуществления последовательного контроля (по Г. Я. Бондаренку)

Линии  $L_0$  и  $L_1$  параллельны; для обеих этих линий угловой коэффициент равен  $\ln \frac{\frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2}}{\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}}$ , а свободные члены в уравнениях 1

и 2 соответственно равны:  $\frac{2 \ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}}$  и  $\frac{2 \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}}$ .

График с линиями  $L_0$  и  $L_1$  строится до начала проверки. В процессе контроля на него наносят точки  $\left[ m, \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \right]$ . Проверку прекращают как только точка выйдет за пределы области, ограниченной параллельными прямыми  $L_0$  и  $L_1$ . Если точка  $\left[ m, \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \right]$  попадет ниже линии  $L_0$ , то результаты испытаний можно квалифицировать как удовлетворительные, если она окажется выше ли-

или  $L_{11}$ , то результаты испытаний нельзя признать точными, вернее дающими возможность подсчитать среднее значение показателя при выбранных значениях  $\sigma_0$  и  $\sigma_1$ , а также вероятностях ошибок  $\alpha$  и  $\beta$ .

Величины вероятностей этих ошибок устанавливаются в зависимости от стадии исследования и класса капитальности сооружения, чем более ответственное сооружение и более поздняя стадия изысканий, тем меньше значения  $\alpha$  и  $\beta$ . Значения  $\sigma_0$  и  $\sigma_1$  определяются с учетом опыта лабораторных исследований данного генетического типа пород, степени их однородности и выдержанности по исследуемому показателю свойств.

Применение последовательного критерия отношений вероятностей при лабораторных испытаниях пород в инженерно-геологических целях дает возможность существенно снизить количество экспериментов. По данным А. Вальда, при значениях  $\alpha$  и  $\beta$  в пределах от 0,01 до 0,05 применение последовательного критерия дает выигрыш в числе наблюдений не менее чем на 47—50% по сравнению с обычными критериями, основанными на заданном постоянном числе испытаний. При дорогостоящих испытаниях, какими являются, например, испытания деформативных или прочностных свойств горных пород, использование предложенного способа контроля дает ощутимую экономию средств при сохранении достоверности полученного значения обобщенного показателя и его точности.

## § 32. ОТБОР ПРОБ

Требования, предъявляемые к пробам пород, испытываемым в полевых условиях, описаны при разборе полевых методов исследования. Здесь мы остановимся лишь на требованиях, предъявляемых к пробам, взятым из горных и буровых выработок.

Отбор проб является важной операцией, во многом определяющей правильность конечных результатов опробования и оценки инженерно-геологических условий строительства сооружений. При отборе проб следует уделять особое внимание правильному выбору метода отбора и технических приемов их отбора.

### 1. Методы отбора проб

В настоящее время в практике геологоразведочного дела и частично в инженерно-геологической практике применяются несколько методов отбора проб.

Точечный метод заключается в том, что из керна, с бурового наконечника, из стенки или дна выработки отбирается небольших размеров проба с нарушенной или сохранной структурой для определения показателей физико-технических свойств пород. Проба, подвергающаяся анализу, имеет ничтожно малый объем по сравнению с изучаемым массивом пород, и следует считать, что она характеризует только данную точку массива. По существу даже в тех случаях, когда отбирается монолит породы размерами

20 × 20 × 20 см, из него берут пробу незначительного размера, которую и подвергают испытанию в лаборатории.

К точечному методу, очевидно, нужно отнести и пенетрацию, так как и в этом случае испытанию подвергается объем пород незначительных размеров. Точечный метод опробования широко распространен в практике инженерно-геологических исследований, вероятно, также потому, что его можно использовать при проходке горных и буровых выработок любого типа.

Результатом такого опробования являются довольно резко отличающиеся друг от друга значения показателей, которые в дальнейшем «обобщаются», т. е. обрабатываются с помощью методов математической статистики с целью получения значения показателя, характеризующего весь изучаемый массив горных пород.

Все остальные методы, описанные ниже, дают возможность получать среднее значение показателя, характеризующее весь массив пород, составляющих пробу.

Монолитный метод также часто применяется в практике инженерно-геологических исследований. Он заключается в испытании проб пород с ненарушенной структурой и естественной влажностью, имеющих значительный объем. Результаты испытания характеризуют уже не отдельную точку массива пород, а некоторую, иногда значительную его часть.

Размеры монолита колеблются в широких пределах. Так, например, компрессионные приборы конструкции ДИИТ приспособлены для испытания монолитов диаметром 30 см, полевые определения сопротивления пород сдвигающим усилиям можно производить для монолитов до 1—2 м<sup>2</sup>, приборы для испытания пород опытными нагрузками имеют штампы до 1 м<sup>2</sup>. В отдельных случаях в инженерно-геологической практике испытанию подвергались и еще большие объемы горных пород.

Описанный метод отбора проб требует проходки горных и буровых выработок большого сечения, иногда отбор проводят непосредственно в выработке.

Бороздовый метод заключается в отборе породы из борозды, на всем протяжении выдержанной по размерам. Борозда может проходить как вкрест простирания, так и по простиранию породы. Взятую из борозды породу квартуют, а затем передают в лабораторию для определения содержания интересующего компонента. Полученное содержание можно рассматривать в этом случае как среднее для всего участка массива, опробованного бороздой. Таким образом, уже сам метод опробования дает возможность получить до известной степени обобщенные результаты. Чтобы получить такой же результат с помощью точечного метода опробования, необходимо выполнить не одно, как при бороздовом опробовании, а полтора-два десятка определений.

Бороздовое опробование можно применять при определении среднего механического состава породы, ее естественной влажности, удельного веса, содержания гумуса, водорастворимых солей и т. д. При

строгом соблюдении постоянного размера борозды или применении заполнителя для измерения объема борозды этот метод используют для определения среднего значения объемного веса и пористости. С целью сохранения постоянного размера борозды применяют специальные пробоотборники с режком стандартного размера или борозду заполняют пластичным материалом, например пластилином, и затем измеряют объем заполнителя по объему воды, вытесненной из мерного сосуда.

Для проверки результатов бороздового опробования и выяснения его применимости для инженерно-геологических целей были проведены специальные экспериментальные исследования. В штольне, пройденной в правом берегу Волги (Нижнее Поволжье), была вскрыта песчано-алевритовая порода бучакского яруса палеогена. Отбор проб был произведен так, как это показано на рис. 82.

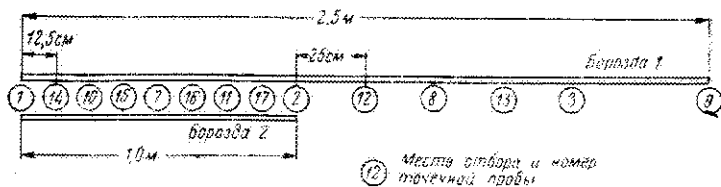
На протяжении 2,5 м через интервалы 12,5 и 25 см было отобрано 14 точечных проб. Затем были взяты две бороздовые пробы: борозда 1 длиной 2,5 м была проведена в стенке штольни выше области отбора точечных проб, борозда 2 длиной 1,0 м находилась ниже. Для каждой точечной и бороздовой проб были определены удельный вес и содержание  $\text{SiO}_2$ . Как видно на графиках рассеяния, изображенных на рис. 82, удельный вес по точечным пробам колеблется от 2,68 до 2,73 при среднем значении 2,69. Удельный вес по пробе из борозды 1 составил 2,69, а из борозды 2 2,70. Таким образом, наблюдается почти идеальное совпадение удельного веса, определенного по бороздовым пробам, со средним арифметическим, вычисленным по данным точечных проб. Для содержания  $\text{SiO}_2$ , колеблющегося от 6,1 до 11,7%, была также получена вполне удовлетворительная сходимость результатов. Отклонение от среднего значения по борозде 1 составило 0,8%, по борозде 2 0,1%.

Этот опыт подтверждает возможность применения бороздового метода отбора проб при определении таких показателей физико-технических свойств пород, которые не требуют сохранения естественной структуры.

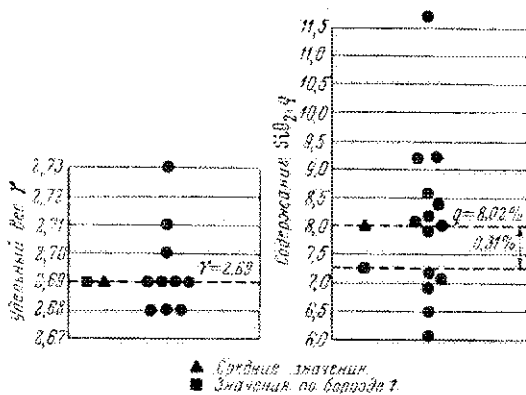
В строительном котловане, заложенном в толще покровных суглинков, пробы были взяты так, как это показано на рис. 83. Бороздовая проба имела длину 2,20 м. Объем борозды измерялся с помощью пластичного заполнителя, что позволяло определить по бороздовой пробе не только показатели, не требующие сохранения естественной структуры, но и объемный вес породы. Точечные пробы в виде 22 небольших монолитов были отобраны по обе стороны от борозды в шахматном порядке.

По бороздовой и точечным пробам определены: удельный вес, объемный вес, влажность, механический состав, показатели пластичности и карбонатность. Как видно на графиках рассеяния, изображенных на рис. 78, и в этом случае сходимость результатов, полученных по бороздовым пробам, и средних арифметических значений, вычисленных по точечным пробам, была вполне удовлетворительной. На рис. 84 приведены результаты аналогичных опытов

Тема отбора образов на сцене ширьма



Графики рассеяния значений удельного веса  $\gamma$  и содержания  $\text{SiO}_2$   
по точечным пробам  
ред базальтов 1



អាត់ ប្រាប់បងប្អូន ?

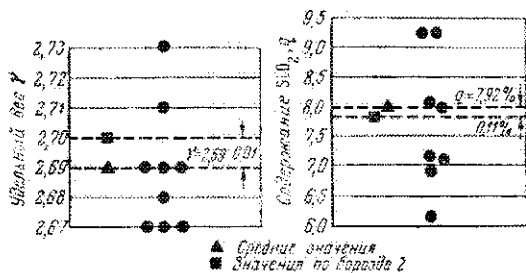
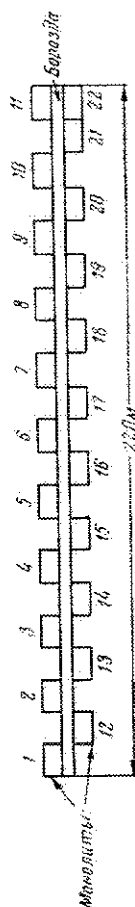


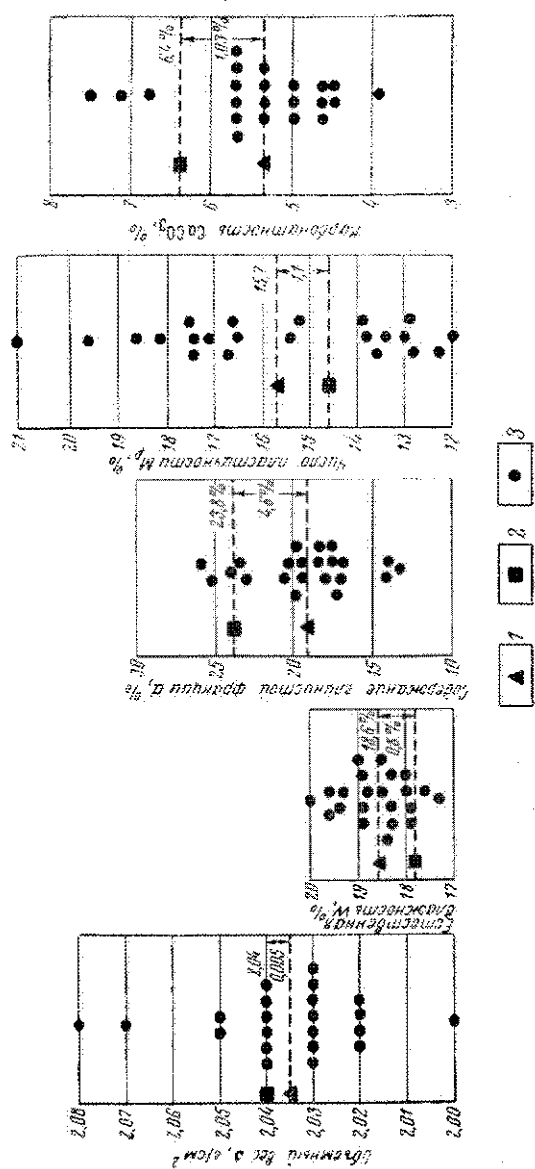
Рис. 82. Результаты сравнительного опробования песчано-алевритовых пород бучакского яруса (Нижнее Поволжье) бороздовым и точечным способами

Схема албара при необходимости суринка из латной ирригационной системы



Графики рассеяния значений показателей

Рис. 83. Результаты опробования накрывных суринков (Москва, Деинские горы) бороздовым и точечным способами



Н. А. Буделькова. Эти опыты подтвердили возможность применения бороздового опробования не только для определения показателей физических свойств породы с нарушенной структурой, но и некоторых свойств (объемный вес, пористость), которые при обычной методике определения требуют сохранения естественной структуры.

Для определения основных механических свойств пород — их сжимаемости и сопротивления сдвигу — метод бороздового опробования применим только для пород с нарушенной структурой, так как отбор бороздовых проб влечет за собой полное разрушение естественной структуры породы.

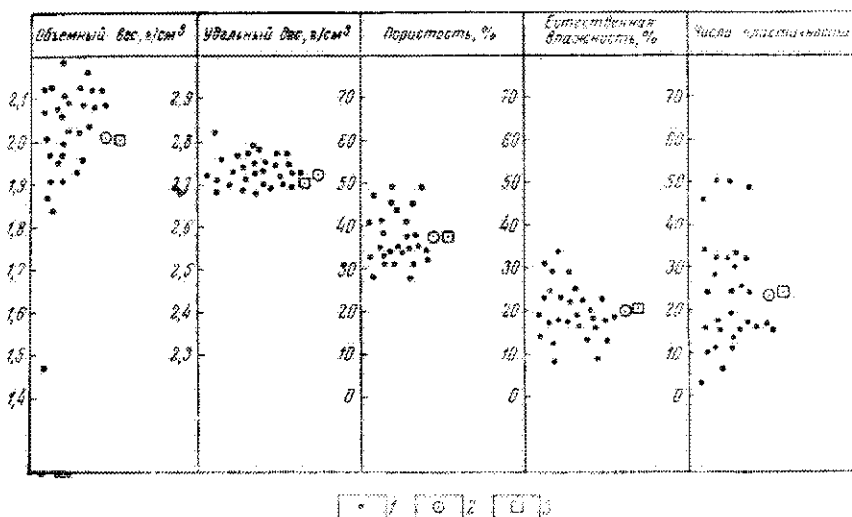


Рис. 84. Результаты опробования четвертичных глин Ленинградской области (по Н. А. Буделькову).

