МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ МАСШТАБА 1:200 000

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель Министра геологии
СССР
В. А. ЯРМОЛЮК
31 декабря 1974 года

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ МАСШТАБА 1:200000 (1:100000—1:500000)

2329

МОСКВА «НЕДРА» 1978

Геологических Наук АН Армянской ССР
Институт

УДК 556.3

Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000). М., «Недра», 1978, 391 с. (ВСЕГИНГЕО).

В Руководстве изложены цели, задачи, содержание и методы инженерно-геологической съемки м-ба 1 : 100 000 — 1 : 500 000. Излагаются требования к изучению компонентов инженерно-геологических условий, а также свойств горных пород и современных геологических процессов. Охарактеризованы отдельные методы, используемые при инженерно-геологической съемке. *Рассматриваются вопросы рационального* комплексирования отдельных полевых методов, описываются методы выбора ключевых участков и опорных маршрутов при проведении съемочных работ. Указано назначение и содержание инженерно-геологической документации, методы ее составления и математической обработки; изложена также методика составления инженерно-геологических карт и разрезов. Приводится большой набор отдешефрированных плановых и перспективных аэрофотоснимков различных районов СССР.

Книга рассчитана на широкий круг геологов, занятых как в области инженерно-геологической съемки, так и специально изучающих отдельные вопросы инженерной геологии.

Табл. 88, ил. 173, список лит. — 198 назв.

Редакционная коллегия: Г. К. БОНДАРИК, С. В. ВИКТОРОВ, И. С. ГУДИЛИН, А. А. ЗАБУЗОВ, Е. С. МЕЛЬНИКОВ, В. И. ФЕРРОНСКИЙ, Е. Г. ЧАПОВСКИЙ, М. В. ЧУРИНОВ.

Ответственный редактор Е. С. МЕЛЬНИКОВ

М $\frac{20806-057}{043(01)-78}$ 39—78

© Издательство «Недра», 1978

ПРЕДИСЛОВИЕ

Инженерно-геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 является составной частью государственного геологического картирования и служит основой размещения крупных объектов народного хозяйства массового типа и планирования более детальных инженерно-геологических исследований. Ее материалы представляют научную базу для прогноза влияния хозяйственного освоения на окружающую среду и планирования мероприятий по ее охране.

Инженерно-геологическая съемка представляет собой самостоятельный комплекс полевых исследований, имеющих целью региональное картирование компонентов инженерно-геологических условий — горных пород и их инженерно-геологических свойств, геокриологических и гидрогеологических условий, современных геологических и инженерно-геологических процессов, а также элементов физико-географической среды, воздействующих на инженерно-геологические условия — т. е. всего того, что имеет значение для выбора мест расположения комплексов сооружений и оценки условий их строительства и эксплуатации.

В связи с отсутствием единых требований качество выполняемых инженерно-геологических съемок в различных районах неодинаково: инженерно-геологические карты составляются по разным условным обозначениям, материалы этих съемок часто несопоставимы.

Настоящее Методическое руководство составлено Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) и Вторым гидрогеологическим управлением совместно с рядом сотрудников геологического факультета МГУ и МГРИ с целью унификации требований к проведению инженерно-геологической съемки, к содержанию и полноте инженерно-геологических карт разных районов.

В Руководстве излагаются традиционные и новые методы инженерно-геологической съемки и особенности их применения при составлении инженерно-геологических карт разных районов. Несмотря на то что методическое руководство разработано применительно к основному масштабу го-

сударственного геологического картирования 1 : 200 000, оно может принести определенную пользу и при инженерно-геологических съемках более крупных масштабов, так как целый ряд требований к содержанию и методам съемки, полевой документации и обработки инженерно-геологической информации являются общими при любых масштабах.

Составной частью Методического руководства является описание эталонных аэрофотоснимков. В редактировании отдельных глав монографии принимал участие Н. В. Коломенский. Редакционная коллегия выражает глубокую благодарность рецензентам Г. А. Голодковской и И. С. Комарову за ценные советы, сделанные при просмотре рукописи. Поскольку настоящее Руководство составлено впервые, авторы допускают возможные недостатки и просят все критические замечания и пожелания направлять во ВСЕГИНГЕО.

Часть I

СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Глава 1

ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

ЦЕЛЕВОЕ НАЗНАЧЕНИЕ И ЗАДАЧИ СЪЕМКИ

Инженерно-геологическая съемка представляет собой комплекс полевых, лабораторных и камеральных исследований, проводимых для площадной оценки инженерно-геологических условий. Съемка масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000) является государственной и проводится, как правило, в комплексе (одновременно) с геологической и гидрогеологической съемками масштаба 1 : 200 000.

Целью инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 200 000 является оценка геологических и других природных условий, определяющих выбор местоположения территориальных комплексов объектов массового строительства неглубокого заложения (промышленного, гражданского, дорожного, аэродромного, трубопроводного, мелиоративного).

Основным результирующим документом съемки является карта инженерно-геологических условий, используемая для планирования размещения и проектирования на стадии ТЭО крупных объектов строительства (составления районных планировок, схем использования поверхностных водотоков; выбора трасс линейных сооружений — железных и шоссейных дорог, трубопроводов и ЛЭП), для планирования и проектирования инженерно-геологических съемок более крупных масштабов, для создания специализированных инженерно-геологических карт, в том числе карт инженерно-геологического районирования.

Основными задачами инженерно-геологической съемки являются: 1) характеристика инженерно-геологических условий, т. е. всего комплекса компонентов геологической обстановки, определяющих условия устойчивости и работы сооружений и оказывающих влияние на выбор их местоположения, тип конструкции, методы строительства и режима эксплуатации; 2) установление взаимосвязей между отдельными компонентами инженерно-геологических условий; 3) выявление закономерностей пространственного изменения инженерно-геологических условий; 4) выявление взаимодействия природных процессов с существующими инженерными сооружениями; 5) общий прогноз изменения инженерно-геологических условий как в естественных условиях, так и под влиянием общестроительных мероприятий (земляных работ, изменения стока поверхностных вод, уничтожения растительного и снежного покрова и др.).

Важнейшими компонентами инженерно-геологических условий являются: геологическое строение (положение в тектонической структуре, условия залегания и состав пород), геоморфологические, геокриологические и гидрогеологические условия, современные геологические процессы, физико-механические свойства горных пород. Весьма важно изучение воздействующих на эти компоненты элементов внешней среды — поверхностных вод, растительности, климата и др. Значение каждого компонента в комплексе инженерно-геологических условий в разных

районах неодинаково. Но во всех случаях при инженерно-геологической оценке местности их необходимо рассматривать во взаимосвязи.

Глубинность инженерно-геологической съемки определяется ее целью и основными задачами. Следует различать общую глубинность изучения инженерно-геологических условий и глубинность горно-буровых работ. Общая глубинность должна быть достаточна для того, чтобы понять геологическую историю изучаемой территории и выявить связи компонентов приповерхностных инженерно-геологических условий с глубоко залегающими горными породами, подземными водами, многолетнемерзлыми толщами, эндогенными и некоторыми экзогенными геологическими процессами. Для этой цели широко используются материалы предшествовавших (или проводимых одновременно) геологической и гидрогеологической съемок, а также данные региональных геофизических исследований и собственные геофизические работы.

Глубинность горно-буровых работ в каждом конкретном районе определяется отдельно в зависимости от изученности территории и взаимосвязей отдельных компонентов инженерно-геологических условий. Общее для всех районов требование — изучение такой толщи горных пород, которая может быть вовлечена в сферу воздействия инженерных сооружений массового строительства. В большинстве случаев глубина картировочных выработок не должна превышать 10—20 м.

Такая глубина соответствует величине толщи грунтового основания, сжимаемой под нагрузкой.

Качество инженерно-геологической съемки, достоверность ее выводов определяются обоснованностью фактическим материалом всех компонентов инженерно-геологических условий, минимальными размерами отображаемых на карте объектов картирования и точностью проведения границ. Число точек наблюдения и опробования определяется отдельно для каждого района в зависимости от: 1) сложности и характера изменчивости компонентов инженерно-геологических условий; 2) состояния инженерно-геологической изученности района; 3) наличия или отсутствия геологических и гидрогеологических карт масштаба съемки.

При наличии геологической и гидрогеологической основы объем фактического материала инженерно-геологической съемки определяется первыми двумя условиями.

При отсутствии геологической и гидрогеологических карт инженерно-геологическая съемка проводится в комплексе с геологической и гидрогеологическими съемками масштаба 1 : 200 000 и определение общего объема фактического материала проводится с учетом требований соответствующих методических руководств по этим съемкам.

Государственное инженерно-геологическое картирование производится обычно в масштабе 1 : 200 000. Однако в районах с простыми инженерно-геологическими условиями этот масштаб может быть уменьшен до 1 : 500 000, в районах со сложными условиями — увеличен до 1 : 100 000. Любое изменение масштаба государственного инженерно-геологического картирования требует своего обоснования и разрешения Министерства геологии СССР.

Сложность инженерно-геологических условий определяется следующим образом (по СУСН с добавлениями):

простые однородные геоморфологические условия — в геологическом строении верхней 10-метровой толщи принимают участие не более 3 слоев горных пород, различных по номенклатуре, возрасту и генезису с горизонтальным или пологим залеганием. Уровни грунтовых вод выдержаны по площади. Горные породы находятся в талом состоянии. Современные геологические процессы не развиты;

средней сложности неоднородные геоморфологические условия — в геологическом строении верхней 10-метровой толщи принимают участие более 3 слоев горных пород, часто залегающих наклонно или выклинивающихся. В слоях грунта одного и того же номенклатурного вида возможны включения прослоев и линз других

видов. Положение уровня грунтовых вод испытывает значительные колебания по площади. Температура многолетнемерзлых горных пород ниже —3° С. Современные геологические процессы развиты незначительно на ограниченных участках. Деформации существующих сооружений редки и незначительны;

сложные условия отличаются теми же признаками, но, кроме того, многолетнемерзлые горные породы имеют температуру до —3° С. Современные геологические процессы, имеющие существенное инженерное значение, развиты широко, а деформации существующих сооружений часты и значительны.

Минимальные размеры объектов, изображаемых на картах, масштаба 1 : 200 000 — 0,36 км²; 1 : 100 000 — 0,1 км² и 1 : 500 000 — 2,25 км². Объекты, особенно важные в инженерно-геологическом отношении, картируются независимо от их размеров и при малых величинах показываются внемасштабным знаком. Точность проведения границ на картах ±1 мм. Государственная инженерно-геологическая карта масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000) составляется в полистной разграфке.

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ

Инженерно-геологическая карта представляет собой графическое изображение компонентов инженерно-геологических условий картируемой территории.

Из-за сложности и недостаточной разработанности методики инженерно-геологического картирования у специалистов в области инженерной геологии существуют самые различные точки зрения на принципы составления инженерно-геологических карт, их содержание и способы изображения компонентов инженерно-геологических условий. Поэтому до настоящего времени в различных организациях составляются карты настолько разного содержания, информативности и используемых способов изображения, что их часто трудно сопоставить между собой.

Такое положение при государственном картировании недопустимо, и поэтому настоящее Методическое руководство имеет своей целью унификацию требований к составлению инженерно-геологических карт.

Прежде чем перейти к изложению требований к содержанию инженерно-геологической карты масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000), отметим, что по своему назначению эти карты в конечном счете предназначены для использования организациями, планирующими и проектирующими строительство объектов народного хозяйства. Все эти организации в своей деятельности руководствуются Строительными нормами и правилами (СНиП) Государственного комитета Совета Министров СССР по делам строительства. Очевидно, что государственная инженерно-геологическая карта должна в основном содержать сведения, сопоставимые с информацией об инженерно-геологических условиях, требуемых СНиП.

Безусловно, для масштабов 1 : 100 000—1 : 500 000 эти сведения могут быть менее детальными, чем те, которые используются непосредственно при проектировании отдельных сооружений, но преемственность в содержании среднемасштабных и крупномасштабных карт должна быть соблюдена. Эта информация включает сведения о геологическом строении, петрографическом составе, состоянии и физико-механических свойствах горных пород, о гидрогеологических условиях, о неблагоприятных современных геологических процессах и явлениях.

Горные породы являются основным объектом изучения инженерной геологии. Они содержат подземные воды, в них происходят современные геологические и инженерно-геологические процессы; горные породы служат основанием для инженерных сооружений. Для целей картирова-

ния в зависимости от условий залегания, состава, состояния и свойств горные породы объединяются в геологические тела разного ранга*.

Согласно СНиП II-15-74 (см. прилож. I) горные породы, используемые в качестве основания зданий и сооружений, подразделяются на скальные и нескальные (крупнообломочные, песчаные и глинистые). При определении пригодности горных пород в качестве основания требуется определение их видов (по зерновому составу для крупнообломочных и песчаных, по пластичности для глинистых и по состоянию для мерзлых пород) и разновидностей (по влажности и плотности для песчаных, по влажности и выветрелости для крупнообломочных, по просадочности, набуханию и консистенции для глинистых и по содержанию растительных остатков для песчаных и глинистых пород).