Значения: 1 — по точечным пробам, 2 — по бороздам длиной 1,25 м; 3 — средние; 4 — по борозде.

Метод бороздового опробования может быть с успехом использован при определении объемного веса, например для вычисления мощности активной зоны и давления пород на подпорные стенки, поскольку в этом случае требуется получить среднее значение объемного веса для всего массива пород. Выгодно его применять и при оценке содержания водорастворимых солей или органических веществ если они распределены в породе более или менее равномерно. Этот метод с успехом может быть применен при оценке инженерно-геологической изменчивости пород как по глубине, так и по простиранию. Выполнение такой проверки с помощью точечных проб потребовало бы значительно большего количества определений. Однако приведенными примерами не исчерпываются возможности применения бороздового метода отбора проб при инженерно-геологических исследованиях.

Задирковый метод опробования довольно широко используется в практике опробования месторождений полезных ископаемых, но еще не нашел применения при инженерно-геологических исследованиях. В этом случае в качестве пробы используют всю породу, снятую со всей стенки выработки или с ее дна на определенную глубину (5—20 см). В дальнейшем пробу сокращают тем или иным способом и направляют на анализ. Этот способ отбора проб является как бы промежуточным между бороздовым и валовым, надо думать, что в дальнейшем он найдет применение при инженерно-геологических исследованиях.

Валовой метод сводится к тому, что в качестве пробы используют всю извлеченную из выработки породу. Валовой метод применяется при опробовании месторождений полезных ископаемых, уже имеются правда, еще единичные, попытки применения его при инженерно-геологических исследованиях. Так, А. И. Шеко тоже применил этот способ при определении объемного веса, пористости и влажности щебнисто-глинистых оползневых накоплений южного берега Крыма, для которых неприменимы существующие в настоящее время способы определения этих показателей. А. И. Шеко отбирал всю породу из горной выработки и взвешивал ее до и после высушивания. Объем выработки, имевший весьма неровные стенки и дно, он измерял по объему воды, необходимому для заполнения выработки. Для того чтобы предотвратить впитывание воды в породу и утечку ее в трещины, стенки и дно выработки предварительно опрыскивали из пульверизатора раствором целлюлозы (обычной киноплетки) в ацетоне. Ацетон быстро (в течение минут) испарялся, стенки и дно выработки покрывались тонкой водонепроницаемой пленкой, которая практически не изменила объема горной выработки. Во Франции объем выработки также измеряют водой, но предварительно в горную выработку помещают тонкую резиновую пленку, которая растягивается при заполнении выработки водой и плотно прижимается к стенкам и дну выработки, повторяя все их неровности. При строительстве аэродрома в Шейфельде (Берлин, ГДР) использовался песок, насыпанный в резиновую пленку.

Но существу к валовому методу опробования относится также испытание пород пробными нагрузками, сдвиг крупных монолитов в шурфах и шахтах и т. п., при которых испытанию подвергаются значительные массивы горных пород.

Приведенные примеры показывают возможность применения валового метода опробования при инженерно-геологических исследованиях, но далеко еще не исчерпывают возможностей этого метода. Он особенно перспективен при определении значений показателей инженерно-геологических свойств неоднородных пород (выветрелые и раздробленные породы, щебнисто-глинистые образования и т. п.), для которых еще не разработаны другие методы определения этих показателей. Возможность применения того или иного метода отбора проб для инженерно-геологической оценки горных пород определяют следующие факторы.



1. Характер показателя и существующие методы его определения. Например, определить сопротивление сдвигающим усилиям пород с естественной структурой удастся только на монолитах пород, а определить средний механический состав пород можно при любом способе отбора проб. Принципиальная возможность применения различных методов отбора проб в зависимости от характера и существующих в настоящее время способов лабораторного определения того или иного показателя показана в табл. 24.

Таблица 24

Применимость различных способов отбора проб

| Показатель свойства породы                                       | Способ отбора * |                |                 |          |
|--|-----------------|----------------|-----------------|----------|
|  | точечный        | бурово-<br>вый | задирко-<br>вый | вазочный |
| Удельный вес . . . . .   | +               | +              | +               | +        |
| Размер и форма зерен . . . . .                                   | +               | +              | +               | +        |
| Объемный вес при нарушенной струк-<br>туре . . . . .             | +               | +              | +               | +        |
| Объемный вес при естественной<br>структуре . . . . .             | +               | +              | +               | +        |
| Влажность . . . . .  | +               | +              | +               | +        |
| Пластичность . . . . .   | +               | +              | +               | +        |
| Содержание солей . . . . .                                       | +               | +              | +               | +        |
| Содержание органических веществ . . . . .                        | +               | +              | +               | +        |
| Набухаемость при нарушенной струк-<br>туре . . . . .             | +               | +              | +               | +        |
| Набухаемость при естественной<br>структуре . . . . .             | +               | —              | —               | —        |
| Сопротивление раздавливанию . . . . .                            | +               | —              | —               | —        |
| Коэффициент фильтрации при нару-<br>шенной структуре . . . . .   | +               | +              | +               | +        |
| Коэффициент фильтрации при есте-<br>ственной структуре . . . . . | +               | —              | —               | —        |
| Прочность . . . . .  | +               | —              | —               | —        |
| Сдвигающее усилие при нарушен-<br>ной структуре . . . . .        | +               | +              | +               | +        |
| Сдвигающие усилия при естествен-<br>ной структуре . . . . .      | —               | —              | —               | —        |
| Сжимаемость при нарушенной струк-<br>туре . . . . .              | +               | +              | +               | +        |
| Сжимаемость при естественной струк-<br>туре . . . . .            | +               | —              | —               | —        |

\* Знак плюс показывает, что способ применим, знак минус — что он не применим.

Монолитный метод применим для определения тех же показателей, что и точечный.

Следует особенно подчеркнуть, что при усовершенствовании методов определения показателей свойств пород становится воз-

возможным применение до сих пор неиспользуемых методов отбора проб, таких, например, как бороздовый.

2. Цель определения показателя, связанная с характером распределения в породе напряжений, создаваемых сооружением. Например, при определении сопротивления сдвигу тонкого прослоя слабой породы, по которому может произойти сдвиг сооружения, допускается применение только точечного опробования и совершенно не допускается применение бороздового. Если показатель плотности пород — объемный вес — необходим для расчета давления на подпорные стенки, то наиболее целесообразно произвести бороздовое опробование.

3. Свойства и состояние горных пород. Например, для определения объемного веса сильно выветрелых пород, щебнисто-глинистых наклонений и других подобных типов пород единственным методом отбора проб является валовый метод (в модификации ГДР, А. И. Шeko и т. п.).

4. Тип горных выработок, что в известной мере связано со стадией исследований, так как на различных стадиях применяются и различные типы выработок. Например, в горных выработках, куда обеспечен непосредственный доступ человека, применимы любые методы отбора проб, но в буровых скважинах возможно применение ограниченных способов отбора проб, что связано с размерами выработки и способами ее проходки.

## 2. Технические приемы отбора проб

Технические приемы отбора проб определяются в зависимости от состава и состояния горных пород, типа горно-буровых выработок, целей инженерно-геологического опробования горных пород. Однако несмотря на значительную давность изучения вопроса о количестве технических способов отбора проб (например, в СССР имеется более 150 предложений конструкций грунтоносов), на Московском совещании по инженерно-геологическим свойствам пород и методам их изучения, проведенном в 1957 г., было отмечено отсутствие единого мнения по способам отбора проб, а на V Международном конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению (Париж, 1961 г.) разработка способов отбора проб с сохранением естественной структуры и влажности была признана первоочередной задачей.

Очень важен подбор таких технических средств и приемов, которые обеспечили бы получение пробы с ненарушенной структурой и естественной влажностью, поскольку получить такую идеальную пробу в настоящее время технически невозможно. Обычно стремятся получить пробу с наименьшим нарушением структуры и влажности, чтобы значения показателей инженерно-геологических свойств не давали практически больших отклонений по сравнению с породой, находящейся в условиях естественного залегания. Чтобы обеспечить указанные выше условия, необходимо знать возможные причины нарушения естественных структуры и влажности пород при отборе из них проб.

Горные породы являются естественноисторическими образованиями, сформировавшимися в результате длительных и сложных процессов осадкообразования, диатгенеза и эпигенеза. Естественно что, при извлечении пробы породы на нее воздействуют иные внешние условия, на которые порода реагирует изменением своего состояния. М. Н. Гольдштейн предложил схему (рис. 85), помогающую проследить изменения, происходящие в породе от ее образования до момента ее испытания. В процессе образования осадка происходит его уплотнение (компрессия), что отображается на графике отрезком кривой *ab*. При проходке выработки происходит разгрузка породы от веса лежащих выше пород (от так называемого бытового давления), снятие (особенно быстрое) напряжения сопровождается увеличением объема образца за счет нарушения структурных связей, частично необратимых (отрезок кривой *bc*). С момента извлечения пробы из выработки и до загрузки ее в прибор происходит дальнейшее уменьшение напряжения в породе, но без увеличения объема (прямая *сА*). Таким образом, проба, которая подвергается испытанию в приборе, отвечает не первоначальное природное напряженное состояние, а отличное от него и характеризуемое точкой *А* на компрессионной кривой.

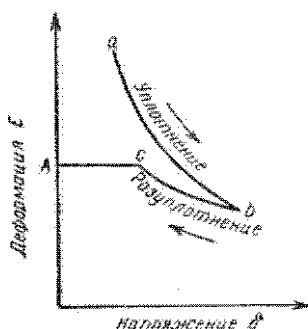


Рис. 85. Схема соотношения между величинами напряжения и деформаций пород (по М. Н. Гольдштейну)

В отличие от них первоначального состояния, пробы, подвергаемые испытанию в приборах и отвечающие напряженному состоянию, характеризуемому точкой *А* на компрессионной кривой, называют пробам с ненарушенной структурой. К сожалению, до настоящего времени не удалось разработать способы взятия проб с естественной структурой (отвечающих природному напряженному состоянию), не удалось также получить пробы с абсолютно ненарушенной структурой. Естественная структура и влажность искажаются еще причинами чисто технического характера и потому выбор технического приема отбора проб по существу сводится к подбору условий, в которых в наименьшей степени нарушается естественная структура и влажность породы.

Как показали многочисленные исследования, степень нарушения естественной структуры и влажности пород зависит от следующих факторов:

- 1) способа отбора пробы;
- 2) глубины и способа погружения снаряда;
- 3) диаметра снаряда и его длины;
- 4) конструкции снаряда, соотношения его диаметра и толщины;
- 5) величины рейсов проходки;
- 6) состава и состояния пород.

Различные конструкции приборов и разные способы отбора проб с ненарушенной структурой и влажностью обладают своими достоинствами и недостатками, определяющими условия их применения. Остановимся на разборе достоинств и недостатков только отдельных способов и на определении условий их применения, не касаясь конструктивно-технической стороны дела.

Существующие технические способы отбора проб пород можно разделить на две группы — отбора проб из открытых горных выработок и отбора проб из буровых скважин.

### 3. Способы отбора проб из открытых горных выработок

При отборе проб из открытых горных выработок применяются в основном два способа: ручной и с помощью режущих колец.

При ручном способе с помощью ножа, лопаты, молотка, кайла или пневматического молотка вырезают или выкалывают из породы, обнаженной в стенке или дне открытой горной выработки, монолит необходимых размеров. Таким способом отбирают пробы почти всех типов пород: рыхлых несвязных, рыхлых связных, полускальных и скальных.

Тип породы влияет только на выбор соответствующего инструмента. Из скальных пород монолит отбирают взрывным способом или с помощью пневматического молотка, из трещиноватых скальных и полускальных пород — с помощью молотка и зубила, из рыхлых пород — с помощью лопки и лопаты.

Обычно из породы постепенно с помощью того или иного инструмента вырезают куб. Для лучшей сохранности породы куб парафинируют или на него надвигают заранее заготовленную форму — деревянный, металлический или пластмассовый ящик. К этому приему прибегают при взятии проб из слабых рыхлых или выветрившихся пород, монолиты которых могут разрушиться от легких толчков.

Способ взятия монолита с помощью режущего кольца применим только для рыхлых пород. Он заключается в постепенном вырезании столбика породы и надвигании на него металлического кольца с острым режущим краем, которое надвигают равномерным давлением руки либо с помощью простых рычажных или винтовых прессов. Часть породы срезается режущим краем, и в кольцо входит столбик породы, нацело заполняющий внутреннюю его полость.

Оба эти способа позволяют отбирать монолиты необходимых размеров с высокой степенью сохранности естественной структуры и влажности, так как оператор в состоянии все время контролировать состояние монолита и соизмерять свои усилия с прочностью породы.

Недостатком этих способов является то, что они применимы только в открытых горных выработках (шахтах, шурфах, канавах и т. п.), которые не всегда целесообразно проходить по геологическим или экономическим соображениям.

#### 4. Способы отбора проб из буровых скважин

Для отбора проб пород из буровых скважин применяются снаряды различной конструкции, называемые грунтоносами.

Различают несколько типичных способов отбора проб пород из буровых скважин в зависимости от условий погружения снаряда: задавливания, забивной, вращательный, обруивающий, вибрационный.