Скальные породы разделяются на разновидности в зависимости от временного сопротивления одноосному сжатию в водонасыщенном состоянии, коэффициента размягчаемости, степени выветрелости и растворимости.

На инженерно-геологических картах масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000) невозможно показать виды и разновидности горных пород, но необходимо отразить их закономерные сочетания, характеризующиеся общностью условий залегания и изменением состава и свойств пород. На инженерно-геологических картах масштаба 1 : 200 000 (1 : 500 000) должны быть показаны следующие таксономические соподчиненные единицы геологических тел: 1) стратиграфо-генетические комплексы горных пород и 2) составляющие их литолого-генетические (или фациальные) комплексы.

Стратиграфо-генетические комплексы горных пород представляют совокупность горных пород одного генезиса и возраста, сформировавшихся в единой физико-географической и тектонической обстановке. Принадлежность стратиграфо-генетических комплексов к одному структурному этажу, к единой геологической формации и генетическому типу пород определяет условия залегания, состав, текстурные и структурные особенности, а также характер изменения петрографического состава. Принадлежность стратиграфо-генетических комплексов к тем или иным формациям (и генетическим типам отложений) определяется следующими соображениями:

1. В пределах развития одной формации могут быть встречены совершенно определенные стратиграфо-генетические и фациальные комплексы отложений, находящиеся между собой в определенных пространственных и количественных соотношениях.

2. Принадлежность комплексов к той или иной формации позволяет судить о вероятных мощностях отложений единого петрографического состава и условиях их залегания. Возрастная и генетическая общность горных пород свидетельствует о единстве диагенетических, эпигенетических и гипергенетических преобразований осадков.

Для горных пород, объединяемых по признаку единого возраста и происхождения, характерны общность основных породообразующих факторов, размещение в пространстве и механизм их взаимодействия (наличие одной и той же области питания, одной сферы транспортировки материала и т. п.). Вследствие этого стратиграфо-генетический комплекс горных пород имеет единые главные направления изменчивости свойств. Стратиграфо-генетический комплекс, как правило, со-

---

* Геологическое тело — часть пространства, занятая горными породами, вмещающими подземные воды и другие компоненты и выделенная по некоторому признаку (комплексу признаков). За пределами этой части пространства признак (комплекс признаков) отличается от тех, по которым выделено геологическое тело. Например, для всех пород, выделяемых по принадлежности к генетическому типу, таким признаком служит генезис, а для пород, объединяемых в петрографический тип, комплексом признаков служит петрографический состав.

стоит из различных горных пород, отличающихся петрографическим составом и физико-механическими свойствами, т. е. обладает фациальной изменчивостью.

Породы одного петрографического состава в пределах фациального комплекса отличаются одинаковым режимом изменчивости показателей свойств. Оценка размаха колебаний классификационных показателей состава, состояния и свойств горных пород позволяет определить их принадлежность к видам и разновидностям по СНиП. Следует заметить, что выделение на карте фациальных комплексов часто бывает затруднительно в силу небольшой величины площадей, занимаемых каждой геологической фацией, или вследствие отсутствия разработанных критериев фациальной принадлежности для некоторых отложений (например, континентальных четвертичных). В этих случаях на инженерно-геологической карте показываются выделяемые в данном масштабе сочетания горных пород разного литологического состава (пески с прослоями и линзами супесей, суглинков; пески и супеси, суглинки и др.) или породы одного литологического состава (пески, глины, супеси и др.).

Помимо выделения геологических тел важной характеристикой геологического строения на инженерно-геологических картах являются тектонические условия. Учитывая, что инженерно-геологическая карта составляется на готовой геологической основе, обязательным компонентом которой является тектоника, на карте показываются тектонические элементы, имеющие существенное инженерно-геологическое значение,— «живые» разломы, зоны дробления, элементы залегания горных пород, вулканы и др. Учитывая необходимость отражения инженерно-геологических условий до глубины 10—15 м, карта масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000) в тех местах, где мощность первого от поверхности стратиграфо-генетического комплекса горных пород менее 10 м, должна быть двухслойной.

Для освещения геологического строения на глубинах более 10 м служат разрезы.

Наиболее существенными из возможных состояний горных пород являются их многолетнее промерзание и оттаивание. Многолетнемерзлые горные породы занимают более 47% территории Советского Союза и их состояние имеет исключительно важное значение для оценки инженерно-геологических условий.

Согласно СНиП II-18—76 (см. прилож. II) в районах развития многолетнемерзлых горных пород должны изучаться распространение и залегание многолетнемерзлых горных пород, их состав, сложение и строение, температурный режим, сезонное оттаивание — промерзание, физико-механические свойства многолетнемерзлых и оттаивающих горных пород.

На инженерно-геологической карте должны быть показаны важнейшие из перечисленных компонентов: характер распространения, температура и мощность многолетнемерзлых пород, содержание в них ледяных тел, тип сезонного протаивания — промерзания, суммарная влажность (льдистость) многолетнемерзлых пород и их состояние после оттаивания.

Одно из основных требований СНиП к инженерно-геологическим изысканиям заключается в определении положения и колебаний уровня грунтовых вод и их агрессивности. На инженерно-геологических картах масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000) показываются интервалы глубин залегания вод первого от поверхности водоносного горизонта и вид агрессивности воды. Более детальные сведения о гидрогеологических условиях могут быть получены из гидрогеологической карты того же масштаба.

Обязательным элементом инженерно-геологических карт является показ распространения современных геологических процессов и явлений как важнейших компонентов инженерно-геологических условий. Для наиболее существенных при инженерной оценке местности процессов и явлений (селей, оползней, термокарста, солифлюкции, многолетнего морозного пучения) оценивается степень пораженности площади их распространения, что позволяет сравнивать разные участки развития этих процессов. Поскольку современные геологические процессы являются наиболее динамичными компонентами инженерно-геологических условий, они показываются на инженерно-геологических картах даже в том случае, когда занимают весьма малую площадь, не выражаемую в масштабе картирования. Аналогичное требование относится к показу инженерно-геологических процессов.

Кроме перечисленных компонентов инженерно-геологических условий на карте показываются отдельные характеристики рельефа местности и гидрологии, а также участки, перспективные для поисков и разведки месторождений строительных материалов. Чтобы облегчить чтение и без того насыщенных информацией инженерно-геологических карт, характеристика классификационных показателей горных пород одного литологического состава (размах колебаний показателей, статистические характеристики и обобщенные показатели свойств пород) показывается в табличной форме в пояснительной записке (отчета).

В отдельных случаях при значительной изменчивости какого-либо показателя инженерно-геологических условий или для облегчения читаемости загруженной карты могут составляться карты отдельных компонентов таких условий, например карта развития современных геологических процессов, карта типов сезонного промерзания — протаивания и пр.

Все эти случаи должны быть заранее предусмотрены проектом съемочных работ и согласованы с Территориальным геологическим управлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 1

1. *Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И.* Полевые методы инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1967. 372 с. с ил.

2. *Инструкция* по составлению унифицированных основных инженерно-геологических карт. М., 1966. 56 с. (СЭВ. Постоянная комиссия по геологии).

3. *Коломенский Н. В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968. 335 с. с ил.

4. *Методическое* руководство по геологической съемке и поискам. М.—Л., Госгеолтехиздат, 1954. 508 с. с ил.

5. *Методическое* руководство по гидрогеологической съемке масштабов 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. Под общ. ред. А. А. Маккавеева и А. С. Рябченкова. М., Госгеолтехиздат, 1961. 319 с.

6. *Организация* и производство работ по геологической съемке четвертичных отложений в масштабах 1 : 200 000 и 1 : 100 000. М., «Недра», 1971. 94 с., 9 л. ил.

7. *Попов И. В.* Инженерная геология СССР. Ч. 1. Общие основы региональной инженерной геологии. М., Изд-во МГУ, 1961. 178 с.

8. СНиП II—А 13—69. Инженерные изыскания для строительства. Строительные нормы и правила. Ч. 2. Раздел А. Гл. 13. Основные положения. М., 1970. 23 с.

9. СНиП II — 15—74. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. М., 1975. 64 с.

10. СНиП II—18—76. Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования. М., 1976. 46 с.

Глава 2

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Под этими условиями понимаются: географическое положение (широта, долгота, бассейн моря или крупной речной артерии), административная принадлежность (республика, край, область и их центры), рельеф, климат, поверхностные воды, почвенный и растительный покров, население и народнохозяйственное освоение территории.

Географическое положение и административная принадлежность пояснений не требуют; остальные компоненты географической обстановки должны в той или иной степени изучаться (преимущественно до выезда в поле по литературным и фондовым материалам, но частично и в полевой период на местности). В частности, обильный материал о них может быть почерпнут из республиканских, краевых и областных географических атласов. Их изучению посвящены нижеприведенные разделы.

Изучение этих компонентов должно дать исходные данные для: 1) планирования организации и методики проведения съемочных работ; 2) оценки географических условий как инженерно-геологического фактора при последующем строительстве и освоении картируемой территории.

РЕЛЬЕФ

При оценке инженерно-геологических условий территории характеристика ее рельефа имеет важное значение. В настоящем параграфе рассматривается роль количественных показателей современного рельефа.

Гипсометрическое положение местности существенно влияет на инженерно-геологические условия в связи с зависимостью от нее климатических особенностей, расчлененности рельефа и проявления современных геологических процессов.

Колебание относительных высот характеризует интенсивность вертикального расчленения местности. Как правило, интенсивное расчленение в общем неблагоприятно для строительства, но для отдельных его видов, например гидротехнического и курортного, оно позволяет использовать большие разности высот для рациональных инженерных решений.

Вертикальное расчленение количественно выражается так называемой энергией рельефа—разностью между максимальной и минимальной отметками в пределах одного квадратного километра. Аналогично выражается и горизонтальное расчленение местности, которое характеризуется густотой долинно-балочной сети в километрах на 1 км^2 площади. Соответственно при необходимости сопоставления интенсивности расчленения разных частей территории могут составляться (как вспомогательные) карты энергии рельефа и густоты долинно-балочной сети.

Помимо величины наклона склонов имеет значение их форма (прямолинейная, выпуклая, вогнутая, ступенчатая), от которой зависят общий план размещения сооружений, объемы земляных работ, а также развитие и интенсивность современных геологических и инженерно-геологических процессов.

При производстве инженерно-геологической съемки рельеф местности изучается, как правило, по топографической основе, а также аэрофотоснимкам.

Более детальная характеристика рельефа отдельных участков может быть получена путем аэровизуальных наблюдений и отдельных наземных измерений (путем технической или барометрической нивелировки, замеров крутизны склонов горным компасом или эклиметром).

КЛИМАТ

Колебания температуры воздуха и особенно понижение ее до отрицательной существенно влияют на инженерно-геологические свойства горных пород и их выветриваемость. Свойства глинистых пород в значительной степени определяются их влажностью, которая зависит от осадков, ветра, температуры воздуха и т. п. На интенсивность современных геологических и инженерно-геологических процессов оказывают большое влияние целый ряд климатических факторов. Условия проведения изысканий и строительных работ также зависят от климатической обстановки. Наконец, сохранность и условия эксплуатации возводимых сооружений зависят от климатических факторов, которые должны учитываться при проектировании. Эти факторы рассматриваются в строительных нормах и правилах (СНиП II—А—6—72), где в ряде таблиц по данным гидрометеорологической службы приводятся величины различных показателей — средние, крайние и расчетные для проектирования. При этом для территорий распространения многолетнемерзлых и просадочных горных пород требуется учет дополнительных данных (СНиП II—18—76).

Сведения о климатических (метеорологических) факторах могут быть почерпнуты из справочника «Климат СССР», а также из отдельных республиканских, краевых и областных справочников, изданных за последние годы и имеющихся в библиотеках. Эти сведения могут также собираться в организациях Главного управления гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, обладающей разветвленной сетью метеорологических станций и постов на территории нашей страны. Данные о метеорологических условиях картируемой территории можно получить на ближайших станциях и постах Гидрометслужбы, а при необходимости и в ее центральных организациях.

Важнейшими элементами климата, воздействующими на формирование инженерно-геологических условий, которые необходимо учитывать при проведении инженерно-геологической съемки и отражать в отчетах, являются: 1) температура воздуха (°С); наиболее показательными являются среднегодовая температура, годовая амплитуда колебаний среднемесячных температур, а также максимальная и минимальная для данной территории (с фиксацией месяцев, в которых она наблюдалась); 2) общая продолжительность морозного периода (в месяцах и днях), средне-многолетние данные о датах его начала и конца, максимальные морозы и их продолжительность; 3) влажность воздуха (в %) — относительная и абсолютная, распределение ее по месяцам и сезонам, число дней с дождями и туманами; 4) осадки (в мм), их виды, средне-многолетняя сумма за год, по сезонам и месяцам, максимум и минимум с соответствующими датами; периодичность ливневых дождей; 5) снежный покров (продолжительность, средняя и максимальная толщина (в см); максимальная средняя плотность снега (в г/см^3); его распределение в зависимости от рельефа и растительности; 6) гололед (особенно необходимо учитывать его влияние при строительстве дорог и линий электропередач), распределение его по месяцам; 7) ветры, их преобладающее направление (по румбам, графически нагляднее всего, в виде розы ветров) по сезонам, частота и скорость (в м/с), число дней с метелями, их распределение по месяцам; 8) инсоляция — число солнечных дней и часов в году, суммарная сол-

нечная радиация и величина радиационного баланса; 9) температура почвы (°С) и данные о глубине ее сезонного промерзания — протаивания (в м).

При использовании наблюдений метеорологических станций и постов в пределах картируемой территории или на прилегающих к ней площадях следует учитывать их расположение на местности и соответственно возможность экстраполяции или интерполяции данных. Так, например, метеорологическая станция, расположенная в оазисе, не будет характеризовать климат окружающей пустынной территории. Данные метеостанции, расположенной в предгорной долине, не могут быть использованы для климатической характеристики прилегающих горных областей, а материалы станции, находящейся среди большого города,— для характеристики метеорологических условий окружающей местности. И, наоборот, данные же станций, расположенных в аналогичной природной обстановке, могут экстраполироваться на значительные расстояния. Вообще все сведения о метеорологических условиях территории следует рассматривать во взаимосвязи, поскольку характерные черты климата определяются лишь в комплексе взаимодействующих метеорологических и других природных факторов (рельеф, поверхностные воды, растительность и др.).

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

Инженерно-геологическое значение поверхностных вод очень велико. Эрозионная деятельность водотоков и абразионные процессы по берегам водоемов являются мощными факторами, преобразующими рельеф местности (образование и рост оврагов и речных долин, абразия морских берегов, образование конусов выносов, отмелей и др.). Это, в свою очередь, является причиной возникновения и развития гравитационных процессов, в результате которых изменяются условия проектирования и строительства, разрушаются или заносятся аллювием уже возведенные сооружения. Наконец, поверхностные воды тесно взаимосвязаны с подземными.

При проведении инженерно-геологической съемки необходимо дать общую гидрологическую характеристику главнейшим как естественным, так и искусственным водотокам и водоемам, характеристику химизма поверхностных вод, их минерализации и агрессивности по отношению к бетону.

Для главнейших рек должны быть получены данные об их длине, площади водосбора, а для отдельных характерных пунктов в пределах картируемого листа также о ширине и глубине, скорости течения и расходе реки, высоте подъема уровня в паводки, площади затопления. Значения расходов, как правило, должны относиться к меженному периоду, но для рек, использование которых (или размывающая деятельность которых) имеет важное практическое значение, желательно приводить гидрограф и график колебания уровня реки по месяцам или сезонам.

Более детально должны быть собраны сведения о размывающей и аккумулирующей деятельности рек, а также временных водотоков, способствующих росту овражной сети. За период съемочных работ следует организовать простейшие стационарные наблюдения с целью оценки их скорости и интенсивности.

Для морей, водохранилищ и больших озер должны быть получены сведения о площади зеркала, о глубинах и их распределении по площади, прибрежных течениях (направлении, скорости) и волнениях, их частоте, средней и максимальной высоте волны. Для озер важно знать их генезис (тектонические, ледниковые, карстовые, завальные, старичные и др.), а также направление их дальнейшего развития и, в частно-

сти, степень зарастания. Для всех вышеперечисленных водоемов необходимо собрать материалы об их абразионной деятельности, включая полевые замеры и наблюдения до и после штормов и сильных волнений.

Для искусственных каналов (судоходных, оросительных, осушительных и др.) следует отметить прежде всего устойчивость их склонов и деформации прилегающих к склонам участков, случаи возникновения или усиления в связи со строительством каналов современных геологических процессов (гравитационных, суффозионных, заболачивания и засоления в связи с подъемом уровня грунтовых вод и др.).

К поверхностным водам относятся также и воды болот. Характеристика болот весьма существенна для инженерно-геологической оценки местности. Для них должны прежде всего отмечаться их площадь, мощность торфа и илистых озерно-болотных образований (глубина до твердого дна), тип болота (низинное, верховое, переходное), условия их водного питания.

В случае отсутствия гидрологических данных в процессе проведения инженерно-геологической съемки должны быть выполнены простейшие гидрометрические наблюдения. Их методика приводится в специальных инструктивных материалах.

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

В инженерно-геологическом отношении состав и характер почвенного покрова наиболее важны для дорожного, мелиоративного, аэродромного, городского и курортного строительства. Но и при всех других видах строительства (кроме глубокого подземного) характер почвенного покрова должен учитываться.

В процессе формирования почвенного покрова весьма значительную роль играет климат. Поэтому типы почв преимущественно зональны. В пределах нашей страны выделяются шесть широтных почвенных зон: 1) тундровых и лесотундровых почв; 2) дерново-подзолистых лесных почв; 3) черых лесных почв и черноземов лесостепей; 4) черноземных почв луговой степи; 5) каштановых и бурых почв сухой степи; 6) сероземов и серо-бурых почв пустынной степи и пустыни.

Кроме этих зональных типов почв широко распространены интразональные почвы: болотные, горные, засоленные и др.

Сведения о почвенном покрове картируемой территории могут быть найдены в опубликованной литературе, в частности на обзорных почвенных картах, в фондах Почвенного института АН СССР, а также в местных сельскохозяйственных организациях. В процессе инженерно-геологической съемки эти сведения должны быть дополнены наблюдениями и лабораторными определениями химического состава и водно-физических свойств различных почв и их отличий от соответствующих материнских пород.

При полном отсутствии почвенных данных в процессе съемки необходимо произвести почвенные исследования на ключевых участках в соответствии с действующим руководством по почвенной съемке («Почвенная съемка ...», 1959).

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

В последнее время установлены большие возможности использования растительности в качестве индикатора инженерно-геологических условий.

Помимо индикационного значения растительности следует учитывать ее и как непосредственный инженерно-геологический фактор, особенно существенный при строительстве дорог, ЛЭП и других линейных сооружений, а также при оценке проходимости. Весьма существенно

значение древесной растительности как естественного строительного и крепежного материала. Должны быть выяснены возможности использования для этих целей лесных массивов, расположенных на картируемой территории. Существенно также учитывать характер растительности для возможности использования ее при искусственном закреплении склонов и развеваемых песков. Наконец, растительность играет значительную теплоизолирующую роль.

Общее представление о растительности и ее связи с геолого-гидрогеологическими условиями могут быть получены по обзорным картам. Более детальная характеристика растительности имеется в лесничествах и заповедниках. При сборе материалов следует иметь в виду, что существенное значение имеет растительность любого яруса — древесного, кустарникового, надпочвенного. Необходимо получение сведений о структуре растительного покрова и видовом составе, а также покрытии (в том числе сомкнутости крон деревьев), бонитете и индикационном значении.

При недостатке сведений о растительности в вышеуказанных материалах недостающие данные должны собираться в поле — в процессе индикационных ландшафтных исследований.

НАСЕЛЕНИЕ И НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ

Воздействие человека на природную обстановку — один из важнейших инженерно-геологических факторов, а также условий проведения съемочных работ. В соответствии с этим должны быть собраны сведения о: 1) населенности территории (густота населения, его национальный состав, основные занятия и возможности привлечения населения в качестве рабочей силы), населенных пунктах — их количестве и размерах; 2) транспортных условиях (наличии и густоте сети железных, шоссейных и грунтовых дорог, водных путей, авиалиний и соответствующих станций, пристаней, аэродромов); 3) использование природных ресурсов территории (разработка полезных ископаемых, использование гидроресурсов, лесных богатств, сельскохозяйственное освоение); 4) энерговооруженности (наличие электроэнергии, топливные ресурсы); 5) снабженческой и торговой сети и возможности обеспечения на месте съемочных работ продовольствием, горючими и смазочными материалами (а при необходимости и фуражом); 6) перспективах дальнейшего освоения территории (промышленного, городского и транспортного строительства, мелиорации земель и других народнохозяйственных мероприятий).

РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Составление обзора географических условий. Этот обзор является обобщением материалов, полученных при изучении объектов. Помимо перечисленного комплекса данных в тексте обзора должны быть указаны важнейшие взаимосвязи между отдельными компонентами комплекса природных условий территории с целью их использования при инженерно-геологическом изучении. Должны быть выделены участки, требующие при этом особого внимания.

Составление ландшафтной (ландшафтно-индикационной) карты. При ее составлении должны быть использованы аэрофотоматериалы. По некоторым территориям существуют ландшафтные карты. В этом случае они должны быть использованы с дополнением их необходимой инженерно-геологической информацией.

При отсутствии такой карты она должна быть составлена как вспомогательная в процессе инженерно-геологической съемки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 2

1. *Алисов Б. П.* Климат СССР. М., «Высшая школа», 1969. 104 с.
2. *Великанов М. А.* Гидрология суши. Л., ГИМИЗ, 1964. 403 с. с ил.
3. *Викторов С. В., Востокова Е. А., Вышивкин Д. Д.* Введение в индикационную геоботанику. М., Изд-во МГУ, 1962. 227 с. с ил.
4. *Викторов С. В.* Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. М., «Недра», 1966. 120 с. с ил.
5. *Геоботаническая* карта СССР м-ба 1 : 4 000 000. М., Изд-во АН СССР, 1955. 8 л. многокрас.
6. *Исаченко А. Г.* Основы ландшафтоведения и физико-географического районирования. М., «Высшая школа», 1965. 327 с.
7. *Климатический* Атлас СССР. М., ГИМИЗ, 1960. 181 л. карт.
8. *Лучшева А. А.* Практическая гидрология. М., ГИМИЗ, 1959. 468 с. с черт.
9. *Почвенная карта СССР* м-ба 1 : 5 000 000. Под ред. Н. Н. Розова. М., 1968. 4 л. многокрас. (ГУГК).
10. *Почвенная съемка.* Руководство по полевым исследованиям и картированию почв. Отв. ред. И. В. Тюрин. М., Изд-во АН СССР, 1959. 346 с. с ил. и карт.; 5 отд. л. ил. и карт.
11. *Почвоведение.* Под ред. И. С. Кауричева и И. П. Гречина. М., «Колос», 1969. 543 с. с ил.
12. *Почвенно-географическое районирование СССР.* М., Изд-во АН СССР, 1962. 442 с.
13. *Грунтоведение.* Изд-во МГУ, 1973. 386 с. Авт.: Е. М. Сергеев, Г. А. Голодковская, Р. С. Зиангиров и др.
14. *Справочник-определитель* литологического состава поверхностных отложений и глубины залегания грунтовых вод по рельефу и растительности. Под ред. Н. Г. Верейского и Е. А. Востоковой. М., Сельхозгиз, 1963. 259, 6 с. с ил.
15. *Строительные нормы и правила.* Ч. II. Раздел А. (СНиП IIА6—72). М., 1973, 320 с.; Раздел II. Глава 18. (СНиП II—18—76). М., 1967, 46 с.
16. *Чеботарев Н. П.* Гидрология суши. Киев, Изд-во Киевского гос. ун-та, 1960. 9 л. черт. и карт. 379 с. с ил.
17. *Черкавский С. К.* Гидрология для наблюдателей. Л., ГИМИЗ, 1956. 160 с. с ил.

Глава 3

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Геологическое строение территории является основным компонентом комплекса инженерно-геологических условий. Объем и методика изучения геологического строения в процессе инженерно-геологической съемки зависят прежде всего от степени геологической заснятости территории. Для площадей, покрытых геологической съемкой масштаба 1 : 200 000 и крупнее, этот объем является минимальным, а методика будет заключаться в контрольных наблюдениях на ключевых участках и опорных маршрутах. И, наоборот, там, где геологическая съемка не проводилась (такие случаи возможны во вновь осваиваемых районах) или она проводилась в более мелком масштабе, объем геологических работ будет максимальным и потребуется проведение кондиционной геологической съемки в комплексе с инженерно-геологической.

В любом случае изучение геологического строения территории для инженерно-геологических целей должно иметь специальную направленность. Особое внимание должно быть уделено визуальному и лабораторному изучению состава, трещиноватости, выветриваемости, условий залегания горных пород, их взаимозависимости с происхождением и характером рельефа, распространением и характером подземных вод и современных геологических процессов. Одной из основных задач этого изучения является выделение на местности и картирование геологических тел неодинакового ранга, различающихся либо отдельными компонентами, либо комплексом инженерно-геологических условий. Поэтому

при инженерно-геологической съемке значительно меньшее (по сравнению с геологической съемкой) внимание должно уделяться вопросам стратиграфии и поискам полезных ископаемых (за исключением строительных материалов). Но при отсутствии геологической основы и эти вопросы должны быть изучены с детальностью, необходимой для составления кондиционной геологической карты. Методика такого изучения изложена в соответствующих руководствах и инструкциях.