**Способ задавливания грунтоноса.** При отборе проб пород этим способом используется цилиндрический грунтонос, который равномерно погружается в породу с помощью статической нагрузки. Такой грунтонос представляет собой тонкостенную трубу (корпус) с навинченными в нижней части башмаком, а в верхней — переходником на буровые штанги. Внутри корпуса помещен стакан, в котором обычно имеются разъемные или неразъемные тонкие жестяные гильзы. Прибор погружают на глубину 10—15 см. Для того, чтобы при подъеме из грунтоноса не выпала порода, применяют различные дополнительные устройства: башмак-наук, специальные затворы (зубчатые, лепестковые, диафрагменные), клапаны в верхней части прибора и т. п. Иногда с целью предохранения пробы от выпадения и вытекания из нее воды применяют замораживание пробы, закрепление ее битумами или глинистым раствором.

Считается, что образец породы наиболее полно сохранит естественную структуру, если будет соблюдено отношение

$$\frac{d_{\text{об.р.}}}{d_{\text{гр}}} \geq 0,85 - 0,9,$$

где  $d_{\text{об.р.}}$  — диаметр образца,

$d_{\text{гр}}$  — наружный диаметр грунтоноса.

Этот способ широко применяется как в СССР, так и за рубежом для отбора проб пластичных и полутекучих пород, однако возможность использования его для взятия проб других типов пород или пород, находящихся в других состояниях, еще не изучена.

**Способ забивки грунтоноса.** При отборе проб способом забивки тонкостенный цилиндр, оснащенный заостренным башмаком, погружается в породу ударами «бабы» весом до 150 кг с частотой ударов 20—30 в минуту. В СССР наиболее распространенным типом такого прибора является грунтонос А. М. Копачева (ГК-3), изображенный на рис. 86. Его наружный диаметр равен 127 мм, внутренний 110 мм, длина стакана 600 мм.

Многочисленные исследования показали, что при данном способе отбора проб происходит значительное нарушение структуры породы из-за сотрясений, обусловленных динамической нагрузкой.

Поэтому большинство исследователей рекомендуют применять грунтоносы такого типа только для отбора проб пород с нарушенной структурой.

**Вращательным способом** отбираются пробы пород с помощью колонкового, шнекового и ручного бурения. В наиболее простом

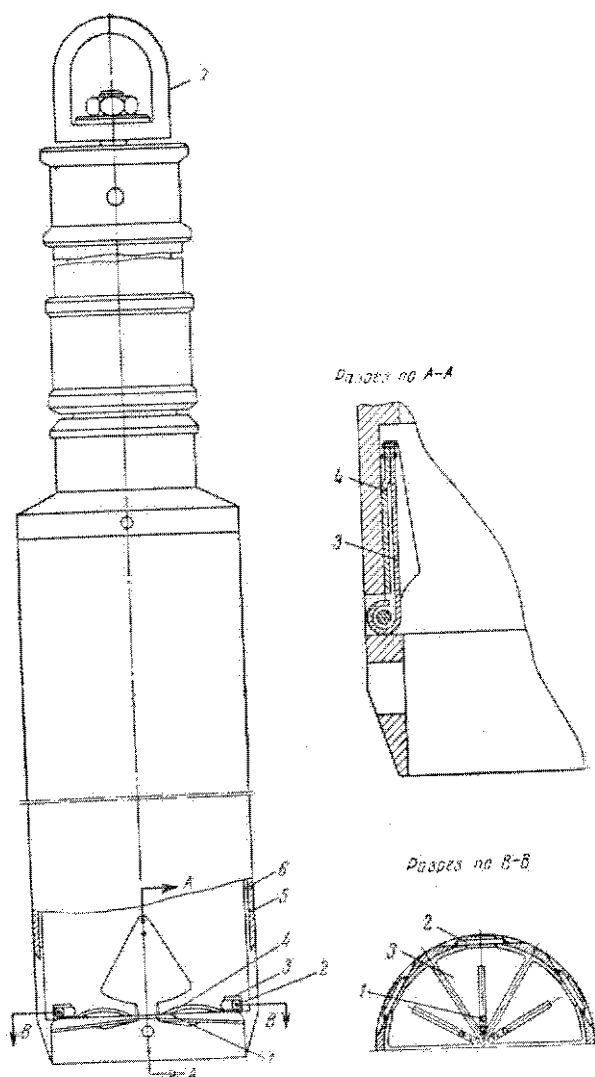


Рис. 86. Забивной грунтонос ГК-3 конструкции А. М. Коначева

1 — закладка; 2 — ось; 3 — клапаны; 4 — пружина; 5 — труба; 6 — корпус полугильзы; 7 — вертикальная пробка. Центральный клапан на фронтальной проекции условно показан в вертикальном положении

случае грунтонос представляет собой трубу (корпус) с разъемным или неразъемным внутренним тонкостенным стаканом. В верхней части корпуса имеется клапан, на нижней части — коронка. Вращение от бурового станка передается на корпус, коронка вырезает керн, который входит во вращающийся вокруг него вместе с корпусом стакан.

Опыт показывает, что наибольшую сохранность пробы обеспечивают грунтоносы с внутренним диаметром 130—160 мм при числе оборотов шпинделя 50—60 *об/мин* и при давлении снаряда на забой (бурение на весу) порядка 200 кг.

При колонковом бурении нарушение структуры и естественной влажности пробы вызывается применением промывки, вибрацией снаряда, которая возрастает при увеличении числа оборотов снаряда, и трением, возникающим между стенками снаряда и керном. Поэтому при инженерно-геологических изысканиях отбор проб часто осуществляется при бурении всухую. Однако при сухом способе проходки глин часто происходит скручивание и растягивание керна, процент выхода керна достигает 125%. Кроме того, скорость проходки пород всухую меньше, чем с применением промывки.

Отбор проб с помощью колонкового бурения наиболее эффективен для скальных, полускальных (например, мергели), плотных глинистых и мерзлых пород, причем каждый тип породы требует особого режима проходки. Обычные магазинные шнеки дают хорошие результаты при отборе проб в супесях и суглинках, но они почти все непригодны для опробования глин, песков и вообще песчаноглинистых пород, насыщенных водой.

**Способ обуривания.** Основная идея способа заключается в том, что исключается трение между стенками грунтоноса и керном.

Грунтонос состоит из корпуса, внутри которого имеется тонкостенный стакан. При внедрении грунтоноса в породу корпус вращается, обуривая столбик породы и поднимая выбуренную породу с помощью шнеков, расположенных на внешней стороне корпуса. В процессе обуривания стакан удерживается от вращения в нижней части за счет трения о породу, а в верхней — благодаря наличию шаровой пяты, и он как бы насаживается на выбуренный столбик породы. Для удобства извлечения керна в стакан вставляется тонкостенная разъемная гильза. В настоящее время имеется большое количество грунтоносов, работающих по описанному выше принципу. В качестве примера на рис. 87 приведена схема обуривающего грунтоноса конструкции ВСЕГИНГЕО.

Обуривающие грунтоносы применяются при отборе проб глинистых, песчаных, илистых пород и торфа. Однако в целом ряде случаев применение обуривающих грунтоносов не дает положительных результатов, что, по-видимому, связано с неудачным выбором режима работы и конструктивными особенностями различных грунтоносов этого типа.

**Вибрационный способ.** Сущность его заключается в том, что грунтоносу посредством вибратора через штанги сообщаются

импульсом (1200—1500 имп/мин).  
Б. М. Гуменский и И. С. Комаров, изучавшие процесс погружения снаряда в породы под влиянием вибрации, считают, что в процессе вибрации происходит перераспределение частиц в породе, часть физически связанной воды переходит в свободную, которая создает тончайшую пленку (смазку) между стенками грунтоноса и породой, благодаря чему облегчается внедрение снаряда в породу. После прекращения вибрации свободная вода опять переходит в связанное состояние. Зона, в пределах которой при погружении грунтоноса происходит изменение свойств пород под воздействием вибрации, не превышает нескольких миллиметров.

Мнение большинства исследователей сводится к тому, что вибрационный способ дает удовлетворительные результаты при отборе проб песчано-глинистых пород. Однако успешность опробования определяется правильным выбором методики отбора проб, изменяющейся в зависимости от состава и состояния пород.

В настоящее время имеются единичные рекомендации по выбору типа и режима работы снаряда в зависимости от естественных условий отбора

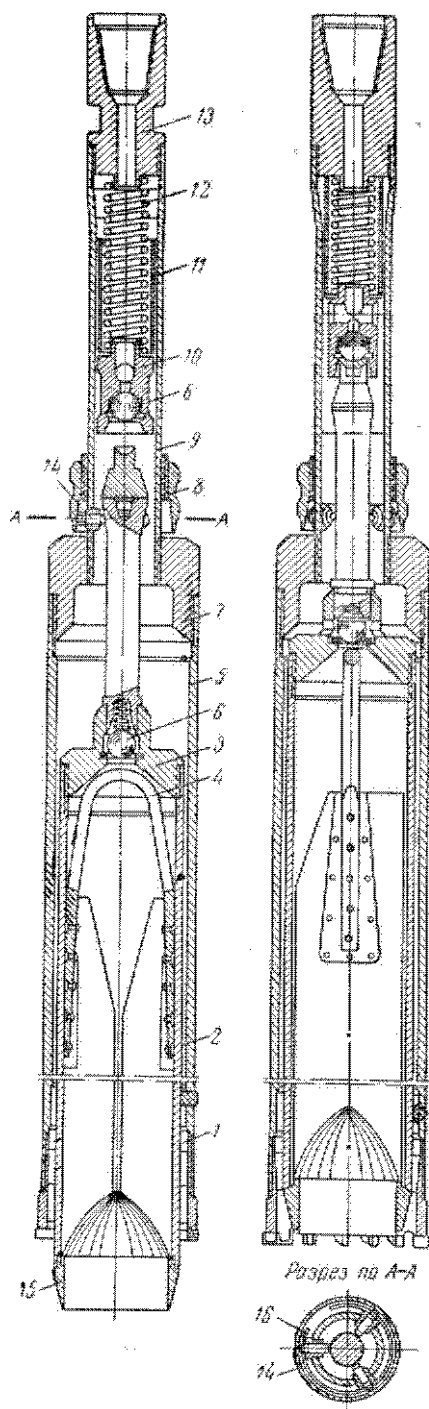


Рис. 87. Грунтонос ВСЕГИНГЕО

1 — приемная гильза; 2 — приемный стакан; 3 — головка; 4 — sleeve приемной гильзы; 5 — обжимная труба; 6 — шарик; 7 — переходник; 8 — трубка запорная; 9 — патрубков; 10 — подзук; 11 — трубка развальная; 12 — пружина; 13 — винт; 14 — наезд; 15 — кернорезатель; 16 — скоба пружинная



### Способы и условия отбора образ

| Инженерно-геологические характеристики грунтов, относящихся к I категории   |  | Рекомендуемый тип грунтоноса    |
|---|--|---------------------------------|
| основные  | дополнительные   |                                 |
| <p>Пески слабоцементированные, влажные, водоносные</p> <p>Связные грунты мягкопластичной и пластичной консистенции, без включений</p> | <p>Пески средние, мелкие и пылеватые</p> <p>Лёссовидные глины, суглинки и суглики; пойменные террасовые иловатые глины, суглинки и суглики; илы, мулистые массы, мергели, доломиты и т. п.</p> | Обуривающий грунтонос ВСЕГИНГЕО |

### Способы и условия отбора образ

| Инженерно-геологические характеристики грунтов, относящихся к II категории   |   | Рекомендуемый тип грунтоноса    |
|--|---|---------------------------------|
| основные   | дополнительные  |                                 |
| <p>Пески слабоцементированные, влажные, водоносные</p>   | <p>Пески средние, мелкие и пылеватые, содержащие до 20% гравия и мелкой гальки, пески без включений</p>     | Обуривающий грунтонос ВСЕГИНГЕО |
| <p>Связные грунты мягкопластичной консистенции, содержащие до 20% мелкой гальки и гравия</p> <p>Связные грунты тугопластичной и твердой консистенции без включений</p> | <p>Террасовые и пойменные глины, суглинки и суглики</p> <p>Лёсс и лёссовидные глины, суглинки и суглики</p> | Забивной грунтонос ГР-3 *       |

\* Забивной грунтонос ГР-3 применяется в тех случаях, когда невозможно

проб, требующие дальнейшей разработки, но ориентирующие исследователей при выборе способа отбора проб. К таким рекомендациям относятся, например, разработанные в 1959 г. коллективом Фундаментпроекта (Ю. Г. Трофименков, А. И. Михальчук, Н. Д. Морозов и др.) технологические карты по отбору образцов

Таблица 25

пес грунта I категории буримости

| Применяемая<br>(промывочная<br>жидкость) | Показатели промывоч-<br>ной жидкости  | Число<br>оборотов<br>сверла<br>в минуту | Давление<br>на забой,<br>кг | Проходка<br>за рейс,<br>пог. м. |
|--|---|---|-----------------------------|---------------------------------|
| Глинистый<br>раствор                     | $T$ (вязкость) =<br>$= 30 \div 50$ сек<br>$V$ (водотдача) =<br>$= 5 \div 10$ см <sup>3</sup><br>за 30 сек<br>$\gamma$ — уд. вес<br>1,30—1,35 г/см <sup>3</sup><br>$Q$ (количество по-<br>даваемой жидко-<br>сти) = 1,0—1,5 л/мин<br>на 1 мм диаметра<br>коронки | 72—120                                  | 150—200                     | 0,5—1,0                         |

Таблица 26

пес грунта II категории буримости

| Применяемая<br>промывочная<br>жидкость                 | Показатели промывоч-<br>ной жидкости   | Число<br>оборотов<br>сверла<br>в минуту | Давление<br>на забой,<br>кг | Проходка<br>за рейс,<br>пог. м. |
|--|--|---|-----------------------------|---------------------------------|
| Глинистый<br>раствор (при<br>грунтоноссе<br>ВСЕГИНГЕО) | $T = 30 \div 40$ сек<br>$V = 15$ см <sup>3</sup> за 30 сек<br>$\gamma = 1,25 \div 1,3$ г/см <sup>3</sup><br>$Q = 1,0 \div 1,5$ л/мин<br>на 1 мм диаметра<br>коронки<br>$T = 20$ сек;<br>$V = 18 \div 20$ см <sup>3</sup><br>за 30 сек<br>$\gamma = 1,115$ г/см <sup>3</sup><br>$Q = 1,0 \div 1,5$ л/мин<br>на 1 мм диаметра<br>коронки | 72—120                                  | 200—300                     | 0,5                             |

организовать приготовление глинистого раствора или при ударном бурении.