На инженерно-геологических картах все геологические данные не могут быть отражены в том же объеме, что и на соответствующих специальных картах (геологических, тектонических, геоморфологических). В связи с этим при инженерно-геологической съемке не могут применяться в полном объеме классификационные подразделения, а должны отражаться только основные элементы и прежде всего те из них, которые имеют существенное инженерно-геологическое значение. Поэтому для целей инженерно-геологического картирования были разработаны специальные классификации горных пород, структурно-тектонических и геоморфологических элементов. Эти классификации в 1963 г. были приняты для использования в системе СЭВ в качестве типовых.

В дальнейшем эти классификации для более крупных масштабов подвергались уточнению. Для освещаемых же здесь масштабов они вполне применимы.

Специфика инженерно-геологического изучения горных пород заставляет подходить к их расчленению при инженерно-геологической съемке несколько иначе, чем при геологической, при которой породы подразделяются по возрастному признаку. При этом в одни и те же возрастные подразделения попадают горные породы с весьма различными инженерно-геологическими свойствами. При мелко- и среднемасштабном инженерно-геологическом картировании невозможно отразить отдельные более или менее однородные пласты, характеризующиеся определенными свойствами. Это создает большие трудности при инженерно-геологическом картировании. Для преодоления этих трудностей И. В. Поповым в 1956 г. было предложено применение формационного принципа расчленения горных пород при инженерно-геологическом картировании, которое принято за основу классификации горных пород и в данном Руководстве (Попов, 1961).

2329

Для целей инженерно-геологического картирования наиболее приемлемо определение формации, данное Н. С. Шатским (1956): «Это естественные комплексы, сообщества или ассоциации горных пород, отдельные части которых (породы, слои, отложения) тесно парагенетически связаны друг с другом как в возрастном (переслаивание, последовательность), так и в пространственном отношении (фациальные смены и др.). Формации в целом как геологические тела можно понять только на основании геологических исследований, прежде всего картирования. Формации связаны с определенными тектоническими структурами и изменяются с изменением тектонического режима и структурного развития земной коры».

Очевидно, что применение формационного принципа в инженерной геологии значительно обогащает генетическое обоснование оценки инженерно-геологических условий изучаемой территории. Различаются формации платформ, геосинклинальных и орогенических областей.

В отношении формационного деления четвертичных отложений существуют различные мнения.

На инженерно-геологической карте СССР четвертичные отложения нашей страны разделяются на формации: горного оледенения, горных плато и склонов, предгорных равнин и межгорных впадин, материкового оледенения, внеледниковую, морских трансгрессий, полупустынь и пустынь, речных долин. Наряду с этим высказывается мнение, что четвертичные отложения следует включать в одну формацию, разделяя ее только на генетические ряды и генетические типы. Это мнение нельзя считать правильным, учитывая различия в парагенезисе и среди четвертичных отложений. Некоторые авторы

предлагают выделять среди четвертичных отложений каждого региона формации континентальную и морскую. Первые из них делят на субформации (платформенные и горно-складчатые) и далее на генетические ряды: гравитационный, водный, ледниковый, эоловый и полигенетический. Генетические ряды подлежат разделению на генетические типы.

Как видно, общепринятым в разделении четвертичных отложений является генетический тип отложений. Учитывая это и имея в виду большое значение четвертичных отложений в формировании инженерно-геологических условий местности, генетическому типу нелитифицированных четвертичных отложений* придается такое же значение, как и формации дочетвертичных отложений. Перечень основных генетических типов четвертичных отложений приведен в книге «Организация и производство...», (1971).

Генетические типы четвертичных отложений и геологические формации дочетвертичных пород разделяются на стратиграфо-генетические** комплексы, в которые объединяются горные породы, образовавшиеся при определенном тектоническом режиме в единой палеогеографической среде в одно геологическое время, а также претерпевшие в дальнейшем общие изменения. Большинство стратиграфо-генетических комплексов сложено породами различного петрографического состава. Но возможное разнообразие горных пород комплекса ограничено. Характерны также определенная форма залегания и взаимоотношения горных пород различного петрографического состава.

Из этого следует, что выделение комплексов должно строго привязываться к общему стратиграфическому расчленению горных пород. Для этой цели ниже приводятся основы стратиграфической номенклатуры, сведенные в табл. 1.

Таблица 1

Основы стратиграфической номенклатуры

Шкала и вспомогательные подразделения	Стратиграфические (в разрезе) подразделения	Геохронологические (во времени) подразделения
Международная	Группа Система Отдел	Эра Период Эпоха
Провинциальная	Ярус Зона	Век Время
Местная (региональная)	Серия Свита Горизонт (с географическим названием) Пачка (с номером)	
Вспомогательные (промежуточные) подразделения	Подгруппа, подсистема, надотдел, подотдел, надъярус, подъярус, подзона, подсвита	Время
Термины свободного пользования	Толща, слой, пачка (без номера), горизонт (без географического названия), пласт	

* Литифицированные четвертичные отложения (платобазальты, рифовые известняки и др.) обособляются в соответствующие геологические формации.

** Термин «стратиграфо-генетический комплекс горных пород» применяется авторами настоящего Руководства вместо термина «геолого-генетический комплекс горных пород», предложенного И. В. Поповым и допускающего различные толкования этого понятия.

Как видно из вышеприведенной стратиграфической номенклатуры, формации чаще всего могут параллелизоваться с сериями, а стратиграфо-генетические комплексы — со свитами. Но так же как стратиграфический объем серий и свит далеко не всегда может быть привязан к международной шкале, так и формации и комплексы не всегда могут соответствовать подразделениям международной или региональной стратиграфической шкалы.

Так, например, флишевые формации ряда молодых складчатых территорий охватывают несколько систем и, наоборот, в пределах одной системы может быть несколько формаций (например, терригенная, вулканогенная и карбонатная формации среди юрских отложений Кавказа).

При составлении инженерно-геологических карт в масштабе 1 : 500 000, а при пестром петрографическом составе пород и в масштабе 1 : 200 000 можно не производить дальнейшего расчленения стратиграфо-генетических комплексов, поскольку более дробные подразделения не выразятся в масштабе карты.

На инженерно-геологических картах масштаба 1 : 100 000 и в тех случаях, когда это возможно, стратиграфо-генетические комплексы расчленяются на петрографические типы горных пород или их характерные сочетания. К тому или иному типу относятся породы со сходным минеральным составом, структурой и текстурой. Зачастую их можно сопоставлять с фациями, но иногда они объединяются в характерные сочетания по литологическим особенностям залегания в плане и разрезе.

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Петрографические исследования при инженерно-геологической съемке заключаются в изучении состава пород (минерального, а для обломочных пород и гранулометрического), их цвета, структуры, текстуры, различных фациальных признаков и вторичных изменений, в частности выветрелости.

В полевых условиях необходимо проводить наиболее тщательное литолого-петрографическое изучение так называемых опорных слоев (горизонтов), сопоставление которых позволяет увязывать между собой отдельные обнажения. Для опорных слоев должны быть установлены характерные признаки, легко распознаваемые в полевой обстановке. Они могут резко отличаться от выше- и нижележащих отложений своим составом (например, пачка известняков в толще песчано-глинистых пород, пласт глины среди известняков или галечника среди песков и т. д.) или обильной примесью какого-либо минерала (например, глауконита). За опорный горизонт может быть принят также контакт двух толщ, резко различных по составу, или чем-нибудь характерная поверхность слоя, например, со следами ряби, волноприбойными знаками, включениями переотложенных пород и др. Особенности опорного горизонта (слоя) должны выдерживаться на всей площади съемки или на значительной ее части.

Большое внимание должно быть уделено литологическому изучению поверхностных континентальных (преимущественно четвертичных) отложений. На основании ряда литологических признаков должен быть (наряду с условиями залегания) установлен их генезис, который в значительной степени определяет инженерно-геологические свойства этих отложений. При отсутствии готовой геологической основы, в том числе карты четвертичных отложений, изучение последних должно производиться в соответствии со специальными методическими руководствами.

Однако и при наличии готовой геологической карты четвертичных отложений при инженерно-геологической съемке могут потребоваться

некоторые дополнительные петрографические исследования, в частности изучение минерального состава глинистой фракции этих отложений. Преобладание в ней того или иного минерала (гидрослюд, монтмориллонита, каолинита) может существенно повлиять на инженерно-геологические свойства горных пород.

При наличии готовой геологической основы для инженерно-геологических целей может потребоваться некоторое дополнительное литолого-петрографическое изучение и дочетвертичных скальных осадочных пород, особенно их текстуры, влияющей на изотропность (или анизотропность) их свойств, растворимость и выветриваемость.

Скальные изверженные и метаморфические породы зачастую при полевых съемочных работах масштабов 1 : 100 000—1 : 500 000 не нуждаются в дополнительном изучении, поскольку их региональная инженерно-геологическая оценка для сооружений будет положительной.

ТЕКТОНИКА

Геотектоническое положение территории является одним из ведущих факторов в ее инженерно-геологической оценке. Принадлежность изучаемой территории к той или иной крупной тектонической структуре (платформе, складчатому поясу, краевому или межгорному прогибу) должна определяться по имеющимся геологическим материалам *.

Расположение картируемой территории в пределах одной из крупных тектонических структур определяет роль более мелких тектонических элементов в общем комплексе инженерно-геологических условий. Местами на платформах и во внутренних частях межгорных впадин с мощным покровом рыхлых отложений роль этих тектонических элементов может быть невелика. Наоборот, в складчатых поясах (особенно наиболее молодых), в передовых прогибах, в зонах долгоживущих и молодых разломов на платформе *тектонические элементы наряду* с составом горных пород являются одной из основных характеристик инженерно-геологических условий. *Их изучение имеет в этом случае* первостепенное значение.

При наличии готовой геологической основы в процессе инженерно-геологической съемки тектонические условия подлежат уточнению применительно к их особенностям. В частности, при изучении разрывных нарушений должно быть обращено особое внимание на характер горных пород в зонах тектонического дробления, мощность и распространение этих зон, приуроченность к ним отрицательных форм рельефа (долин, оврагов, промоин), выходов подземных вод и современных геологических процессов. При изучении складок следует обращать внимание на деформированность горных пород в их замках, взаимоотношение складок с рельефом земной поверхности и др. Тщательному изучению должна подвергнуться тектоническая трещиноватость горных пород.

Помимо тектонической нарушенности дочетвертичных пород при инженерно-геологической съемке *большое внимание должно быть уделено* изучению неотектоники. Неотектонические движения заключаются как в сравнительно медленных поднятиях и опусканиях, так и в быстрых, преимущественно разрывных нарушениях, связанных с землетрясениями. В последнем случае важнейшее инженерно-геологическое значение этих движений, очевидно, и не требует пояснений. Однако и медленные тектонические движения, продолжающиеся в настоящее время, имеют весьма существенное значение в связи с их воздействием на современные геологические и инженерно-геологические процессы. Так, например,

---

* На всю территорию СССР составлены геологические карты м-ба 1 : 1 000 000.

в области тектонических поднятий возможно усиление эрозионных и вызванных ими гравитационных процессов, а в области опускания возможно усиленное заиление водохранилищ и других водоемов.

Новейшие тектонические движения могут быть обнаружены как по прямым признакам (нарушения в залегании плиоценовых и четвертичных отложений, свежие тектонические разломы, открытая тектоническая трещиноватость и др.), так и на основании ряда косвенных признаков (путем анализа мощностей отдельных генетических типов отложений, плана расположения гидрографической сети, прослеживания взаимоотношений и высот речных террас, выявления площадей аккумуляции и интенсивного заболачивания).

При анализе этих косвенных признаков достаточно определенные выводы могут быть сделаны только на основании их комплекса, поскольку каждый из отдельных признаков может быть связан с местными экзогенными (орографическими, гидрологическими, климатическими) факторами.

Большое внимание должно быть уделено изучению тектонического строения склонов, от которого в значительной степени зависит их устойчивость. Падение пород по склону благоприятствует развитию гравитационных процессов, падение же пород внутрь склона способствует его устойчивости. Однако в тектонически нарушенных породах их скольжение может происходить не только по слоистости (первичной сланцеватости), но и в секущих ее направлениях по вторичной сланцеватости, возникшей в результате постседиментационных процессов, а также по трещинам, образовавшимся при выветривании горных пород.