грунта с ненарушенной структурой в скважинах при производстве инженерно-геологических работ, основные положения из которых приведены в табл. 25—29.

Приведенные выше рекомендации и ряд других носят общий характер, даются для больших групп пород, имеющих индивидуальные

Способы и условия отбора образцов грунта III категории буримости

Таблица 27

| Инженерно-геологические характеристики грунтов, относящихся к III категории                   |   | Рекомендуемый тип грунтоноса  | Применяемая промышленная жидкость | Показатели промышленной жидкости  | Число оборотов снаряда в минуту  | Давление на забой, кг | Прокhodка за рейс, пог. м |
|---|---|---|-----------------------------------|---|--|-----------------------|---------------------------|
| основные  | дополнительные  |   |                                   |   |  |                       |                           |
| Коренные связные грунты со значительными цементационными связями, водонасыщенные              | Мергелистые глины, крепкие глины типа оксфордских и келасвейских                      | Обуривающий грунтонос ВСЕГИНГЕО<br>Беспромывочный обуривающий грунтонос*<br>Забивной грунтонос ТК-3 | Вода для грунтоноса ВСЕГИНГЕО     | $Q = 1,0 - 1,5 \text{ л/мин}$<br>на 1 мм диаметра коронки   | Для беспромывочного обуривающего грунтоноса 20—40, при ручном бурении 3—5<br>Для грунтоноса ВСЕГИНГЕО 72—120 | 200—300               | 0,3—1,0                   |
| Глины с включениями или прослоями твердых пород   | Элювиальные глины с дресвой и мягкие глины с частыми прослоями песчанников и мергелей | Обуривающий грунтонос ВСЕГИНГЕО   | Вода или глинистый раствор        | $T = 20 \text{ сек}$<br>$B = 20 - 25 \text{ см}^3$<br>за 30 сек<br>$\gamma = 1,15 - 1,2 \text{ г/см}^3$ | 72—120   |                       | 0,3—1,0                   |
| Полускальные грунты малой прочности (с пределом прочности на сжатие до $40 \text{ кг/см}^2$ ) | Мергели, мелы, слабоцементированные ракушечники и известники-ракушечники              | Обуривающий грунтонос ВСЕГИНГЕО   | Вода или глинистый раствор        | $Q = 1,0 - 1,5 \text{ л/мин}$<br>на 1 мм диаметра коронки   | 100—150  | 300—400               | 0,3—1,0                   |

\* Беспромывочные грунтоносы следует применять при ручном бурении или в тех случаях, когда невозможно организовать приготовление глинистого раствора.

Способы и условия отбора образцов грунта IV категории буримости

Таблица 28

| Инженерно-геологические характеристики грунтов, относящихся к IV категории  |  | Рекомендуемый тип грунтоноса    | Применяемая промышленная жидкость | Показатели промышленной жидкости   | Число оборотов снаряда в минуту                        | Давление на забой, кг | Прокhodка за рейс, пог. м |
|---|--|---------------------------------|-----------------------------------|--|--|-----------------------|---------------------------|
| основные  | дополнительные   |                                 |                                   |  |  |                       |                           |
| Полускальные грунты (с пределом прочности на сжатие от 10 до $50 \text{ кг/см}^2$ ) и коренные глинистые грунты со значительными цементационными связями, сухие | Крепкий мел, мягкий каменный уголь, песчано-глинистые сланцы, глинистые песчаники, слабоцементированные известняки и доломиты, выщелоченные пористые известняки, мергелистые глины типа оксфордских и келасвейских | Обуривающий грунтонос ВСЕГИНГЕО | Глинистый раствор                 | Для мягких разностей<br>$T = 20 \text{ сек}$<br>$B = 18 - 20 \text{ см}^3$<br>за 30 сек<br>$\gamma = 1,15 - 1,2 \text{ г/см}^3$<br>$Q = 1,0 - 1,5 \text{ л/мин}$<br>на 1 мм диаметра коронки | 140—180  | 400—500               | 0,5                       |
|   |  |                                 |                                   | Для более крепких разностей<br>Снаряд для безнасосного бурения системы Волкова<br>Вода   | $Q = 15 - 20 \text{ л/рейс}$<br>при 20—25 качаниях/мин | 140—180<br>200—300    | 0,5                       |

Способы и условия отбора образцов грунта V категории буримости

Таблица 29

| Инженерно-геологические характеристики грунтов, относящихся к V категории |   | Рекомендуемый тип грунтоноса                     | Применяемая промышленная жидкость | Показатели промышленной жидкости | Число оборотов снаряда в минуту   | Давление на забой, кг | Прокhodка за рейс, пог. м |
|---|---|--|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| основные  | дополнительные  |  |                                   |                                  |                                   |                       |                           |
| Скальные грунты с глинистыми и песчаными прослоями                        | Глинистые сланцы, известняки, мергелистые доломиты, песчаники на известковом и железистом цементе, крепкий каменный уголь | Снаряды для безнасосного бурения системы Волкова | Вода                              | $Q = 15 - 20 \text{ л/рейс}$     | 180—240<br>при 15—20 качаниях/мин | 300—400               | 0,5—1,0                   |

особенности. Вследствие этого приходится прибегать к опытным установкам наиболее рационального способа отбора проб, конструкций грунтоносов и режимов погружения с тем, чтобы на остальной изучаемой территории применять наиболее рациональные из них.

### § 33. КОНСЕРВИРОВАНИЕ, ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА ПРОБ ГОРНЫХ ПОРОД

При инженерно-геологических исследованиях берут образцы горных пород, из которых в дальнейшем отбирают пробы. Можно получить образцы с естественной структурой и влажностью (монолиты) и образцы, для которых нет необходимости сохранять естественные структуру и влажность, например, для производства механического анализа, определения пределов пластичности и др.

Наиболее легко поддаются консервированию, хранению и транспортировке образцы, не требующие сохранения естественных структур и влажности. Обычно при отборе их кладут в мешочки или бумажные пакеты (иногда в банки), плотно укладывают в ящики, чтобы транспортировать на любые расстояния и хранить в любых условиях практически неограниченное время. Исключение составляют образцы пород, содержащих воднорастворимые соли, которые могут раствориться при намачивании образцов. Такие образцы отбирают в непромокаемые мешочки или упаковывают в ящики, предварительно прокладывая в них водонепроницаемые материалы.

Для сохранения естественных структуры и влажности монолитов применяются следующие способы: 1) хранение монолитов в герметически закрытых цилиндрах, плотно прилегающих к поверхности образца; 2) создание вокруг монолитов оболочек, непроницаемых для воды и воздуха.

В качестве сосудов для хранения монолитов используют металлические, стеклянные или тонкостенные пластмассовые, хлорвиниловые, бумажные парафиновые гильзы. Гильзы, в которых находится монолит, закрывают крышками с резиновыми кольцами, корковыми или резиновыми пробками, швы заливают парафином, воском, менделеевской замазкой, гудроном или плотно обертывают изоляционной лентой. Иногда торцы образцов в гильзах заливают мастикой.

Хорошо сохраняются монолиты, покрытые (с помощью пульверизатора или кисти) тонким слоем раствора целлюлозы в ацетоне. Для создания вокруг монолитов воздухо- и водонепроницаемых оболочек используют специальные мастики и замазки. Составы наиболее распространенных мастик и замазок помещены в табл. 30 (по данным А. А. Полубетко).

Монолиты транспортируют в ящиках общим весом до 50 кг. Зазоры между монолитами и стенками ящика заполняют древесными

пиликами, стружкой, соломой, очесами хлопка и другими материалами, способными амортизировать удары при транспортировке и потруске и предохранять монолиты от промерзания.

Хранить образцы, предназначенные для дальнейшего лабораторного изучения, следует в утепленных помещениях, оборудованных стеллажами. Срок хранения законсервированных монолитов зависит от температуры помещения, способов консервирования, состава и состояния пород. Большинство исследователей считают, что в помещениях с обычной комнатной температурой ( $+15-20^{\circ}$ ) глинистые породы, находящиеся в текучем и пластичном состоянии, можно хранить 1,5 мес., а полутвердые глинистые породы — до 6 мес.

Следует иметь в виду, что при длительном хранении порода может сильно измениться и стать непригодной для лабораторного изучения. Поэтому при длительном хранении монолитов необходимо периодически проверять их состояние, вскрывать контрольные монолиты для определения показателей физико-механических свойств пород и сравнивать их с показателями, полученными непосредственно после извлечения монолитов из горно-буровых выработок.

#### § 34. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ПРОБ

Здесь мы остановимся только на обработке и анализе проб, предназначенных для лабораторных испытаний, так как подготовка пород и их испытание в полевых условиях были освещены при описании полевых методов инженерно-геологических исследований (см. главу «Методы получения инженерно-геологической информации»).

В настоящее время в практике инженерно-геологических лабораторий применяются два способа предварительной перед анализом обработки проб: 1) вырезание типичной для данной породы пробы, 2) квартование.

В первом случае начинают с осмотра монолита и на основании визуально определенных тектурных и структурных признаков выбирают участок, типичный для всей породы. В пределах этого участка вырезают пробу породы, по форме и размерам отвечающую аппаратуре, выбранной для соответствующего испытания, например по размерам кольца компрессионного прибора. Вырезая пробу, применяют приемы и оборудование, позволяющие возможно меньше нарушать естественную структуру и влажность породы. Так, с этой целью применяют постепенное обрезание породы ножом или скальпелем, задавливание колец с режущим краем, выбуривание столбика породы специальными ручными лабораторными бурами и т. н.

Следует отметить, что в этом случае выбор «типичной» пробы носит субъективный характер, а результаты выбора места пробы и обработки пробы зависят от опыта оператора и применяемого для этих целей оборудования.

Квартование применяется в том случае, когда необходимо сократить объем образца до размера пробы, позволяющего произвести

анализ с помощью принятых в настоящее время методов. В настоящее время в лабораторной практике принятые методы определения многих показателей свойств пород требуют проб пород, вес которых колеблется от нескольких до 100 г (определение удельного веса, показателей пластичности, карбонатности, механического состава и т. д.), тогда как образцы пород, отбираемые в полевых условиях, достигают по весу нескольких килограммов. В лаборатории приходится сокращать такие образцы до необходимого объема пород.

Квартование производят путем тщательного перемешивания образца и последовательного деления его на четыре равные части. Для этой цели перемешанную породу рассыпают на столе по кругу и делят инаatelyем на четыре части двумя взаимноперпендикулярными диаметрами. Породу из двух взаимноперпендикулярных секторов отбрасывают, а оставшуюся половину образца снова перемешивают и подвергают дальнейшему квартованию до достижения необходимого объема пробы.

Метод квартования пригоден по существу только при точечном и монолитном методах инженерно-геологического опробования горных пород, но он явно неприменим, например при валовом методе. Однако другие методы сокращения проб для инженерно-геологических целей пока не разработаны, вероятно потому, что такие методы, как бороздковый, задииковый и валовой, при инженерно-геологическом опробовании стали применяться совсем недавно. Нам представляется перспективным заимствование для этих целей методов и аппаратуры для сокращения проб, давно и успешно применяющихся в практике поисков и разведки полезных ископаемых.

Методы определения состава, состояния и показателей физико-технических свойств пород подробно описаны в курсах «Грунтоведение» и в соответствующих пособиях по лабораторным практикxам. Здесь мы остановимся лишь на общих положениях, касающихся анализов инженерно-геологических проб.

При выборе метода анализа прежде всего необходимо исходить из предполагаемых по общим соображениям свойств породы и ее текстурно-структурных особенностей, т. е. из предварительного визуального изучения текстуры, структуры, состава и состояния породы. Так, методика отбора проб и изучения компрессионных свойств мергелей, плотных моренных суглинков или разжиженных аллювиальных илов будет существенно различной. Нельзя проводить, например, испытание в лабораторных приборах компрессионных свойств моренных суглинков, содержащих крупные включения, тогда как испытание суглинков без включений дает правильные результаты. Поэтому целесообразно намечать метод анализа проб еще в полевых условиях, когда инженер-геолог имеет возможность изучить текстурно-структурные особенности и состояние пород не только по монолиту, но и в горно-буровых выработках и естественных обнажениях.

Так, например, в полевых условиях всегда полнее и точнее можно определить направление слоистости, сопоставить его с напра-

влиянием основных напряжений, развивающихся при взаимодействии сооружений с породами. Эти сопоставления помогут правильно ориентировать образец породы в приборе при определении, например, сопротивления породы сдвигающим усилиям (определение сдвигающих усилий параллельно, перпендикулярно или под каким-либо углом к направлению слоистости).

При выборе методов и условий производства лабораторных опытов следует исходить также из расчетной инженерно-геологической схемы естественных оснований сооружений, т. е. из тех условий, в которых будет «работать» порода при взаимодействии с сооружением. В зависимости от типа и конструкции сооружения, а также от строения естественного основания отдельные инженерно-геологические элементы могут «работать» только на сдвиг, только на сжатие или на то и другое одновременно; они могут подвергаться выщелачиванию, высушиванию или увлажнению, медленной или быстрой нагрузке и т. п. При инженерно-геологическом изучении, например оползней, могут встретиться случаи, когда сдвиг породы происходит впервые (новые оползни) или повторно (старые или древние активизировавшиеся оползни) и т. п. Все эти обстоятельства следует учитывать при выборе метода, аппаратуры и условий производства лабораторных опытов. Исходя из этих положений намечают производство опытов по «медленному сдвигу» и «быстрому сдвигу», по определению показателей свойств пород при предварительном выщелачивании растворимых солей или без него, по испытанию пород под водой или только при сохранении естественной влажности, с естественной структурой или с нарушением структуры.

Таблица 30

Составы наиболее употребительных мастик и замазок  
для консервирования монолитов горных пород  
По данным А. А. Подуботко

| Составные части             | БТУ-54 | ГОР-56  | Ф-60 | ГОП |     |     | ВСЕГИНТЕО |     | Замазки  |                  |
|-----------------------------|--------|---------|------|-----|-----|-----|-----------|-----|----------|------------------|
|                             |        |         |      | 56  | 56а | 56б | 61а       | 61б | «Оползи» | «Медлен-<br>ная» |
| Парафин . . . . .           | 600    | 720—600 | 700  | 332 | 800 | 750 | 500       | 667 | 400      | —                |
| Воск . . . . .              | 250    | 200—250 | —    | 667 | —   | —   | —         | —   | 400      | 375              |
| Банифоль . . . . .          | 100    | 50—100  | —    | —   | —   | —   | —         | —   | 200      | 375              |
| Минеральное масло . . . . . | 50     | 30—50   | —    | —   | —   | —   | —         | —   | —        | —                |
| Церезин . . . . .           | —      | —       | —    | —   | 200 | —   | —         | —   | —        | —                |
| Озокерит . . . . .          | —      | —       | —    | —   | —   | 250 | —         | —   | —        | —                |
| Гудрон . . . . .            | —      | —       | 300  | —   | —   | —   | 500       | —   | —        | —                |
| Окись железа . . . . .      | —      | —       | —    | —   | —   | —   | —         | —   | —        | 250              |

Примечание. Таблица составлена из расчета приготовления 1 кг мастики или замазки. Вес составных частей указан в граммах.

## § 35. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

### 1. Обработка экспериментальных данных

Как отмечалось выше, целый ряд экспериментальных данных, полученных в процессе инженерно-геологических исследований, требует соответствующей обработки с целью получения таких значений показателей физико-технических свойств пород, которые можно использовать для расчета устойчивости сооружений или сравнительной характеристики массивов горных пород. Обработка экспериментальных данных ведется для каждого инженерно-геологического элемента отдельно. При выделении инженерно-геологических элементов учитываются не только свойства самой породы, но и ее состояние: степень раздробленности и т. п.

В дальнейшем изложении мы не будем описывать технические приемы производства математических расчетов и построений, имея в виду, что они хорошо изложены в руководствах по математической статистике, и что студенты с ними знакомятся при проработке курса «Грунтоведение», а приведем только изложение способов статистической обработки экспериментальных данных.

Обработка экспериментальных данных сводится к следующим операциям.

1. Составление графиков рассеяния для частных значений показателей.

2. Проверка нормальности распределения значений частных показателей в выборке.

3. Вычисление среднего значения, среднего квадратического отклонения и коэффициента изменчивости значений показателей.

4. Определение значений показателей не характерных для данной выборки.

5. Вычисление обобщенных значений показателей, т. е. средних значений показателей после исключения нехарактерных значений показателей.

6. Установление поправок к обобщенному значению показателя.

Способы составления графиков рассеяния очень просты и описаны в руководствах по математической статистике. Здесь отметим только, что такие графики могут быть составлены по данным, полученным: в одной выработке, для всего инженерно-геологического элемента, по разрезам и т. п. Такие графики дают возможность составить наглядное представление о характере изменчивости показателей физико-технических свойств пород в пространстве, сравнивать инженерно-геологические условия отдельных участков и районов.

Прежде чем приступить к вычислению статистических характеристик (среднее значение, среднее квадратическое отклонение и т. п.) необходимо проверить характер распределения показателя. Дело в том, что, как это установлено в математической статистике, среднее



значение будет характерным для выборки тогда, когда частные значения, входящие в выборку, имеют так называемое нормальное распределение или близкое к нему. Нормальность распределения устанавливается или визуально по кривой распределения (способы построения таких кривых приведены в курсах математической статистики) или с помощью формул математической статистики.

На рис. 88 изображена кривая нормального распределения с одной вершиной и симметрично расположенными левой и правой ветвями. Если распределение отклоняется от нормального, то кривая получится асимметричной, но при небольшой асимметрии ее можно принять за кривую нормального распределения. При известном навыке по внешнему виду кривой можно сделать заключение о допустимости отклонения ее от кривой нормального распределения. Более точную количественную оценку асимметрии производят по двум взаимно дополняющим друг друга показателям — асимметрии и эксцесса.

Показатель асимметрии (степени «кривобокости» кривой) вычисляется по формуле

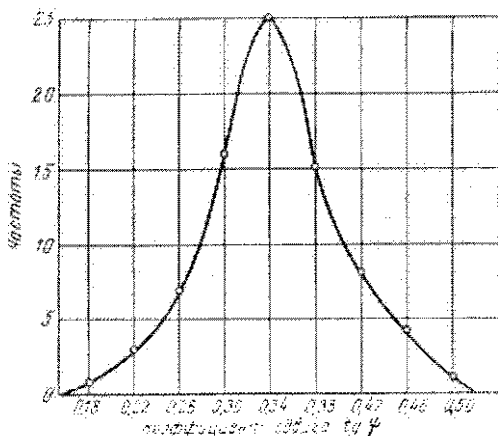


Рис. 88. Кривая нормального распределения

$$A = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{N\sigma^3},$$

где  $\bar{x}$  — среднее значение показателя;

$x_i$  — частные значения показателя;

$\sum$  — знак суммирования;

$N$  — число определений;

$\sigma$  — среднее квадратическое отклонение.

Если отношение  $\frac{A}{m_A} \geq 3$  (где  $A$  — показатель асимметрии,

$m_A = \sqrt{\frac{6}{N}}$  — ошибка показателя асимметрии), то распределение существенно отличается от нормального и данная выборка считается непригодной для дальнейшей обработки.

Показатель эксцесса (степень крутости или расплывчатости кривой) вычисляется по формуле

$$E = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4}{N\sigma^4} - 3,$$

где обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Если отклонение  $\frac{E}{m_E} \geq 3$  (где  $E$  — показатель эксцесса,  $m_E = \pm \sqrt{\frac{24}{N}}$  — ошибка показателя эксцесса), то распределение существенно отличается от нормального и данная выборка считается непригодной для обработки.

На практике этими формулами, как и другими показателями, например критерием Колмогорова, пользуются редко по двум причинам:

1) установлено, что в пределах одного инженерно-геологического элемента распределение значений большинства используемых в практике показателей носит нормальный характер, а редко встречающиеся отклонения хорошо обнаруживаются визуально;

2) в математической статистике разработаны более простые приемы вычисления этих показателей (которые изложены в руководствах по математической статистике).

Основными статистическими характеристиками, которые используются для инженерно-геологической оценки горных пород, являются: среднее арифметическое значение, среднее квадратическое отклонение показателя и коэффициент изменчивости свойств пород.

Среднее арифметическое значение показателя характерно для всего инженерно-геологического элемента, оно вычисляется по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N},$$

где  $x_i$  — частные значения показателя в выборке;

$N$  — число членов выборки;

$\sum$  — знак суммы.

Иногда используется среднее арифметическое взвешенное, вычисляемое по формуле

$$\bar{x}_v = \frac{\sum x_i p}{\sum p},$$

где  $x_i$  — частные значения показателя;

$p$  — число наблюдений данного значения показателя (частота);

$\sum$  — знак суммы.

В практике часто пользуются медианным значением показателя, медиану обычно определяют по графику рассеяния. Для этой цели все точки на графике рассеяния делят линией (по числу точек) на две части с равным количеством точек. Значение показателя, отсеченное этой линией на оси ординат, является медианным значением; близким к среднему арифметическому значению показателя. Медианное значение показателя используется для ориентировочных расчетов и при прослеживании инженерно-геологической изменчивости в пространстве.

Среднее квадратическое отклонение является мерой рассеяния частных значений и показывает, как велик разброс точек около среднего арифметического значения. Оно вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}};$$

где обозначения те же, что в предыдущих формулах.

Показатель рассеяния частных значений применяется в тех случаях, когда сравнивается степень рассеяния одного и того же показателя в разных выборках, например, в разных скважинах.

Среднее квадратическое отклонение непригодно для сравнения между собой изменчивости различных показателей, так как разные показатели будут иметь и неодинаковую размерность величин. В этом случае удобно пользоваться коэффициентом изменчивости, который вычисляется по формуле

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$

где  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение показателя;

$\bar{x}$  — среднее арифметическое значение показателя.

Коэффициент изменчивости показывает степень разброса точек в выборке по сравнению со средним арифметическим значением.

Следует отметить, что коэффициенты вариации различных показателей одной и той же породы значительно отличаются друг от друга. Может случиться так, что в выборку, предназначенную для вычисления статистических характеристик, могут попасть нехарактерные значения показателя «чужеродные» для данной выборки. Эти значения могут существенно повысить или понизить среднее арифметическое значение показателя, которое уже не будет характерным для всего инженерно-геологического элемента. Такие нехарактерные значения показателя в практике называют «отскоками», а в геолого-разведочном деле «ураганными» (при случайном большом скоплении полезного компонента) и «штилевыми» (при случайном полном отсутствии полезного компонента) пробями.

Такие отскоки можно исключать из выборки следующим образом. В математической статистике установлено, что в математически однородной выборке (без нехарактерных значений) 99,7% всех определений находиться в пределах от  $\bar{x} + 3\sigma$  до  $\bar{x} - 3\sigma$ . В этом случае за пределами  $\bar{x} \pm 3\sigma$  окажутся три характерных значения на 1000 определений и, естественно, все нехарактерные значения показателя. Если отбросить все значения, выходящие за пределы  $\bar{x} \pm 3\sigma$ , то можно быть уверенным, что в выборке останутся только характерные значения показателя.

На практике отскоки исключают из выборки путем нанесения пределов  $\bar{x} \pm 3\sigma$ , которые [называются] т р е х с и г м о в ы м и

пределами, на график рассеяния и отбрасывания точек, оказавшихся выше и ниже этих пределов. Однако следует отметить, что такой прием исключения отскоков нельзя производить автоматически. Отброс каждого значения, вышедшего за трехситмовые пределы, должен быть обоснован, т. е. в каждом случае должна быть установлена причина отскока.

Причины появления отскоков может быть много, но все они подразделяются на три группы:

- 1) ошибки при определении значений показателей;
- 2) наличие в разрезе мелких участков (например, линз) пород, резко отличающихся по своим свойствам от всего массива пород;
- 3) неправильно построенная расчетная инженерно-геологическая схема естественного основания сооружения.

Ошибки при определении значений показателей могут быть вызваны: нарушением естественных структуры и влажности монолита, из которого отобрана проба; неисправностью аппаратуры (например, попадание песчинок в подвижные части прибора); наличием в пробе случайных включений; описками лаборантов и т. п. Такие причины можно обнаружить путем просмотра кернов, монолитов, полевых описаний пород, осмотра оборудования, производства повторных определений, проверки расчетов, выполненных лаборантами и т. п.

Наличие в изучаемом разрезе мелких участков (например, линз), резко отличающихся по своим свойствам от всего массива пород, может привести к тому, что часть проб будет отобрана именно из этих элементов разреза, что и вызовет появление отскоков. К таким элементам следует относить те инженерно-геологические элементы, которые не входят в расчетную инженерно-геологическую схему естественного основания сооружения, т. е. не будут «работать» во взаимодействии с сооружением. Из таких элементов вообще нет необходимости отбирать пробы, а если они случайно попали в выборку, их следует рассматривать как отскоки. Обнаружить причину таких отскоков можно путем тщательного изучения разреза.

При неправильном построении расчетной инженерно-геологической схемы естественного основания сооружения на графиках рассеяния также могут появиться отскоки. В процессе изучения разреза могут быть пропущены отдельные прослои (например, ослабленных пород), зоны или участки, которые окажут большое влияние на устойчивость сооружения и повлияют на выбор метода расчета. Пробы, отобранные из таких зон или прослоев, дадут завышенные или заниженные значения показателей, которые и будут оценены как отскоки. Для данной выборки они будут действительными отскоками, но свидетельствующими о том, что в выборку попали значения показателей другого инженерно-геологического элемента (в нашем примере таким инженерно-геологическим элементом будет ослабленный прослой или зона).

При анализе таких отскоков необходимо установить их приуроченность к определенным высотным отметкам, глубинам, участкам

толщи, проверить правильность составления разреза и расчетной схемы. Если такие зоны, прослои или участки обнаружатся, то следует: 1) исключить из анализируемой выборки обнаруженные отскоки; 2) внести соответствующие исправления в расчетную схему; 3) подвергнуть тщательному изучению обнаруженный прослой, зону, участок отобрать из них пробы и определить для них значения необходимых показателей физико-технических свойств пород.

## 2. Выбор расчетных значений показателей и степень инженерно-геологической однородности пород

Для вычисления обобщенного значения того или иного показателя важно оценить степень инженерно-геологической однородности изучаемых горных пород. Под инженерно-геологической однородностью (или неоднородностью) следует понимать колебания значений показателей физико-технических свойств пород в пределах одного инженерно-геологического элемента<sup>1</sup>.

Оценка инженерно-геологической однородности пород необходима:

- 1) для оценки одинаковости или неодинаковости поведения разных пород в сфере воздействия сооружения на горные породы;
- 2) для оценки схожести по физико-техническим свойствам различных пород и их типизации.
- 3) для выбора рациональной методики инженерно-геологического опробования пород.

До настоящего времени степень инженерно-геологической однородности пород характеризовалась «на глазок» с использованием только описательного метода. Естественно, что такой прием давал только общее приближенное, а иногда и просто ошибочное представление об однородности породы. Так, например, у подавляющего большинства геологов создавалось впечатление о крайней разнородности морен, однако исследования М. М. Максимова показали, что статистические характеристики показателей физико-технических свойств морен чрезвычайно устойчивы, что позволяет считать их весьма однородными в инженерно-геологическом отношении.

В математической статистике для решения вопроса о степени рассеяния случайной величины существует много различных способов, однако на практике для оценки рассеяния чаще всего употребляют среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  ввиду простоты и удобства его вычисления. С точки зрения инженерной геологии интересно рассмотреть среднеквадратическое отклонение нормально распределенной случайной величины, так как для большинства типов пород распределение частот показателей их физико-технических свойств описывается нормальным законом.

На рис. 89 показано несколько графиков нормально распределенной случайной величины со средним значением  $x = \text{const}$  и различ-

<sup>1</sup> Часть настоящего раздела, касающаяся инженерно-геологической неоднородности пород, составлена Е. Н. Колемеским.

ними по величине среднеквадратических отклонений  $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ . Как видно на рисунке, среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{1,2,3}$  характеризует степень разброса отдельных значений случайной величины относительно ее среднего значения  $\bar{x}$ . Чем больше  $\sigma$ , тем больше степень разброса и более распластаный характер имеет кривая.