В связи с этим должен быть отдельно рассмотрен вопрос о трещиноватости горных пород. Скальные горные породы всегда разбиты трещинами, которые могут быть как открытыми и зияющими, так и закрытыми (и при визуальном изучении иногда невидимыми), но обычно способствующими выветриванию горных пород. Чередование трещин, параллельных друг другу, называется системой трещин. Множество трещин, совместно развитых в той или иной части массива горных пород, образует пространственную решетку трещиноватости, составленную несколькими (как правило, не менее, чем тремя) системами трещин, реже хаотически ориентированными трещинами, не группирующимися в системы (преимущественно трещинами выветривания).

В процессе инженерно-геологической съемки изучение трещиноватости горных пород следует производить с учетом тектонического строения, состава, структуры, текстуры и мощности горных пород, геоморфологических и гидрогеологических условий территории. Все это необходимо для выяснения закономерности распределения трещин и их генезиса. От последнего зависит ряд особенностей трещин, определяющих инженерно-геологические свойства массивов горных пород.

По генезису трещины разделяются на три основных типа: 1) литогенетические, образовавшиеся в процессе формирования и видоизменения горных пород, в частности трещины напластования (располагающиеся по первичной слоистости) и трещины отдельности (являющиеся результатом изменения объема горных пород); 2) тектонические, образовавшиеся под воздействием тектонических движений. Они делятся по приуроченности к тектоническим формам на складчатые и приразрывные, а по механическому типу на трещины отрыва и скалывания. К тектоническим трещинам скалывания условно может быть отнесена группа трещин кливажа, характеризующаяся очень большой густотой (от долей миллиметра до сантиметра). Но вообще о происхождении кливажа еще нет единого мнения, возможно, что этот тип трещиноватости объединяет трещины различного генезиса; 3) экзогенные, делящиеся на естественные (выветривания, разгрузки и др.) и искусственные,

обусловленные деятельностью человека (трещины разгрузки вблизи карьеров и котлованов и трещины взрывов).

При полевом инженерно-геологическом изучении горных пород должна оцениваться трещиноватость каждого картируемого комплекса. При этом должны замеряться и фиксироваться элементы залегания (простирание и падение) трещин, их протяженность, степень раскрытости, ширина и при возможности глубина, характер поверхности, состав и состояние заполнителя. Помимо качественной характеристики трещиноватости необходимо оценивать ее и количественно, замеряя густоту, а также ширину трещин на единицу площади горной породы и выражая ее численными коэффициентами.

При отсутствии готовой геологической (а соответственно и тектонической) основы картируемой территории ее геолого-структурное изучение должно производиться в процессе комплексной геологической и инженерно-геологической съемки. При этом для изучения тектоники рекомендуется пользоваться методическим руководством, разработанным Академией наук СССР.

Отображение на инженерно-геологической карте тех или иных тектонических форм зависит от их размеров и степени воздействия на инженерно-геологические условия территории. Крупные формы, определяющие облик современного рельефа, преимущественно находят отражение при инженерно-геологическом районировании. Разрывные нарушения, сопровождаемые зонами дробления, и другие проявления тектоники, имеющие инженерно-геологическое значение, показываются условными знаками.

Тектонические формы и их элементы, не имеющие существенного инженерно-геологического значения, упоминаются при общей характеристике в тексте отчета.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Происхождение и развитие рельефа тесно связаны с составом и свойствами горных пород, слагающих те или иные формы, а также с устойчивостью склонов этих форм и направленностью современных геологических процессов как в естественных, так и в искусственных условиях.

Элементы рельефа сходной конфигурации могут иметь различное происхождение и соответственно инженерно-геологическое значение. Например, равнинные участки могут представлять собой поверхности речных террас, днищ древних озер или морей, вскрытые размывом поверхности твердых дочетвертичных пород и т. д. Во всех этих случаях инженерно-геологические свойства горных пород, слагающих эти равнины, будут различными, так же как будут различны и детали их рельефа. Даже на плоских равнинных территориях, с первого взгляда кажущихся совершенно однородными, самые незначительные неровности рельефа, обусловленные его генезисом, могут сильно повлиять на условия увлажнения горных пород, а следовательно, и на их инженерно-геологические свойства. Крупные гряды и увалы могут иметь тектоническое (неразмытые антиклинали, куэсты и др.), эрозионное, эоловое, ледниковое или флювиогляциальное происхождение. В зависимости от генезиса внутреннее строение форм, конфигурация и устойчивость их склонов будут резко различны.

Геоморфологические карты входят в комплект отчетных материалов при государственной геологической съемке масштаба 1 : 200 000. Поэтому, если инженерно-геологическая съемка проводится на готовой геологической основе, геоморфологическое изучение должно будет ограничиваться лишь небольшими дополнительными наблюдениями для

выявления геоморфологических закономерностей распространения и динамики современных геологических процессов.

При отсутствии же готовой геологической (а соответственно и геоморфологической) основы геоморфологические исследования должны производиться в полном объеме, необходимом для составления геоморфологической карты. Методика этих исследований излагается в специальных методических руководствах (Спиридонов, 1970).

Приведем лишь основные данные о геоморфологических исследованиях с учетом их инженерно-геологической направленности.

По своему происхождению рельеф подразделяется на следующие основные группы.

А. Эндогенные: 1) неотектонические, обусловленные молодыми тектоническими движениями; 2) структурные (более древние тектонические формы, существенно не измененные экзогенными процессами); 3) вулканические.

Б. Экзогенные: 4) флювиальные, в том числе: а) речные (эрозионные и аллювиальные), б) временных потоков (эрозионные и пролювиальные), в) склонового стока (делювиальные); 5) морские и озерные; 6) ледниковые; 7) водно-ледниковые, в том числе: а) флювиогляциальные, б) озерно-ледниковые; 8) криогенные; 9) нивально-денудационные (образованные совокупным действием нивальных, солифлюкционных и гравитационных процессов в нивальном климате); 10) аридио-денудационные (образованные совокупным действием флювиальных, гравитационных и эоловых процессов в условиях аридного климата); 11) гравитационные в том числе: а) обвально-осыпные, б) оползневые, в) солифлюкционные; 12) карстовые и суффозионные; 13) эоловые; 14) биогенные (образованные жизнедеятельностью растений и животных); 15) техногенные (образованные в результате инженерной деятельности человека).

Наряду с происхождением элементов рельефа существенное значение имеет и их возраст. Образовавшиеся в сравнительно недавнем прошлом элементы рельефа имеют обычно свежий облик, мало видоизмененный последующими процессами. Они легче поддаются определению их генезиса и существенно отличаются от более древних в инженерно-геологическом отношении.

Древние элементы рельефа могут быть погребены под более молодыми образованиями, и это также существенно влияет на инженерно-геологические условия территории. Для оценки инженерно-геологических условий местности особенно важно выявление погребенных долин рек, отличающихся составом и свойствами своих отложений от более молодых.

Определение генезиса и возраста элементов рельефа основывается на наблюдениях над их конфигурацией и взаимоотношениях с составом и характером горных пород, как слагающих формы рельефа, так и являющихся результатом их разрушения.

Весьма важным объектом геоморфологических исследований являются речные долины, как правило, наиболее полно вскрывающие геологическое строение и являющиеся ареной современных геологических процессов. Изучаются направление и конфигурация речных долин в плане, их соотношение с тектоническим строением местности и проявлением новейших тектонических движений, замеряются продольный и поперечные профили, а также отмечается их зависимость от геологического строения.

Особое внимание при изучении долин следует уделять обследованию террас, инженерно-геологическое значение которых очень велико. Террасы должны прослеживаться вдоль по долине. Необходимо отмечать их общее количество, выдержанность распространения, ширину террас и их высоту (как правило, от меженного уровня реки). Эти на-

блюдения сопровождаются изучением геологического строения террас. В частности, должны фиксироваться высота и конфигурация цоколя коренных пород, слагающих основание террасы, состав слагающих пород и его изменчивость. Отмечаются характер склонов террас и развитие на них современных геологических явлений. Фиксируется мезо- и микрорельеф поверхностей террас (включая и пойменную террасу — дно долины реки). При изучении склонов долин отмечаются их конфигурация (прямые, выпуклые, вогнутые, ступенчатые), крутизна, геологическое (тектоника, литология) строение, развивающиеся на склоне современные геологические процессы. Выявляется взаимозависимость всех этих факторов, в частности зависимость формы и крутизны склонов от тектонического строения, петрографического состава пород, зависимость различных современных геологических процессов от характера склонов и др. Оценивается устойчивость склонов.

Для инженерно-геологической оценки водораздельных пространств отмечаются характер мезо- и микрорельефа, их геологическое строение, в том числе генетические типы, состав и мощности покровных отложений, закономерности распространения в их пределах современных геологических явлений (заболоченность, каменные россыпи и др.). Склоны водораздельных пространств характеризуются так же, как и склоны долин.

РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Графическим отображением общего геологического разреза картируемой территории является сводная стратиграфическая колонка. При проведении инженерно-геологической съемки на готовой геологической основе используется имеющаяся колонка. При отсутствии готовой геологической основы или при наличии различной основы для разных частей территории колонка должна составляться в процессе комплексной съемки в соответствии с инструктивными материалами по геологической съемке.

В процессе инженерно-геологической съемки как при использовании готовой стратиграфической колонки, так и при составлении ее вновь, к ней должно быть привязано произведенное в инженерно-геологических целях разделение горных пород на геологические формации и стратиграфо-генетические комплексы, а также инженерно-геологические группы с их характеристикой. Примеры таких сводных инженерно-геологических колонок приведены в справочнике по инженерной геологии (Справочник по инженерной геологии, 1974).

Сложность взаимоотношений четвертичных континентальных отложений не всегда позволяет правильно отобразить их петрографический состав на разрезах с небольшим искажением масштаба. В этом случае для них составляются отдельные разрезы или схемы залегания и взаимоотношения поверхностных (четвертичных) отложений, на которых для разновозрастных пород различного генезиса отображается не только их стратиграфическая последовательность, но и геоморфологическое и гипсометрическое положение.

Методика составления геологических карт (как дочетвертичных, так и четвертичных отложений) в настоящее время разработана достаточно четко и освещена в соответствующих методических пособиях и инструкциях.

За последние годы выпущены также обстоятельные методические руководства и по геоморфологическому картированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 3

1. *Вопросы* унификации инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1964. 43 с.

2. *Звонкова Т. В.* Прикладная геоморфология. М., «Высшая школа», 1970. 272 с. с ил.

3. *Инженерно-геологическая карта СССР* м-ба 1 : 2 500 000. Под ред. М. В. Чуринова и др. М., «Недра», 1972, 16 л. многокрас.
4. *Инструкция* по организации и производству геологосъемочных работ в масштабах 1 : 200 000 и 1 : 100 000. М., Госгеолтехиздат, 1955. 128 с., 36 л. ил.
5. *Инструкция* по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты СССР м-ба 1 : 200 000. М., «Недра», 1969. 71 с. с ил.
6. *Карта* новейшей тектоники СССР в м-бе 1 : 5 000 000. Под ред. Н. И. Николаева и С. С. Шульца. М., 1960, 1 л.
7. *Методическое* руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений. М., Госгеолтехиздат, 1954, т. I. 302 с.; 1955; т. II. 486 с.
8. *Методическое* руководство по геологической съемке и поискам. Под ред. С. А. Музылева. М., Госгеолтехиздат, 1954. 508 с. с ил.
9. *Методическое* руководство по геоморфологическим исследованиям Ленинградской обл. Л., «Недра», 1972. 384 с. с ил.
10. *Методы* изучения тектонических структур. Вып. I и II. М., Изд-во АН СССР, вып. I, 1960, 336 с. с ил.; вып. II, 1961, 286 с. с ил.
11. *Нейштадт Л. И., Карпышев Е. С.* Методы геологического изучения трещиноватости горных пород при инженерно-геологических исследованиях. М.—Л., Госэнергоиздат, 1957. 103 с. с ил.
12. *Организация* и производство работ по геологической съемке четвертичных отложений в м-бах 1 : 200 000 и 1 : 100 000. М., «Недра», 1971. 94 с.
13. *Попов И. В.* Инженерная геология СССР. М., Изд-во МГУ, 1961, ч. I, 178 с.; 1965, ч. II, 477 с.; 1969, ч. III, 388 с.
14. *Грунтоведение.* М., Изд-во МГУ, 1973. 386 с. с ил. Авт.: Е. М. Сергеев, Г. А. Голодковская, Р. С. Зиангиров, В. М. Осипов, В. Г. Трофимов.
15. *Спиридонов А. И.* Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картирования. М., «Высшая школа», 1970. 456 с.
16. *Справочник* по инженерной геологии. М., «Недра», 1974. 407 с.
17. *Стратиграфические* и геохронологические подразделения (их принципы, содержание, терминология и правила применения). М., Госгеолтехиздат, 1954. 88 с. (ВСЕГЕИ).
18. *Стратиграфическая* классификация, терминология и номенклатура. Л., «Недра», 1965. 70 с.
19. *Тектоническая* карта СССР в масштабе 1 : 2 500 000. Под ред. А. А. Богданова и др. М., 1966. (ГУГК).
20. *Тектонические* движения и новейшие структуры земной коры. М., «Недра», 1967. 456 с. с ил.
21. *Шанцер Е. В.* Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М., «Наука», 1966. 239 с. с ил.