Численно среднеквадратическое отклонение равно абсциссе точки перегиба кривой, если начало координат перенесено в центр рассеяния  $X$ . Таким образом, среднеквадратическое отклонение является характеристикой сте-

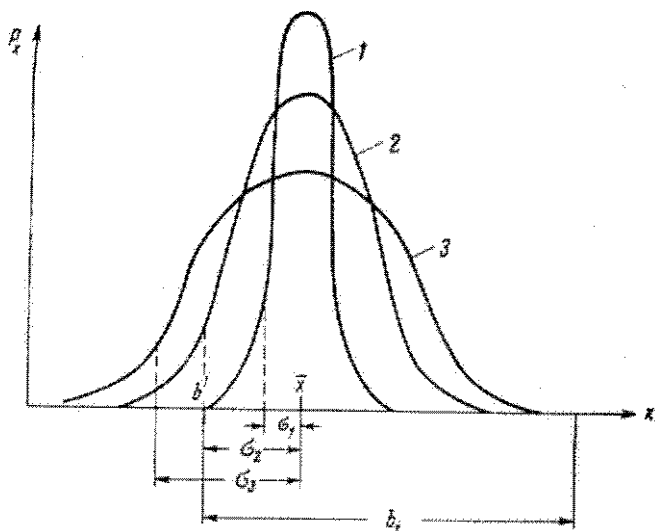


Рис. 89. Графики нормально распределенной случайной величины со средним значением  $\bar{x} = \text{const}$

1, 2, 3 — частотные графики распределения показателей свойства  $x$  породы

пени рассеяния случайной величины и может быть использовано для оценки инженерно-геологической однородности пород, если под однородностью мы понимаем колебания значений показателей физико-технических свойств пород в пределах одного инженерно-геологического элемента.

В инструкции по обработке результатов исследований пород института Гидропроект для оценки однородности породы по какому-либо свойству рекомендуется применять коэффициент вариации  $V$ , который представляет собой отношение среднеквадратического отклонения  $\sigma$  к среднему значению показателя свойства  $\bar{x}$ ,

умноженному на 100%. При  $V \leq 30\%$  порода считается однородной, при  $V > 30\%$  разнородной. Однако эти рекомендации весьма условны, поскольку две породы одинаковой степени однородности ( $\sigma_1 = \sigma_2$ ) по величине коэффициента вариации  $V$  могут быть классифицированы как неравноценные.

Так, например, если число пластичности суглинка равно 10, а глины 30, то при равенстве среднеквадратических отклонений ( $\sigma_s = \sigma_g = 5$ ) суглинка должны быть признаны неоднородными при  $V_s = 5 : 10 \cdot 100\% = 50\%$  или  $> 30\%$ , а глины однородными при  $V_g = 5 : 30 \cdot 100\% = 16,6\%$  или  $< 30\%$ . Следовательно, нельзя рекомендовать коэффициент вариации в качестве сравнительной характеристики однородности горных пород. Кроме того, авторы инструкции не дают обоснования для предельного значения коэффициента вариации, равного 30%, при котором породу можно считать однородной.

М. М. Максимов для оценки инженерно-геологической однородности пород предложил другой показатель — коэффициент или показатель неоднородности (ПН), который получается посредством деления среднеквадратического отклонения  $\sigma$  на величину допускаемой ошибки парного определения  $a$ :  $ПН = \frac{\sigma}{a}$ . Под ошибкой парного определения подразумевается допустимая в настоящее время в практике лабораторных работ разница между значениями основного и контрольного определений.

Показатель неоднородности М. М. Максимова действительно характеризует степень инженерно-геологической однородности пород, но на практике применение его ограничено, так как автор не дал никаких рекомендаций по определению категории однородности пород в зависимости ее от величины показателя неоднородности. Кроме того, показатель неоднородности (ПН) не является универсальной характеристикой и не может быть одинаково интерпретирован при оценке степени однородности пород по качественно различным показателям, которые в комплексе определяют уровень общей инженерно-геологической однородности.

Так, например, численно одинаковые значения показателя неоднородности для числа пластичности и объемного веса не означают одинаковую степень однородности породы по этим показателям. Таким образом, показатель неоднородности М. М. Максимова, так же как и коэффициент вариации  $V$ , обладает существенными недостатками, которые значительно снижают их практическую ценность.

Е. Н. Коломенский предложил новый показатель инженерно-геологической однородности пород, лишенный вышеописанных недостатков. В практике проектирования инженерных сооружений применяются различные классификации показателей физико-технических свойств пород, в которых показатели делятся по их абсолютной величине на классы. Например, глинистые породы в зависимости от значения числа пластичности  $M_p$  делятся на глины ( $M_p > 17$ ), суглинки ( $M_p$  от 17 до 7), супеси ( $M_p$  от 7 до 1). По величине

коэффициента пористости  $E$  породы делится на классы, предусмотренные СНиПами:

интервалы значений коэффициента  $E$

|           |           |
|-----------|-----------|
| 0,41—0,50 | 0,71—0,80 |
| 0,51—0,60 | 0,81—0,95 |
| 0,61—0,70 | 0,96—1,10 |

В зависимости от этих классов выбираются те или иные значения расчетных показателей, например, по классу пористости и влажности на границе раскатывания  $W_p$  СНиПом предусмотрено определение модулей деформации, углов внутреннего трения и величин сдвига. К данному классу относится та порода, значения показателей которой укладываются в интервал значений, выделенных данной классификацией, т. е. в интервал значений показателя для данного класса (например, для супесей интервал числа пластичности  $M_p$  будет ограничен величинами 7 и 1%). Таким образом, под классификационным интервалом мы будем подразумевать интервал значений показателя, предусмотренный СНиПами и принятыми в практике классификациями при разбивке пород на классы.

Обозначим классификационный интервал через  $b_i$ , а краевые его значения через  $b'_i$ ;  $b''_i$ . Например, для суглинков классификационный интервал  $b_i$  по числу пластичности будет равен 10, а краевые значения интервала будут отвечать 7 и 17%.

Используя понятие классификационного интервала, сформулируем условие однородности пород. Однородными в инженерно-геологическом отношении следует считать такие породы, у которых все значения показателя какого-либо свойства лежат в пределах одного классификационного интервала, т. е. породы, для которых СНиПом предусмотрены единые расчетные показатели независимо от конкретных значений показателя в границах классификационного интервала.

Показателем однородности может служить величина, представляющая частное от деления среднеквадратического отклонения  $\sigma$  на абсолютную величину разности среднего значения показателя и ближайшего к нему краевого значения классификационного интервала  $|\bar{x} - b'_i|$ .

$$K = \frac{\sigma}{|\bar{x} - b'_{i,2}|}$$

В зависимости от величины показателя  $K$  можно выделить следующие три категории пород по степени их однородности

1. Однородные породы,  $K \leq 0,5$ . Не менее 96% всех частных значений показателя какого-либо свойства пород лежат в пределах одного классификационного интервала, что обеспечивает уровень достоверной вероятности обобщенных показателей не менее 0,96.



Например, московскую морену Калининской области по числу пластичности можно считать однородной породой.

$$\overline{M}_p = 9,4; \quad \sigma = 1,2;$$

$$|\overline{M}_p - b'_1| = |9,4 - 7,0| = 2,4;$$

$$K = \frac{\sigma}{|\overline{M}_p - b'_1|} = \frac{1,2}{2,4} = 0,5.$$

2. Относительно однородные породы,  $0,5 < K \leq 1,0$ . Уровень доверительной вероятности обобщенных показателей не менее 0,68, что соответствует принятой в практике проектирования инженерных сооружений обеспеченности в 70%. Например, отложения московской морены Кунцевского района по своей пористости должны быть классифицированы как относительно однородные породы.

$$E = 0,48; \quad \sigma = 0,02;$$

$$|E - b'_2| = |0,48 - 0,501| = 0,02;$$

$$K = \frac{0,02}{0,02} = 1.$$

3. Неоднородные породы,  $K > 1$ . Разброс отдельных показателей свойства породы настолько велик, что получить обобщенные показатели можно с доверительной вероятностью лишь менее 0,68. Например, моренные суглинки московского оледенения в Белоруссии неоднородны по своей пористости.

$$E = 0,44; \quad \sigma = 0,05;$$

$$|\overline{E} - b'_1| = |0,44 - 0,41| = 0,03;$$

$$K = \frac{0,05}{0,03} = 1,88.$$

Схема определения категории пород по степени их однородности в зависимости от величины показателя  $K$  представлена на рис. 89.

Следует обратить внимание на следующие положения.

1. Показатель однородности  $K$  является универсальной характеристикой, что позволяет применять его для оценки общей инженерно-геологической однородности, используя несколько качественно различных показателей физико-технических свойств пород.

2. Уровень доверительной вероятности обобщенных показателей, соответствующий выделенным категориям пород по степени их однородности:

а) однородные породы  $P > 0,96$ ;

б) относительно однородные породы  $0,96 > P > 0,68$ ;

в) неоднородные породы  $P < 0,68$ ,

несколько занижен, так как при подсчете показателя  $K$  условно принимается, что все значения частных показателей свойства породы

(отличающиеся от среднего  $\bar{x}$  больше чем на  $\pm 2\sigma$  для первой категории, на  $\pm \sigma$  для второй категории и меньше чем на  $\pm \sigma$  для третьей категории) лежат за пределами классификационного интервала.

Обычно за пределы классификационного интервала выходят значения частных показателей, находящиеся только по одну сторону от среднеарифметического значения, так как показатели распределяются несимметрично относительно краевых значений классификационного интервала. Например, на рис. 89 все частные значения показателя, превышающие среднеарифметическое значение, находятся в пределах классификационного интервала.

3. Показатель однородности  $K$  характеризует степень разброса показателей физико-технических свойств горных пород относительно классификационных интервалов, предусмотренных СНиПом. Так, например, если коэффициент однородности  $K = 0,5$ , то все значения показателей физико-технических свойств пород лежат в пределах одного классификационного интервала. Определение значений расчетных показателей для таких горных пород не представляет трудности, поскольку для каждого класса пород СНиПом предусмотрены определенные значения модуля деформации, угла внутреннего трения и величины сцепления. Трудности в определении значений расчетных показателей могут возникнуть лишь в том случае, если среднее значение какого-либо показателя свойства породы совпадает с границей классификационного интервала.

Показатель однородности при этом будет равен  $+\infty$ , так как  $|\bar{x} - b_{1,2}| = 0$ ;  $K \frac{\sigma}{\bar{x}} = +\infty$ . Как бы ни была мала степень разброса частных значений показателя свойства, по величине показателя однородности породы придется классифицировать как весьма неоднородные.

Практически это означает, что по данному свойству породы с одинаковой долей вероятности могут быть отнесены к любому из двух соседних классов. В таком случае рекомендуется использовать расчетные показатели, соответствующие тому классу пород, прочность которых меньше, т. е. идти по пути увеличения надежности расчетных показателей. Однако совпадение средних значений показателя какого-либо свойства с границей классификационного интервала наводит на мысль об искусственности проведения этих границ по принципу определенной дробности и регулярности классов.

Так, например, в СНиПе выделение классов пород по пористости предусмотрено через определенный интервал изменения коэффициента пористости  $E$ , а именно через 0,1. Породы с коэффициентом пористости от 0,41 до 0,50 составят один класс, с коэффициентом от 0,51 до 0,60 — другой и т. д. Нельзя представить, что на границе двух классов пород по пористости (например,  $0,51 > E > 0,50$ ) происходит резкое изменение прочностных свойств пород, что типичные горные породы, коэффициенты пористости которых соответственно равны 0,50 и 0,51, существенно различны по своей прочности

и требуют принципиально разного подхода при определении расчетных показателей.

В связи с этим вопрос об определении границ классификационных интервалов приобретает большое практическое значение. Разбивку пород на классы по их физико-техническим свойствам следует проводить не путем формального дробления, а на основе анализа изменения прочностных свойств горных пород в зависимости от величин показателей физико-технических свойств горных пород.

Как уже отмечалось выше, обработку экспериментальных данных заканчивают установлением поправок к обобщенному значению показателя с тем, чтобы получить его расчетное значение. Таких поправок может быть две: поправка на недостаточное количество определений (по сравнению с генеральной совокупностью) и поправка на возможное изменение свойств пород в процессе строительства или эксплуатации сооружения.

Поправку на недостаточное количество определений вычисляют тремя способами: 1) среднего минимального и среднего максимального; 2) среднего минимального или среднего максимального взвешенных, 3) доверительных пределов или гарантированных значений.

Два первых способа по существу основаны на создании запаса прочности, могущего перекрыть возможную ошибку. Такой запас прочности создается, если заменить среднее арифметическое значение средним минимальным или средним максимальным, вычисленным по формулам

$$x_{\text{ср. мин}} = \frac{x + x_{\text{мин}}}{2};$$

$$x_{\text{ср. макс}} = \frac{x + x_{\text{макс}}}{2};$$

где  $x_{\text{ср. мин}}$  — среднее минимальное значение показателя;

$x_{\text{ср. макс}}$  — его среднее максимальное значение;

$x$  — его среднее арифметическое значение;

$x_{\text{мин}}$  — его минимальное значение;

$x_{\text{макс}}$  — его максимальное значение.

За расчетное значение показателя принимают  $x_{\text{ср. мин}}$  или  $x_{\text{ср. макс}}$  в зависимости от того, какая из этих величин создает запас прочности по сравнению со средним арифметическим значением показателя. Например, при расчете устойчивости сооружения сдвигающим усилиям целесообразно принять в качестве расчетной величины среднее минимальное значение показателя. Этот способ не имеет теоретического обоснования, но опыт проектирующих организаций показывает, что его практическое использование вполне себя оправдывает.

Второй способ сводится к замене среднего арифметического значения показателя средним минимальным взвешенным, средним максимальным взвешенным или, что все равно, нижним или верхним квартилями (квартилем называют такое значение показателя, меньше

или больше которого в выборке содержится 25% значений показателя). Практически нижний и верхний квартили находят с помощью графика рассеяния, проведя на нем горизонтальные линии, отсекающие 25% всех точек в нижней части графика и 25% точек в его верхней части. В расчет принимается значение, при котором создается запас прочности. Этот способ обычно применяется для предварительных расчетов.

Способ доверительных пределов, или способ гарантированных значений (последнее название предложено Н. Н. Масловым), хотя и не лишен недостатков, но он теоретически обоснован и потому может быть рекомендован для окончательных расчетов. Разработка метода расчета и его опытная проверка была произведена З. В. Пильгуновой по идее и под руководством Н. Н. Маслова; в дальнейшем И. С. Комаров разработал более удобный вариант расчета гарантированных значений показателя.