Глава 4

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

ЗНАЧЕНИЕ И РОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАК КОМПОНЕНТА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ

Подземные воды являются одним из основных факторов, определяющих инженерно-геологические условия территории.

При инженерно-геологической оценке территории решаются следующие задачи, связанные с гидрогеологическими условиями: 1) определение изменений состава, состояния и свойств горных пород под действием подземных вод; 2) выявление роли подземных вод в активизации современных геологических процессов (оползней, карста, суффозии), а также в условиях строительства и эксплуатации сооружений; 3) определение возможности и величины притоков подземных вод в строительные котлованы и подземные сооружения; 4) определение величины возможных фильтрационных потерь в водохранилищах; 5) влияние подземных вод на строительные материалы и металл (агрессивность и коррозийность); 6) определение фильтрационных свойств зоны аэрации.

Многие из современных геологических явлений связаны с деятельностью только подземных вод или одновременно поверхностных и под-

земных. Например, заболачивание и засоление земель обусловлены неглубоким залеганием или выклиниванием грунтовых вод; карст (просадки, провалы) и цементация пород связаны с процессами выщелачивания и осаждения солей из подземных водных растворов; оползни, оплывины, солифлюкции также в значительной степени являются продуктом геологической деятельности подземных и поверхностных вод.

Влияние подземных вод на заболачивание и засоление земель наиболее интенсивно проявляется в областях слабого естественного дренирования вод. В избыточно влажной гумидной зоне это приводит к высокому стоянию уровня грунтовых вод и переувлажнению вышележащих грунтов и почв. В некоторых районах, как, например, в Западной Сибири, специфические климатические и геолого-гидрогеологические условия на протяжении второй половины четвертичного периода привели к образованию уникальных выпуклых торфяников мощностью до 10—12 м. При этом торфяники часто занимают почти сплошь водоразделы как первого, так и второго порядков.

В районах искусственного орошения весьма слабая дренированность территории в ряде случаев приводит к быстрому подъему грунтовых вод, вызывая вторичное засоление.

Возникновение оползней как в равнинах, так и в горных районах обусловлено следующими процессами, связанными с действием подземных вод: 1) насыщение водой глинистых пород, ослабление их сопротивления сдвигу и переход пород в пластичное и даже текучее состояние; 2) насыщение водой пород на склонах с повышением их массы и увеличением силы, стремящейся сместить породы вниз по склону; 3) разрыхление и ослабление пород в результате выщелачивающего и диффузионного действия подземных вод, выходящих в основании склона, внутренний размыв по структурным трещинам; 4) повышение гидродинамического взвешивания пород напорными водами; 5) увеличение гидростатического давления воды, расширяющего трещины в породе.

Суффозионные явления в природных условиях нередко являются причиной возникновения оползней. Чаще и легче всего размываются пылеватые по механическому составу породы, например лёссы.

В процессе карстообразования особенно важное значение имеют воды, содержащие свободную углекислоту, способную растворять углекислый кальций.

Особого внимания требует изучение гидрогеологических условий при проектировании строительства. Неправильная оценка подземных вод и неверный прогноз поведения их приводят к значительным осложнениям при строительстве: оползанию откосов, прорывам подземных вод и плывунных песков в строительные котлованы и подземные выработки.

Плывунное состояние песков создается при некотором критическом гидравлическом или напорном градиенте фильтрации, который необходимо учитывать при оценке устойчивости рыхлых пород, особенно песков, в которых присутствуют гидрофильные коллоиды.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОДЛЕЖАЩИЕ ИЗУЧЕНИЮ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Гидрогеологические исследования при проведении комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки выполняются в соответствии с существующим Методическим руководством по гидрогеологической съемке масштабов 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000 (1961 г.).

При проведении инженерно-геологической съемки важно изучить общие гидрогеологические условия и получить исходные данные для оценки степени влияния их на инженерно-геологические условия территории. При этом основной задачей является выявление условий формирования, залегания и взаимосвязи верховодки, грунтовых вод и вод спорадического распространения, а также напорных водоносных горизонтов и комплексов, влияющих на оценку инженерно-геологических условий; химического состава, напора, агрессивности и коррозийных свойств подземных вод.

Особое внимание при инженерно-геологической съемке уделяется изучению верховодки и грунтовых вод, а также трещинно-карстовых вод в районах развития карбонатных и соленосных пород. Верховодка требует тщательного изучения, так как она залегает наиболее близко к поверхности земли, резко подвержена сезонным колебаниям уровня воды, а в отдельные маловодные годы полностью исчезает. Верховодка обычно располагается выше зеркала грунтовых вод и гидравлически не связана с ними или связана кратковременно. На отдельных участках территории она может встречаться на различной глубине.

Грунтовые воды служат основным объектом картирования, так как являются первым от поверхности земли постоянно действующим водоносным горизонтом со свободной поверхностью зеркала. Формирование грунтовых вод происходит на всей площади их распространения за счет инфильтрации атмосферных осадков и фильтрационных потерь поверхностных водотоков и водоемов, а местами путем перетекания нижележащих артезианских вод. Вследствие такой связи грунтовых вод с климатом и характером гидрологической сети им присуща определенная гидрогеологическая зональность. Каждая гидрогеологическая зона отличается от другой глубиной залегания, режимом, химическим составом и минерализацией грунтовых вод. На территории СССР Г. Н. Каменский выделил зону выщелачивания грунтовых вод (гумидная зона) и зону континентального засоления (аридная зона).

Важнейшими элементами картирования грунтовых вод и верховодки являются: глубина залегания зеркала, минерализация, химический состав и агрессивность воды, засоление пород зоны аэрации и их связь с минерализацией воды, фильтрационные свойства водовмещающих пород, распространение, глубина залегания и мощность локальных и региональных водоупоров.

Наблюдения за уровнем грунтовых вод. Глубина залегания грунтовых вод и верховодки и ее изменение во времени являются показателями влияния подземных вод на свойства пород зоны аэрации, участия в водном питании болот и засоления пород.

Учитывая эти факторы, гидрогеологические наблюдения должны быть направлены на изучение закономерностей изменения уровня грунтовых вод. Основным условием правильного отражения изменений динамики грунтового потока являются наблюдения по режимным гидрогеологическим скважинам и единовременный замер уровня на всех существующих скважинах и колодцах в период максимального выпадения осадков и в межень.

Результаты этих замеров позволяют выявить основные области питания, транзита и разгрузки, что приобретает существенное значение при составлении предварительного прогноза изменения гидрогеологической обстановки при различных видах строительства. При этом глубина залегания грунтовых вод картируется в градациях: 1) до 1 м — почвогрунты постоянно переувлажнены; 2) от 1 до 2 м — временное переувлажнение пород в период весеннего подъема уровней; 3) от 2 до 5 м — оптимальный режим; 4) от 5 до 10 м и более — глубина залегания грунтовых вод больше глубины заложения обычных фундаментов.

Для районов неустойчивого и недостаточного увлажнения устанавливается критическая глубина залегания уровня грунтовых вод*.

Изучение минерализации и химического состава грунтовых вод. В зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения гидрохимические условия формирования грунтовых вод и верховодок тесно связаны с содержанием растворимых солей в зоне аэрации, которая служит основным объектом инженерно-геологических исследований. Поэтому выявление закономерностей формирования гидрохимического режима грунтовых вод должно проводиться в тесной связи с анализом процессов, протекающих в зоне аэрации. При этом подлежат изучению: 1) общее содержание и тип химического состава растворимых солей в грунтовых водах, верховодке, а также в породах зоны аэрации; 2) степень агрессивности и коррозийности подземных и поверхностных вод.

При гидрохимическом анализе грунтовых вод определяются преимущественно шесть компонентов; Cl^{I}, SO^{II}_4, HCO^{I}_3, Na^{I}, Mg^{II}, Ca^{II}, а также общая минерализация, сухой остаток, pH, жесткость, агрессивность и коррозийность. Тип воды определяется по преобладающим анионам и катионам с содержанием 25 мг-экв и более.

Для классификации грунтовых вод по общей минерализации применяется следующая классификация В. А. Приклонского:

Минерализация грунтовых вод, г/л	Класс
До 1	*Пресные*
1—3	Слабо минерализованные
3—10	Средней минерализации
10—50	Минерализованные
Более 50	*Рассолы*

Жесткость воды определяется содержанием (мг-экв) растворимых солей кальция и магния: $Ca(HCO_3)_2$; $Mg(HCO_3)_2$; $CaSO_4$; $MgSO_4$; $CaCl_2$; $MgCl_2$.

В зависимости от возможности устранения жесткости воды кипячением различают общую и устранимую жесткость.

По классификации О. В. Алекина природные воды по степени жесткости разделяются на следующие 5 групп (мг-экв):

Очень мягкие	До 1,5
Мягкие	1,5—3,0
Умеренно жесткие	3,0—6,0
Жесткие	6,0—9,0
Очень жесткие	Более 9,0

Для питьевых целей обычно используются подземные воды с жесткостью до 7 и лишь в исключительных случаях до 10 мг-экв.

Изучение агрессивности подземных вод. При определении агрессивности подземных вод по отношению к бетону следует различать углекислотную, выщелачивающую, общекислотную, сульфатную, магнезиальную и кислородную агрессивность, определяемую в зависимости от содержания различных компонентов, коэффициента фильтрации грунтов, характера содержания и вида бетона.

Изучение засоления пород зоны аэрации. На формирование состава грунтовых вод существенно влияют степень и характер засоления почв, через которые происходит фильтрация атмосферных осадков. Известно также влияние воднорастворимых и труднорастворимых солей на состояние и свойства пород. Существует, например, достаточно тес-

---

* При критической глубине происходит интенсивное внутригрунтовое испарение, что вызывает повышение минерализации грунтовых вод и накопление солей в зоне аэрации.

ная взаимосвязь между содержанием воднорастворимых солей и просадочностью лёссовых пород.

Определение содержания легкорастворимых солей в породах зоны аэрации производится на основании анализа водной вытяжки. В случае большого содержания труднорастворимых солей в породах часть образцов анализируется с помощью солянокислой вытяжки. При этом определяются следующие элементы: Cl, SO_4, HCO_3, Na, Ca, Mg, а также общее содержание солей.

На основании результатов водных вытяжек определяются степень и характер засоления почв (по классификации Н. Н. Базилевич и К. И. Панковой).

Изучение напорных вод. По результатам проведения гидрогеологической съемки необходимо установить характер взаимосвязи напорных и грунтовых вод, условия залегания, соотношение пьезометрических и гипсометрических уровней, влияние на минерализацию и химический состав грунтовых вод.

Показателем степени участия напорных вод в водном питании поверхностных отложений может служить соотношение уровней грунтовых вод и пьезометрических уровней нижележащего водоносного горизонта. При этом выделяются такие области, где пьезометрические уровни постоянно залегают выше уровней грунтовых вод, так как в этом случае породы подпитываются снизу напорными водами.

Изучаются также фильтрационные свойства напорных водоносных горизонтов для определения величины притока в подземные выработки.

Материалы наблюдений, характеризующие режим подземных вод, должны включать характеристики изменения уровня, температуры и химического состава, а в засушливых и полузасушливых районах — также солевого состава и влажности почвогрунтов зоны аэрации. Особое внимание следует уделять взаимосвязи уровня грунтовых вод и атмосферных осадков, а также взаимодействию грунтовых и напорных вод.

Изучение региональных закономерностей режима подземных вод ведется специальной сетью стационарных гидрогеологических партий Министерства геологии СССР, где и можно получить необходимую информацию.

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Природные условия гумидной зоны обусловливают широкое развитие с поверхности сильно сжимаемых болотных отложений, близкое залегание слабоминерализованных грунтовых вод, промытость пород зоны аэрации, повсеместное развитие верховодки в подпочвенных горизонтах.

Гидрогеологические исследования в этих условиях сводятся к изучению уровня грунтовых вод на болотных массивах и прилегающих территориях для оценки условий взаимосвязи болотных вод с грунтовыми водами подстилающих отложений; минерализации и химического состава вод, относящихся к различным слоям болотных и подстилающих отложений и свидетельствующих об особенностях минерального питания болот. При изучении торфяных отложений определяются влажность, коэффициент фильтрации (экспресс-методами по восстановлении уровня) и водоотдача торфов. Полевые определения коэффициентов фильтрации пород зоны аэрации производятся только на участках с глубиной залегания грунтовых вод не менее 2,5—3,0 м. Изучение засоления пород ненасыщенной толщи целесообразно проводить по единичным пробам (3—5 проб на литологическую разность) в качестве классификационного показателя.

При проведении инженерно-геологической съемки в аридной зоне условия формирования грунтовых вод характеризуются значительно большим разнообразием. Важнейшей особенностью гидрогеологических исследований является необходимость выяснения закономерности их дифференциации на участках отдельных потоков и бассейнов. Решающую роль при этом играет правильно проведенная типизация территории по степени естественной дренированности по типам депрессионной кривой спада (т. е. по положению уровня и конфигураций зеркала грунтового потока). Хорошо дренированные территории характеризуются обычно обеспеченным подземным стоком, относительно глубоким залеганием пресных грунтовых вод, слабой засоленностью грунтов. Территории слабодренированные или недренированные с необеспеченным подземным оттоком отличаются повышенной минерализацией грунтовых вод, высокой засоленностью грунтов, характеризующейся к тому же весьма разной изменчивостью по профилю. В пределах таких районов особое внимание следует уделять определению минерализации и химического состава грунтовых вод, изучению характера, степени и типа засоления пород зоны аэрации, оценки «критической» глубины залегания грунтовых вод, а также условий взаимосвязи грунтовых и напорных вод. Весьма важно изучение подземных вод в криолитозоне.

Многолетнее промерзание пород обусловливает своеобразие питания, движения и разгрузки подземных вод, а также некоторые особенности их химического состава. Мерзлые толщи являются водоупорами, изолирующими водоносные горизонты и ослабляющими связь подземных и поверхностных вод. В процессе сезонного и многолетнего промерзания некоторые водоносные толщи становятся водоупорами, при этом изменяются физические свойства пород (водопроницаемость, теплопроводность и др.), характер залегания и гидродинамический режим подземных вод (безнапорные воды становятся напорными, изменяются направление и скорость движения подземных вод). Многолетнее промерзание и оттаивание пород изменяет температурный режим подземных вод, их химический и газовый состав.

Со своей стороны, подземные воды, воздействуя на тепловой режим горных пород, вызывают образование таликовых зон, мерзлых толщ пониженной мощности или, наоборот, способствуют глубокому многолетнему промерзанию, а также возникновению ряда криогенных процессов. Многократное промерзание и протаивание водоносных горных пород может привести к изменению их физического состояния и водно-фильтрационных свойств. Изучение и прогнозирование этих процессов позволяет оценить их инженерно-геологическое значение.

Следует различать следующие виды подземных вод.

Надмерзлотные, т. е. воды, находящиеся в талых слоях, перекрывающих многолетнемерзлые толщи. Среди них выделяются воды: а) сезонноталого слоя и б) несквозных таликов (подрусловых, подозерных и «несливающейся мерзлоты»).

Воды сквозных таликовых зон. По факторам и условиям, определяющим их формирование, выделяются следующие основные типы таликовых зон: а) выше местных базисов эрозии, т. е. на водораздельных поверхностях и склонах долин; б) под различными типами водоемов (озерами, реками, морем); в) таликовые зоны тектонических нарушений, обводненные за счет восходящих подземных вод.

Подмерзлотные воды — залегающие ниже подошвы толщи многолетнемерзлых пород.

Межмерзлотные воды в немерзлых и талых слоях, ограниченных сверху и снизу слоями многолетнемерзлых пород, и имеющие связь с другими категориями вод мерзлой зоны.

Внутримерзлотные воды, заключенные в немерзлых и талых слоях и линзах, ограниченных со всех сторон мерзлыми породами, и не имеющие водообмена с другими типами вод мерзлой зоны. Среди перечисленных наибольшее инженерно-геологическое значение имеют надмерзлотные воды.

При проведении инженерно-геологической съемки в районах распространения многолетнемерзлых пород необходимо получить сведения о следующих особенностях гидрогеологических условий: 1) выявить сезонноталые и сезонномерзлые слои, их мощность, скорость формирования, состав, строение, температурно-влажностный режим, устойчивость на различных элементах рельефа; 2) получить данные о подземных и поверхностных водах, их взаимосвязи и взаимодействии с мерзлыми толщами, оценить источники питания, направление и скорость движения, места разгрузки, физические свойства и химический состав, расположение водоносных, неводоносных и водоупорных пластов, толщ и массивов; 3) выявить современные мерзлотно-геологические процессы и явления, в развитии которых существенную роль играют подземные воды.

Поисковыми признаками на выходы подземных вод являются тарыны, полыньи, источники, небольшие бугры пучения и гидролакколиты подпочвенных вод, растительный покров.

Особое внимание следует уделить определению химического состава и свойств подземных и поверхностных вод. На крайнем севере воды сезонноталого слоя и поверхностные насыщены гуминовыми кислотами и обладают повышенной агрессивностью и коррозийностью.

Одновременно собираются сведения о температуре пород и подземных вод, видах таликов и их генезисе, характере полыней, наледей, химическом составе подземных льдов и пр.

РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

При проведении инженерно-геологической съемки на готовой геологической и гидрогеологической основе результаты гидрогеологических исследований отображаются на инженерно-геологической карте и обобщаются в соответствующей главе отчета.

На инженерно-геологической карте показывается глубина залегания первого от поверхности горизонта грунтовых вод и верховодки. В пределах стратиграфо-генетического комплекса или его частей указывается агрессивность воды по отношению к бетону. На разрезах и карте изображаются глубины залегания грунтовых вод, а также величина напоров нижележащих водоносных горизонтов. При проведении комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки помимо инженерно-геологической карты составляются карта естественных водопроявлений и каптажей подземных вод и гидрогеологическая карта в масштабе съемки (Методическое руководство по гидрогеологической съемке, 1961).

В главе отчета «Гидрогеологические условия» описываются условия залегания и распространения грунтовых вод и верховодки (а также и нижележащих, но имеющих инженерно-геологическое значение водоносных горизонтов); условия питания, дренажа и движения подземных вод; характеризуется их связь с поверхностными водами, метеорологическими факторами и составом пород. Приводится детальное описание состава водовмещающих пород, их фильтрационные свойства, дебиты подземных вод, детально характеризуются агрессивность и коррозийность подземных вод, их химизм и общая минерализация. Особое внимание уделяется оценке влияния подземных вод на изменение состава, строения и свойств пород и физико-геологические явления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 4

1. *Методика* комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки м-бов 1 : 200 000 и 1 : 500 000. М., Изд-во МГУ, 1970. 254 с.
2. *Методическое руководство* по составлению гидрогеологических карт 1 : 100 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. Под ред. М. Е. Альтовского. М., Госгеолтехиздат, 1960. 50 с.
3. *Методическое* руководство по гидрогеологической съемке м-бов 1 : 1 000 000—500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. Под ред. А. А. Маккавеева и А. С. Рябченкова. М., Госгеолтехиздат, 1961. 319 с.
4. *Методические* указания по гидрогеологической съемке на закрытых территориях в м-бах 1 : 500 000, 1 : 200 000 и 1 : 50 000. М., «Недра», 1968. 176 с. с ил.
5. *Методическое* руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. Вып. I. М., Всесоюзн. о-во «Знание», 1972. 141 с.
6. *Роговская Н. В.* Методика гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на массивах орошения. М., Госгеолтехиздат, 1956. 136 с. с ил.
7. *Руководство* по гидрогеологическим исследованиям в связи с осушением земель. М., «Недра», 1967. 247 с. с ил.

Глава 5

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

В области развития многолетнемерзлых пород вопрос о тепловом взаимодействии сооружений с сезонно- и многолетнемерзлыми породами является основным, определяющим инженерно-геологические условия. Главными характеристиками геокриологических условий, изучаемых для инженерно-геологических целей, являются следующие свойства пород: 1) состав и генезис (соотношение минеральной составляющей и льда и их характерные особенности), криогенная текстура (взаимное расположение грунтовых агрегатов, ледяных шлиров и льда-цемента); 2) глубина сезонного промерзания и протаивания; 3) среднегодовая температура; 4) мощность мерзлой толщи.

Необходимой основой при этом является установление основных закономерностей формирования геокриологических условий в зависимости от конкретной геолого-тектонической и физико-географической обстановки в целом и от каждого природного элемента в отдельности.

Характерной особенностью температурного поля пород является большая его динамичность. В силу этого инженерно-геологическая оценка территории должна определяться не только природными условиями, зафиксированными на момент исследования, но и теми измененными условиями, которые установятся в результате строительства и освоения территории. Величина количественного влияния последних определяется путем разработки инженерно-геологического и мерзлотного прогноза на основе вскрытых в процессе съемки и картирования закономерностей формирования геокриологических условий исследуемой территории. В состав прогноза должна входить также и разработка мероприятий, обеспечивающих управление процессами, формирующимися в ходе освоения территории.

Таким образом, инженерно-геологические исследования области распространения многолетнемерзлых пород по существу являются комплексными.

В ходе их изучаются и оцениваются: 1) геологическое строение, геоморфологические, гидрогеологические, климатические (и в целом ландшафтные) условия и их связь с геокриологическими факторами;

2) характер теплообмена на поверхности и в толще горных пород и зависимость его от всего комплекса геолого-географических условий; 3) особенности состава мерзлых и талых пород, их распространение, условия залегания, криогенное строение и льдистость. При этом исследуется влияние всех факторов геолого-географической среды на мерзлотную обстановку. Для изучения последней необходимо использование большого комплекса методов, связанных с изучением состава мерзлых пород, их свойств и криогенных текстур, определения льдистости пород, среднегодовых температур, их теплофизических свойств, охлаждающего и отепляющего влияния растительного и снежного покровов и т. д.

Таким образом, главная особенность исследований в этих районах заключается не столько в увеличении объема работ и решении дополнительных задач, сколько в направленности изучения инженерно-геологических условий.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Инженерно-геологическая съемка включает изучение закономерностей формирования сезоннопромерзающих и сезоннопротаивающих слоев пород в зависимости от состава и генезиса отложений, особенностей почвенного покрова, грунтовых и поверхностных вод, характера рельефа, растительности, микроклимата отдельных участков и т. д.

В процессе съемки и картирования должны производиться следующие изучения: 1) глубин сезонного промерзания и протаивания пород на момент исследования и приведение их к среднемноголетним значениям расчетными методами; 2) генезиса, распространения, залегания, литологического состава пород слоя сезонного промерзания и протаивания в пределах основных ландшафтных единиц (природно-территориальных комплексов); 3) криогенных текстур и льдистости пород слоя сезонного промерзания и протаивания; 4) влияния геолого-географической среды (снежного и растительного покровов, состава и влажности пород и т. д.) на среднегодовые температуры пород, амплитуды температур на поверхности почвы, глубины сезонного промерзания и протаивания в определенных литолого-влажностных условиях для основных ландшафтных единиц (типов ПТК).

Перечисленные задачи решаются на основе ландшафтно-индикационных исследований, горно-буровых работ и опробования пород — определения их состава и свойств, единовременных измерений глубин протаивания пород в маршрутах, анализа связей характеристик слоя сезонного протаивания и промерзания пород с различными элементами геолого-географической среды путем кратковременных наблюдений на специальных площадках ключевых участков и применения расчетов по формулам и номограммам (см. прилож. III, рис. 1 а, б, в).

При производстве инженерно-геологической съемки рекомендуется выделять типы сезонного промерзания и сезонного протаивания пород на основе следующих признаков (Кудрявцев, 1954): 1) среднегодовой температуры пород у подошвы сезоннопромерзающего и сезоннопротаивающего слоев; 2) годовой амплитуды колебаний среднемесячных температур на поверхности почвы; 3) состава пород и их генезиса (выражающихся через такие показатели физических свойств грунтов, как объемная масса, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности горных пород); 4) особенности водного режима и водных свойств пород: их естественной влажности, полной влагоемкости и количества незамерзшей воды.

Классификационные признаки сезонного промерзания и протаивания для данного района устанавливаются при съемке, в результате

чего составляется региональная классификация. Последняя представляет собой форму обобщения закономерностей сезонного промерзания и протаивания пород и является необходимой основой для характеристики сезонного промерзания и протаивания пород на инженерно-геологической карте.

Изучение температурного режима пород при съемке проводится с целью установления среднегодовых температур и амплитуд их годовых колебаний: а) на поверхности растительного и снежного покровов; б) на поверхности почвы под растительным и снежным покровами; в) на подошве слоя сезонного промерзания и протаивания отложений; г) на подошве слоя годовых колебаний температуры пород.

В тех случаях, когда величина испарения невелика, температуру на поверхности растительного и снежного покровов $t_п$ можно определять по следующей зависимости:

$$t_п = t_{возд} + \frac{R}{a_R},$$

где R — величина радиационного баланса; a_R — коэффициент теплоотдачи с поверхности; $t_{возд}$ — температура воздуха. Значение этих величин получают по данным ближайших метеостанций, из географических атласов или рассчитывают по эмпирическим формулам на основе метеорологических данных. Согласно В. С. Лукьянову и М. Д. Головко, величину a_R следует брать равной $20 \cdot 1{,}163$ Вт/(м^2 °С).