Сущность способа заключается в том, что задавшись какой-либо степенью вероятности, можно вычислить предельную величину ошибки, если вместо генерального среднего значения показателя использовать его среднее значение, полученное по ограниченному количеству точек. При этом, чем большей будет принята степень вероятности, тем больше величина ошибки.

Величина возможной ошибки определяется следующими неравенствами:

при большом числе определений

$$\bar{x} - a \leq t_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{N}};$$

при малом числе определений (менее 30)

$$\bar{x} - a \leq t_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{N-1}},$$

где  $\bar{x}$  — среднее арифметическое значение, вычисленное по ограниченному количеству определений (по выборке);

$a$  — генеральное среднее значение;

$t_{\alpha}$  — величина, определяемая по специальной таблице, в зависимости от принятой доверительной вероятности  $\alpha$  и числа определений  $N$ ;

$\sigma$  — среднее квадратическое отклонение;

$N$  — число определений в выборке.

Обозначим разницу между средним арифметическим выборки и генеральным средним значением показателя

$$\Sigma_z = \bar{x} - a,$$

где  $\alpha$  — доверительная вероятность или надежность, выраженная в долях единицы или в процентах, т. е. вероятность предположения, что среднее вычисленное по выборке, не отличается от генерального среднего больше чем на  $\Sigma_z$ .

Например, если доверительная вероятность выбрана 90% (или в долях единицы 0,90), то это означает, что генеральное среднее не выйдет за пределы ошибки ( $\Sigma_{\alpha}$ ) в 90 случаях из 100.

Величина  $\Sigma_{\alpha}$  может иметь положительное и отрицательное значения, поэтому если ее прибавить или вычесть из среднего значения, полученного по ограниченной выборке, получим пределы  $\bar{x} - \Sigma_{\alpha}$  и  $\bar{x} + \Sigma_{\alpha}$ , между которыми находится неизвестное нам генеральное среднее значение  $\alpha$ . Эти пределы носят название **г а р а н т и р о в а н н ы х з н а ч е н и й**.

В качестве расчетного принимается такое значение, при котором создается больший запас прочности, например, для показателей сопротивления пород сдвигающим усилиям принимается в расчет нижний предел ( $\bar{x} - \Sigma_{\alpha}$ ).

Как отмечалось выше, этот метод является вполне обоснованным и достаточно точным, его применяют в наиболее ответственных случаях. Однако и он имеет весьма существенный недостаток, который заключается в том, что при вычислении гарантированных значений показателей приходится задаваться значениями доверительной вероятности  $\alpha$ , т. е. по существу назначать величину доверительной вероятности «волевым» решением.

Из общих соображений ясно, что при выборе величины доверительной вероятности необходимо учитывать класс капитальности, тип и конструкцию сооружения, стадию его проектирования и инженерно-геологические условия. Однако метода, позволяющего объективно определить величину доверительной вероятности, не существует, и приходится опираться на существующий опыт. В настоящее время при расчете сооружений высокого класса капитальности (например, гидротехнических сооружений первого класса) при расчетах на стадии проектного задания задаются доверительной вероятностью 0,95, а на стадии технического проекта — 0,99.

Следует отметить, что эти значения доверительной вероятности значительно превышают доверительные вероятности (примерно 0,65), принимаемые при расчете бетонных сооружений (например, бетонных плотин). Такое увеличение значений доверительных вероятностей мотивируется тем, что разрушение естественных оснований сооружений, находящихся на значительной глубине, иногда под мощным слоем воды, более опасно, чем разрушение сооружений, находящихся на поверхности, так как в этих условиях почти невозможно во время обнаружить разрушение основания и очень трудно ликвидировать аварию. В остальных менее сложных случаях обычно в качестве расчетных принимают средние минимальные или средние максимальные значения показателей физико-технических свойств пород.

Остановимся еще на одной поправке, которую следует вводить в обобщенное значение для получения расчетного значения показателя, — поправке на возможное изменение прочности породы в процессе строительства или эксплуатации сооружения. По существу эта

поправка носит не статистический, а геологический характер и для ее определения не требуется применения математических расчетов. Она определяется путем производства специальных опытных и лабораторных работ в процессе производства инженерно-геологической разведки (см. главу VI «Инженерно-геологическая разведка»).

## § 36. ОБЩАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1. Цели разделения инженерно-геологических исследований на стадии и циклы

Как отмечалось выше, проектирование инженерных сооружений осуществляется по стадиям, установленным для каждого вида строительства. Каждая стадия проектирования предусматривает достижение определенных целей. Например, при проектировании гидротехнических сооружений ставят следующие цели.

| Стадия проектирования  | Основные цели   |
|--|---|
| 1. Внестадийное проектирование или составление технико-экономического доклада<br>2. Составление проектного задания                     | Установление технической и экономической целесообразности осуществления инженерного замысла<br>Определение места, типа и размеров сооружений для окончательного установления целесообразности их возведения, определения стоимости и сроков строительства |
| 3. Стадия составления технического проекта (для особо ответственных сооружений, а для менее ответственных 2-й этап проектного задания) | Окончательное установление места сооружения, его типа, размещения и типа его частей, а также их конструкции и основных размеров   |
| 4. Стадия составления рабочего проекта   | Разработка для строительства рабочих чертежей на основе данных технического проекта   |

Как видим, точно определенные цели отдельных стадий проектирования носят общий чисто строительный технико-экономический характер. Достижениям этих целей должны быть подчинены и инженерно-геологические исследования, проводимые для обоснования проекта.

Основными целями инженерно-геологических исследований для всех видов строительства являются:

- 1) поиски места, наиболее благоприятного по инженерно-геологическим условиям для расположения сооружения;
- 2) инженерно-геологическая оценка условий строительства в пределах сферы воздействия сооружения на горные породы, т. е. когда определено местоположение, тип и конструкция сооружения;

**Принципиальная схема рациональной последовательности  
инженерно-геологических исследований**

| Цели                             | Периоды               | Последовательность работ   |
|----------------------------------|-----------------------|--|
| Инженерно-геологические поиски   | Предполевой           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сбор и обобщение литературных, фондовых и архивных материалов</li> <li>2. Составление рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях изучаемого района</li> <li>3. Составление проекта работ</li> <li>4. Хозяйственно-техническое обеспечение работ</li> </ol>   |
|                                  | Полевой               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Производство комплекса съемочных работ и полевая камеральная обработка материалов</li> <li>2. Составление черновых (полевых) карт</li> <li>3. Уточнение рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях изучаемого района</li> </ol>  |
|                                  | Камеральный           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Камеральная обработка полевых данных и производство дополнительных лабораторных исследований</li> <li>2. Составление окончательных карт и другой графики</li> <li>3. Составление текстовой части отчета</li> </ol>   |
| Инженерно-геологическая разведка | Предварительная       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Составление проекта работ</li> <li>2. Хозяйственно-техническое обеспечение работ</li> <li>3. Предварительное определение сферы воздействия сооружения на горные породы</li> <li>4. Производство комплекса разведочных инженерно-геологических работ</li> <li>5. Предварительное выделение и характеристика инженерно-геологических элементов</li> <li>6. Составление предварительной расчетной инженерно-геологической схемы естественного основания сооружения</li> </ol> |
|                                  | Детальная             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Продолжение производства разведочных работ</li> <li>2. Уточнение сферы воздействия сооружения на горные породы</li> <li>3. Окончательное выделение и характеристика инженерно-геологических элементов</li> <li>4. Составление расчетной инженерно-геологической схемы естественного основания сооружения</li> <li>5. Производство расчетов (определение расчетных значений показателей, осадки сооружений и т.п.).</li> <li>6. Составление отчета</li> </ol>               |
|                                  | Процесс строительства | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Исполнительная съемка</li> <li>2. Наблюдения за проявлением физико-геологических и инженерно-геологических процессов</li> <li>3. Производство комплекса работ для проверки правильности инженерно-геологических прогнозов</li> <li>4. Участие в составлении актов о приеме естественных оснований сооружений</li> <li>5. Составление отчета</li> </ol>   |

Принципиальная схема рационального производства инженерно-геологических исследований \*

| Стадии проектирования строительства   |                             |  |   | Цели исследования                | Детальность инженерно-геологических поисков и разведки  | Методы инженерно-геологического опробования массивов горных пород   | Способы получения инженерно-геологических данных  |
|---|-----------------------------|--|---|----------------------------------|---|---|---|
| гражданского  | промышленного               | транспортного  | гидроэнергетического                                  |                                  |   |   |   |
| Ознакомление с территориями для выработки программ разведочных исследований     |                             |  |   |                                  | Масштаб 1 : 1 000 000 и мельче  | 1. Косвенный<br>2. Инженерно-геологических аналогий   | Обобщение данных ранее выполненных геологических, геоморфологических, гидрогеологических исследований   |
| Районная планировка экономического района административной области или промузла | ТЭД объекта, ТЭО объекта    | Транспортная схема района, выбор принципиального направления линий | Схема регулирования водотока; ТЭД отдельной установки | Инженерно-геологические цели     | Масштаб 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000                                     | 1. Косвенный<br>2. Инженерно-геологических аналогий<br>3. Естественно-статистический                                | Инженерно-геологическая съемка: 1) описание местности, 2) аэровизуальные наблюдения, 3) аэрофотосъемка, 4) геоботаническая съемка, 5) проходка катрировочных горно-буровых выработок (в том числе и неспиральных), 6) геофизические методы, 7) лабораторные определения классификационных показателей физико-технических свойств с целью типизации пород. В зависимости от естественных условий изменяется масштаб съемки и комплекс методов получения данных |
| Генплан (проект планировки) города  | Проектное задание 1-ый этап | Проектное задание 1-ый этап  | Проектное задание 1-ый этап                           |                                  |   |   |   |
| Проект детальной планировки района, микрорайона                                 | Проектное задание 2-ый этап | Проектное задание 2-ый этап  | Проектное задание 2-ый этап (или технический проект)  |                                  | Масштаб 1 : 25 000 и крупнее  | 1. Инженерно-геологических аналогий<br>2. Естественно-статистический  | Инженерно-геологическая съемка: 1) описание местности, 2) аэрофотосъемка, 3) проходка катрировочных горно-буровых выработок (в том числе не-  |
|   |                             |  |   |                                  |   | 3. Типизации  | традиционных), 4) геофизические методы, 5) лабораторные определения классификационных и косвенно-расчетных показателей физико-технических свойств пород с целью выделения инженерно-геологических пород   |
| Проектное задание здания  |                             |  |   | Инженерно-геологическая разведка | Предварительная   | 1. Инженерно-геологических аналогий<br>2. Типизации<br>3. Статистический<br>4. Механико-математические для прикидок | 1. Проходка разведочных горно-буровых выработок; 2. Лабораторные определения прямых показателей и физико-технических свойств пород; 3. Стационарные наблюдения (начало)   |
| Рабочие чертежи здания  | Рабочие чертежи             |  |   |                                  | Детальная   | 1. Инженерно-геологических аналогий<br>2. Статистический<br>3. Механико-математические                              | 1. Проходка разведочных горно-буровых выработок; 2. Лабораторные и полевые определения прямых показателей физико-технических свойств пород; 3. Опытные работы; 4. Стационарные наблюдения (продолжение)   |
| Строительство   | Строительство               |  |   |                                  | В процессе строительства (Исследования проводятся только на крупных и ответственных объектах) | 1. Статистический<br>2. Механико-математические   | 1. Описание строительных котлованов; 2. Проходка контрольных горно-буровых выработок; 3. Лабораторные и полевые определения прямых показателей физико-технических свойств пород главным образом в целях контроля; 4. Стационарные наблюдения (продолжение)  |

\* Таблица составлена с участием С. В. Дроздова.



3) опробование массивов горных пород для расчетов устойчивости сооружения и обоснования мероприятий по борьбе с неблагоприятными явлениями.

Естественно, что разные цели требуют применения различных методов исследований и определенной последовательности их осуществления.

Применительно к поставленным выше целям весь процесс инженерно-геологических исследований целесообразно разделить на три цикла: инженерно-геологические поиски, инженерно-геологическая разведка и инженерно-геологическое опробование горных пород. Первые два цикла следуют один за другим, а инженерно-геологическое опробование производится параллельно, так как инженерно-геологическая оценка пород требуется на всех стадиях проектирования сооружений.

## 2. Последовательность инженерно-геологических исследований

Цели, осуществляемые на различных циклах инженерно-геологических исследований, определяют последовательность производства работ и методы решения инженерно-геологических задач. Наиболее рациональная последовательность инженерно-геологических исследований показана в табл. 31.

Общая принципиальная схема рационального производства инженерно-геологических исследований показана в табл. 32.

Обоснование рационального производства инженерно-геологических исследований было дано в предыдущих разделах работы, здесь следует лишь отметить, что при производстве этих исследований должно быть обеспечено:

1) соответствие применяемых методов исследования и инженерно-геологической оценки горных пород поставленным целям;

2) применение при решении инженерно-геологических задач рационального комплекса дополняющих друг друга методов исследования в соответствии с естественными условиями;

3) достижение поставленной цели с минимальными затратами и в наиболее короткие сроки.

Приведенная схема (см. табл. 32) является принципиальной и, естественно, нуждается в дальнейшей разработке и уточнении применительно к требованиям проектирования отдельных видов сооружений. По мере накопления опыта, а особенно при появлении новых методов инженерно-геологических исследований, основанных на последних достижениях науки и техники, в приведенную выше схему должны быть внесены соответствующие изменения. Однако на современном этапе развития инженерной геологии производство инженерно-геологических исследований по описанной выше схеме представляется наиболее эффективным.

## Часть третья

# СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ ОБ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Инженерно-геологические исследования заканчиваются составлением отчетных материалов, объем и содержание которых во многом зависит от стадий и этапов исследований, инженерно-геологических условий изучаемой территории, видов и конкретных объектов строительства. Обычно все отчетные материалы объединяются под общим названием «Отчет об инженерно-геологических исследованиях».

Отчет об инженерно-геологических исследованиях состоит из следующих составных частей:

1) карт, характеризующих общие геологические условия: геологических (коренных пород и четвертичных отложений), тектонических, геоморфологических, гидрогеологических;

2) инженерно-геологических карт, на которых отражены и обобщены факторы, используемые для инженерно-геологической оценки территории;

3) разрезов, колонок, графиков, зарисовок, фотографий;

4) объяснительной записки;

5) списка использованной литературы;

6) инженерно-геологической записки к проекту сооружения.

В практической деятельности специалисту в области инженерной геологии часто приходится составлять различного рода заключения по результатам инженерно-геологических исследований. В зависимости от целей выделяются заключения, различные по характеру и содержанию.

1. Заключение:

а) по инженерно-геологическим условиям строительства отдельных объектов,

б) по разработке отдельных методических или практических вопросов.

2. Экспертные заключения:

а) по проектам строительства сооружений,

б) по отчетам об инженерно-геологических исследованиях.

Следует иметь в виду, что вследствие разнообразия природных условий, типов сооружений и возникающих инженерно-геологических

Панов И. В. Основы инженерно-геологического грунтоведения. Ч. I. Гостеолиздат, 1941.

Панов И. В. Методика составления обзорной специальной инженерно-геологической карты. Гостеолиздат, 1950.

Приклонский В. А. Грунтоведение, ч. I. Гостеолиздат, 1955.

Приклонский В. А. Грунтоведение, ч. II. Гостеолиздат, 1957.

Приклонский В. А., Котлов Ф. В. и др. Инженерно-геологические изыскания при строительстве городов. Руководство планировки и застройки городов. Гос. изд. по архитект. и стр-т., 1950.

Прохоров С. П., Качугин Е. Г. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. Гостеолтехиздат, 1955.

Роша Д. Н. Инженерно-геологические исследования при изысканиях железнодорожных линий. Трансжелдориздат, 1939.

Роговская Н. В. Методика гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на массивах орошения. Гостеолтехиздат, 1956.

Родонов Н. В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах. Гостеолтехиздат, 1958.

Роза С. А. Об инженерно-геологических исследованиях для гидротехнических сооружений. Тр. 2 научн. техн. совещ. по проектир. и стр-ву гидр-электростанций. Гостенергоиздат, 1956.

Розовский Л. Б. Вопросы теории геологического подобия и применение натурных моделей. Труды Одесского госуниверситета, т. 152, вып. II, Одесса, 1962.

Саваренский Ф. П. Инженерная геология. Изд. второе, ГОНТИ, 1939.

Скоростные методы инженерно-геологических исследований для целей массового строительства. Сборник, Изд. «Недра», 1964.

Семенов М. П. Основные задачи и опыт инженерно-геологических изысканий в районах распространения скальных горных пород. Сб. Проблемы инженерной геологии в строительстве. Госстройиздат, 1961.

Сергеев Е. М. Грунтоведение. Изд. МГУ, 1959.

Сергеев Е. М., Приклонский В. А., Панюков Н. Н., Белый Л. Д. Общая инженерно-геологическая классификация горных пород и почв. Тр. совещ. по инженерно-геологич. свойствам горных пород и методам их изучения. Т. II, Изд. АН СССР, 1957.

Скворцов Г. Г., Романовская Л. И. Инженерно-геологические исследования и прогнозы при разведке месторождений полезных ископаемых. Изд. «Недра», 1966.

Соколов Д. С. Инженерно-геологическая съемка для гидроэнергетического строительства. Гостенергоиздат, 1947.

Справочник по инженерной геологии. Под ред. М. В. Чурнова. Изд. «Недра», 1968.

Трофименков Ю. Т. Полевые методы исследования грунта, применяемые за рубежом и их внедрение в отечественную практику. Докл. на Совещании по вопросам гр. и фунда. ИГО при НИМОСТ АС. Госстройиздат, 1958.

Трофименков В. Е. Ускоренные методы инженерно-геологических изысканий. Сб. «Основания фундаментов и мех. грунтов», № 2. Госстройиздат, 1959.

Трофименков Ю. Т., Воробков Л. Н., Смирницкий А. И., Бенедиктов Л. А. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. Госстройиздат, 1964.

Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения, т. I, 1954 и т. II, 1957. Изд. АН СССР.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |        |
|--|--------|
| От автора . . . . .  | Стр. 3 |
| <i>Часть первая</i>  |        |
| <i>Общие вопросы</i>   |        |
| Введение . . . . .   | 5      |
| <i>Глава I. Стадии и циклы инженерно-геологических исследований . . .</i>  | 7      |
| § 1. Стадии исследований и проектирования инженерных соору-<br>жений . . . . .   | 7      |
| § 2. Циклы и общее обоснование инженерно-геологических ис-<br>следований . . . . .   | 10     |
| <i>Глава II. Условия производства инженерно-геологических исследований</i>   | 14     |
| § 3. Экономические условия . . . . .   | 14     |
| § 4. Естественные условия . . . . .  | 15     |
| <i>Глава III. Естественные факторы, используемые для инженерно-геоло-<br/>гической оценки местности . . . . .</i>                            | 20     |
| § 5. Климат . . . . .  | 20     |
| § 6. Рельеф и геоморфологические условия . . . . .   | 21     |
| § 7. Тектонические особенности местности и условия залегания<br>пород . . . . .  | 32     |
| § 8. Литологические, петрографические особенности пород и<br>показатели их физико-технических свойств . . . . .                              | 40     |
| § 9. Гидрогеологические условия . . . . .  | 47     |
| § 10. Физико-геологические процессы . . . . .  | 48     |
| § 11. Инженерно-геологическая оценка естественных факторов<br>в зависимости от возможного влияния типа и конструкции<br>сооружения . . . . . | 49     |
| <i>Глава IV. Методы получения инженерно-геологической информации . .</i>   | 54     |
| § 12. Инженерно-геологическое описание местности и пород . . .   | 54     |
| 1. Наземные наблюдения . . . . .   | 54     |
| 2. Аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения . . . . .  | 61     |
| § 13. Горные и буровые выработки и зондирование . . . . .  | 65     |
| 1. Горные выработки . . . . .  | 65     |
| 2. Буровые скважины . . . . .  | 69     |
| 3. Зондирование (пенетрация) . . . . .   | 72     |
| 4. Динамическое зондирование . . . . .   | 73     |
| 5. Статическое зондирование . . . . .  | 74     |
| 6. Определение плотности песчаных отложений и модуля их<br>деформации . . . . .  | 80     |

|   |     |
|---|-----|
| 7. Микропенетрация . . . . .  | 83  |
| 8. Испытание прочности пород методом резания (искиметрия) . . . . .   | 84  |
| § 14. Геофизические методы . . . . .  | 86  |
| 1. Электроразведка . . . . .  | 87  |
| 2. Сейсморазведка . . . . .   | 90  |
| 3. Радиоволновое профилирование (РВПУ) . . . . .  | 92  |
| 4. Метод подземной регистрации космического излучения (ПРКИ) и возможности его применения для решения некоторых инженерно-геологических задач . . . . . | 94  |
| 5. Радиоактивные методы . . . . .   | 99  |
| § 15. Геоботанический метод . . . . .   | 102 |
| § 16. Обследование состояния инженерных сооружений . . . . .  | 104 |
| § 17. Лабораторные методы изучения физико-технических свойств пород . . . . .   | 109 |
| § 18. Полевые методы изучения физико-технических свойств пород . . . . .  | 117 |
| 1. Методы определения деформативных характеристик горных пород . . . . .  | 118 |
| 2. Методы определения прочностных характеристик горных пород . . . . .  | 122 |
| § 19. Стационарные инженерно-геологические наблюдения . . . . .   | 127 |

## Часть вторая

### Инженерно-геологические поиски, разведка и опробование горных пород

|   |     |
|---|-----|
| Глава V. Инженерно-геологические поиски . . . . .   | 135 |
| § 20. Общие соображения . . . . .   | 135 |
| § 21. Подготовительный период. Составление рабочей гипотезы об инженерно-геологических условиях изучаемого района и проекта работ . . . . . | 138 |
| § 22. Полевой период и камеральные работы . . . . .   | 140 |
| 1. Описание местности и обнажений . . . . .   | 140 |
| 2. Применение метода ключевых участков при инженерно-геологическом районировании . . . . .  | 141 |
| 3. Горнопроходческие и буровые работы . . . . .   | 142 |
| 4. Геофизические работы . . . . .   | 145 |
| 5. Лабораторные работы . . . . .  | 145 |
| 6. Камеральные работы . . . . .   | 146 |
| Глава VI. Инженерно-геологическая разведка . . . . .  | 147 |
| § 23. Общие сведения . . . . .  | 147 |
| 1. Выделение инженерно-геологических элементов . . . . .  | 147 |
| 2. Расчетная инженерно-геологическая схема естественного основания сооружения . . . . .   | 155 |
| 3. Выбор расчетных показателей физико-технических свойств пород . . . . .   | 157 |
| 4. Выбор рациональных способов борьбы с неблагоприятными инженерно-геологическими и физико-геологическими процессами . . . . .              | 159 |
| § 24. Этапы инженерно-геологической разведки . . . . .  | 160 |
| 1. Предварительная и детальная разведка . . . . .   | 160 |
| 2. Инженерно-геологическая разведка в процессе строительства сооружений . . . . .   | 160 |
| § 25. Горно-буровые разведочные работы . . . . .  | 164 |
| 1. Определение типа разведочных выработок . . . . .   | 164 |

|   |            |
|---|------------|
| 2. Размещение горно-буровых выработок . . . . .   | 165        |
| § 26. Лабораторные работы . . . . .   | 174        |
| § 27. Опытные работы и стационарные наблюдения . . . . .  | 175        |
| <b>Глава VII. Инженерно-геологическое опробование горных пород . . . . .</b>  | <b>181</b> |
| § 28. Общие положения . . . . .   | 181        |
| § 29. Закономерности инженерно-геологической изменчивости горных пород . . . . .  | 183        |
| § 30. Методы инженерно-геологической оценки массивов горных пород . . . . .   | 194        |
| 1. Косвенный метод . . . . .  | 194        |
| 2. Метод инженерно-геологических аналогий . . . . .   | 196        |
| 3. Метод типизации . . . . .  | 200        |
| 4. Естественно-статистический метод . . . . .   | 201        |
| 5. Статистический метод . . . . .   | 202        |
| 6. Механико-математические методы . . . . .   | 203        |
| § 31. Определение системы инженерно-геологического опробования пород . . . . .  | 205        |
| 1. Выбор метода инженерно-геологической оценки массива горных пород . . . . .   | 205        |
| 2. Определение количества проб и выбор мест их взятия . . . . .   | 206        |
| § 32. Отбор проб . . . . .  | 217        |
| 1. Методы отбора проб . . . . .   | 217        |
| 2. Технические приемы отбора проб . . . . .   | 225        |
| 3. Способы отбора проб из открытых горных выработок . . . . .   | 227        |
| 4. Способы отбора проб из буровых скважин . . . . .   | 228        |
| § 33. Консервирование, хранение и транспортировка проб горных пород . . . . .   | 236        |
| § 34. Обработка и анализ проб . . . . .   | 237        |
| § 35. Обработка экспериментальных данных и выбор расчетных значений показателей физико-технических свойств горных пород . . . . . | 240        |
| 1. Обработка экспериментальных данных . . . . .   | 240        |
| 2. Выбор расчетных значений показателей и степень инженерно-геологической однородности пород . . . . .                            | 245        |
| § 36. Общая схема производства инженерно-геологических исследований . . . . .   | 254        |
| 1. Цели разделения инженерно-геологических исследований на стадии и циклы . . . . .   | 254        |
| 2. Последовательность инженерно-геологических исследований . . . . .  | 258        |

### Часть третья

#### Состав и содержание отчетных документов об инженерно-геологических исследованиях

|  |            |
|--|------------|
| <b>Глава VIII. Инженерно-геологические карты и принципы их составления . . . . .</b>     | <b>261</b> |
| § 37. Карты и их классификация . . . . .   | 261        |
| § 38. Общие принципы составления инженерно-геологических карт . . . . .                  | 263        |
| 1. Аналитические инженерно-геологические карты . . . . .                                 | 263        |
| 2. Синтетические инженерно-геологические карты . . . . .                                 | 268        |
| § 39. Инженерно-геологические разрезы, колонки, графики, зарисовки, фотографии . . . . . | 304        |
| 1. Инженерно-геологические разрезы . . . . .   | 304        |
| 2. Инженерно-геологические колонки . . . . .   | 305        |
| 3. Графики, зарисовки, фотографии . . . . .  | 306        |

Глава IX. Текстовая часть отчета и инженерно-геологические заключения

|   |       |
|---|-------|
| § 40. Отчет   | ..... |
| 1. Общая часть  | ..... |
| 2. Специальная часть                                    | ..... |
| 3. Инженерно-геологическая записка к проекту сооружения | ..... |
| § 41. Инженерно-геологические заключения                | ..... |

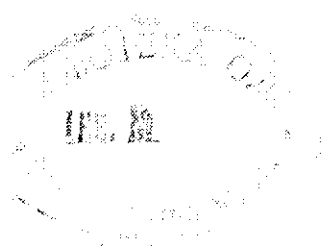
Приложения:

Приложение 1. Техническое заключение об инженерно-геологических условиях участка строительства производственного лабораторного корпуса в Москве

Приложение 2. Заключение об инженерно-геологических условиях участка Белого корпуса Московского геологоразведочного института им. С. Орджоникидзе

Приложение 3. Экспертные заключения

Л и т е р а т у р а



310

310

311

312

315

315

317

322

326

336

*Коломенский Николай Васильевич*

**ОБЩАЯ МЕТОДИКА  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Художник А. Е. Чуланов*

*Редактор издательства И. А. Сергеева*

*Научный редактор Н. В. Родионов*

*Технический редактор Т. М. Шалькова*

*Корректор Г. А. Меркулова*

---

Сдано в производство 14/XI 1967 г.  
Подписано к печати 23/I 1968 г.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бум. № 1.  
Печ. л. 22,25 с вкл. Уч.-изд. л. 22,62.  
Т-01042. Тираж 9600 экз.  
Зав. № 1254/2520-2. Цена 97 коп.  
Индекс 1—1—1.

---

Издательство «Недра». Москва, К-42.  
Третьяковский проезд, 1/19.  
Ленинградская типография № 14  
«Красный Печатник» Главполиграфпрома  
Комитета по печати  
при Совете Министров СССР.  
Московский пр., 91.