Средняя годовая температура и годовая амплитуда на поверхности почвы под растительным и снежным покровами могут быть получены расчетным путем на основе наблюдений в полевой период на специальных температурных площадках.

Средняя годовая температура пород на подошве слоя сезонного промерзания и протаивания $t_з$ отличается от температуры на поверхности почвы на величину температурной сдвижки, которая образуется за счет различия теплофизических свойств пород в талом и мерзлом состояниях. Величина сдвижки тем больше, чем больше фазовые переходы воды в промерзающих породах. В условиях резко континентального климата она достигает максимального значения до минус 3—4°, а в условиях морского климата не превышает 2—2,5°. С явлением температурной сдвижки связана приуроченность низкотемпературных талых пород и многолетнемерзлых толщ к заболоченным участкам и водонасыщенным грунтам. Определение температурной сдвижки производится по номограммам (см. прилож. III рис. 2).

Температура на подошве слоя годовых колебаний t_0 отличается от температуры на подошве слоя сезонного промерзания и протаивания $t_з$ на величину, соответствующую геотермическому градиенту в этом слое.

Если геотермический градиент ниже (или близок) к нормальному (3° на 100 м), то среднюю годовую температуру горных пород на подошве слоя годовых колебаний t_0 можно считать приблизительно (в пределах точности измерения) равной среднегодовой температуре на подошве слоя сезонного промерзания или протаивания $t_з$.

Изучение влияния различных природных факторов на сезонное промерзание и протаивание пород является обязательным элементом инженерно-геологической съемки. Отепляющее влияние снега и соответствующее уменьшение амплитуды температур в первом приближении при мелкомасштабной съемке может быть определено по формуле

$$S = A\left(1 - \frac{1}{f}\right) \text{ при } f = l^{-z}\sqrt{\frac{\pi}{KT}},$$

где S — величина отепляющего влияния снежного покрова, равная разности между средней годовой температурой пород и воздуха, °С; A — годовая амплитуда температур воздуха, °С; K — коэффициент температуропроводности пород, м²/ч; T — период колебания температур, ч; z — мощность снежного покрова, м. Неизвестные величины z и K определяются в процессе съемки.

В табл. 2 приводятся значения величины $(1-\frac{1}{f})$. Для выявления характера снежного покрова проводится снегомерная съемка, которую следует приурочить к периоду температурного минимума (декабрь—январь). При проведении снегомерной съемки особое внимание обращается на изменение мощности и плотности снега в зависимости от экспозиции и крутизны склонов, характера рельефа, микрорельефа и особенностей растительности.

Таблица 2

Значение величины $\left(1-\frac{1}{f}\right)$ в зависимости от мощности, плотности и коэффициента температуропроводности снежного покрова (по В. А. Кудрявцеву, 1954)

Плотность снежного покрова ρ	Коэффициент температуропроводности K	Мощность (z) снежного покрова, м									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,075	0,010	0,094	0,181	0,259	0,329	0,328	0,451	0,503	0,551	0,597	0,632
0,110	0,0015	0,081	0,155	0,224	0,288	0,345	0,400	0,447	0,491	0,482	0,572
0,150	0,0020	0,071	0,136	0,197	0,253	0,306	0,355	0,400	0,442	0,432	0,518
0,190	0,0025	0,064	0,123	0,178	0,230	0,279	0,324	0,367	0,407	0,445	0,480
0,225	0,0030	0,058	0,113	0,164	0,213	0,259	0,302	0,343	0,381	0,416	0,450
0,250	0,0035	0,054	0,105	0,153	0,198	0,242	0,282	0,321	0,357	0,392	0,425
0,300	0,0040	0,051	0,098	0,143	0,186	0,227	0,267	0,303	0,338	0,371	0,403
0,340	0,0045	0,048	0,093	0,136	0,178	0,216	0,254	0,289	0,323	0,356	0,386
0,380	0,0050	0,045	0,088	0,130	0,169	0,206	0,242	0,277	0,309	0,341	0,371
0,415	0,0055	0,043	0,084	0,124	0,161	0,197	0,232	0,265	0,297	0,327	0,356

Растительный покров влияет на сезонное промерзание и протаивание пород через изменение теплообмена на поверхности земли, а также через изменение их температурного режима.

Для определения влияния растительного покрова на сокращение годовых амплитуд температур проводятся наблюдения на специальных температурных площадках, закладываемых в пределах каждого выделяемого в масштабе съемки растительного сообщества.

Изменение глубин сезонного промерзания и протаивания пород за счет влияния растительного покрова может быть рассчитано по номограммам (Инструкция по производству комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки, 1969). Влияние рельефа и экспозиции склонов весьма существенно. Соответственно этому изменяются и глубины сезонного промерзания и протаивания пород. В районах с зимней температурной инверсией высотная поясность проявляется в более сложной форме. Кроме того, положение участка влияет на температурный режим пород и глубину их сезонного промерзания через экспозицию и крутизну склонов. Для выяснения этих закономерностей на ключевых участках должны быть заложены поперечники через долины рек с выходами на водоразделы, на которых при помощи шурфов и буровых скважин должны быть выяснены изменения среднегодовых температур пород и глубин их сезонного промерзания и протаивания.

Влияние инфильтрации теплых летних осадков в хорошо фильтрующих породах сказывается на формировании средней годовой температуры пород у подошвы сезоннопротаивающего (или сезоннопромерзающего) слоя. Это влияние объясняется конвекцией, вызываемой инфильтрующимися дождевыми водами и водами грунтового потока.

Отепляющее влияние инфильтрующихся вод можно приближенно оценить по формуле В. А. Кудрявцева

$$\Delta t = \frac{V t_{oc} \xi}{\lambda_{пр} \tau},$$

где V — количество летних осадков, инфильтрующихся в породу, кг/м²; t_{oc} — их температура, °С; ξ — глубина сезонного промерзания или протаивания пород, м; τ — количество часов в году; $\lambda_{пр}$ — приведенный коэффициент теплопроводности:

$$\lambda_{пр} = \frac{\lambda_т (A_0 + t_{ср}) + \lambda_м (A_0 + t_{ср})}{2 A_0},$$

где $\lambda_т$ и $\lambda_м$ — коэффициенты теплопроводности талых и мерзлых пород; A_0 — годовая амплитуда температур на поверхности почвы; $t_{ср}$ — средняя годовая температура на поверхности почвы.

Производственная деятельность человека обычно проявляется в изменении и уничтожении растительного покрова, вырубке лесов, очистке территории от снежного покрова, в его уплотнении и снегозадержании с целью тепловой мелиорации, в расчистке территорий на больших площадях под сельскохозяйственные культуры, создании искусственных водоемов и дренаже территорий, в зачернении снежного покрова вблизи больших промышленных поселков, асфальтировании территории, срезке и подсыпке пород, застройке и затенении территории и т. п. Влияние этих процессов на температурный режим пород необходимо изучать на специально выбранных для этой цели ключевых участках.

В результате изучения количественного влияния отдельных факторов природной среды на формирование сезонного промерзания и протаивания, а также их величин в полевых условиях устанавливаются закономерности формирования типов сезонного промерзания и протаивания пород.

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД И ИХ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

Основным методическим приемом изучения и картирования распространения многолетнемерзлых горных пород по площади является использование ландшафтно-индикационного метода исследования. Границы между многолетнемерзлыми и талыми горными породами проводятся по границам природно-территориальных комплексов. В границах участков, где развито сезонное оттаивание отложений, распространены сливающиеся мерзлые толщи, а на площадях развития сезоннопромерзающих горных пород — талые толщи, а также реликтовые мерзлые и несливающиеся мерзлые толщи (рис. 1).

По соотношению площадей распространения многолетнемерзлых и талых горных пород выделяются участки островного, массивно-островного и прерывистого или сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород (табл. 3).

Изучение распространения мерзлых толщ по площади производится на основе ландшафтно-индикационных наблюдений, горно-буровых работ, электропрофилирования и электрозондирования.

При изучении мощностей и характера залегания многолетнемерзлых горных пород должны выделяться и картироваться: сливающиеся, несливающиеся, реликтовые, непрерывные, прерывистые (слоистые)

толщи. Ниже дается их характеристика по условиям залегания (по Н. Н. Романовскому).

I. По отношению к слою сезонного протаивания и промерзания: 1) сливающиеся мерзлые толщи, где слой сезонного протаивания является кровлей последних; 2) несливающиеся, где между подошвой

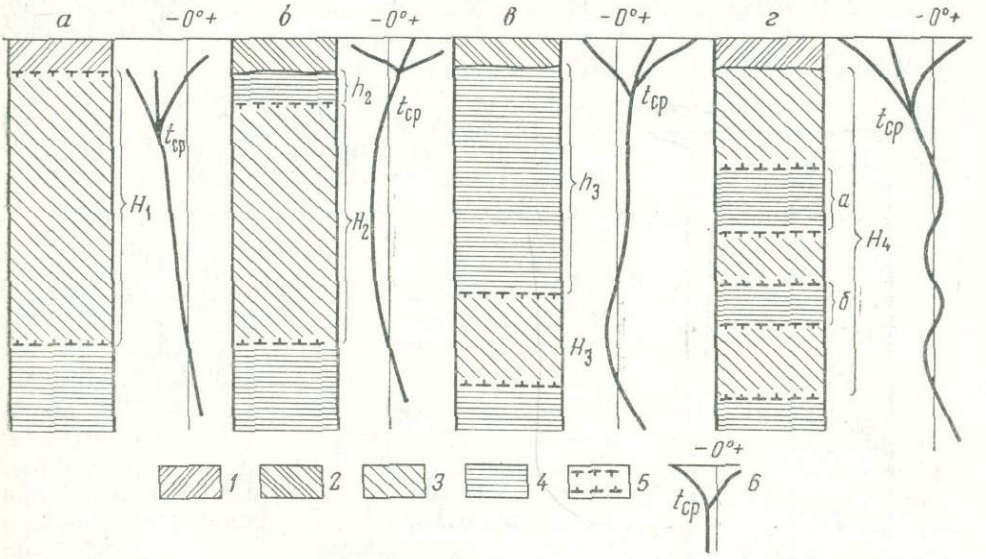


Рис. 1. Характер залегания многолетнемерзлых толщ, их мощность ($H_м$) и характерные температурные кривые:

а — сливающаяся мерзлота мощностью H_1; *б* — несливающаяся мощностью H_2, залегающая ниже подошвы слоя на глубине $h_{2м}$; *в* — реликтовая мощностью H_3, залегающая на глубине $h_{3м}$; *г* — слоистая и прерывистая толща мощностью $H_{4м}$ с интервалами *а* и *б*, м.

1 — слой сезонного протаивания (слой СТС); *2* — слой сезонного промерзания; *3* — мерзлая толща; *4* — талые породы; *5* — границы мерзлой толщи; *6* — огибающие температурных кривых в зоне годовых колебаний температур, $t_{ср}$ — среднегодовая температура пород на подошве слоя сезонного промерзания и протаивания

Таблица 3

Характер распространения многолетнемерзлых пород по площади

Распространение	Соотношения мерзлых и талых пород по площади	Отношение площадей распространения многолетнемерзлых и талых пород, %
Островное	Острова многолетнемерзлых пород на фоне талых	$\frac{<10}{>90}$
Массивно-островное	Крупные массивы и блоки многолетнемерзлых пород на фоне талых	$\frac{<50}{>50}$
Прерывистое	Острова и массивы талых пород на фоне многолетнемерзлых	$\frac{>50*}{<50}$
Сплошное	Сплошные многолетнемерзлые породы со «щелями» и «окнами» сквозных и несквозных таликов под реками, озерами, обводненными тектоническими нарушениями, и др.	$\frac{>90}{<10}$

* На участках местности, где по условиям масштаба невозможно разделить массивно-островное и прерывистое распространение многолетнемерзлых пород их показывают совместно, называя «прерывистым».

слоя сезонного протаивания и верхней поверхностью мерзлой толщи остается талый слой, сохраняющийся в течение зимы. Его образование обусловлено повышением среднегодовой температуры пород выше 0° в течение одного или нескольких лет; 3) реликтовые мерзлые толщи, залегающие на большой (обычно более 10 м) глубине. Они, в свою очередь, разделяются на мерзлые толщи, погребенные: а) под талым слоем, образовавшимся в результате длинно- или среднепериодного потепления (реликтовые мерзлые толщи); б) под талым слоем, возникшим под водоемами (реками, озерами, морем).

II. По характеру строения (по вертикали): 1) непрерывномерзлые толщи без талых прослоев; 2) прерывистые (слоистые) мерзлые толщи, где в разрезе наблюдается чередование многолетнемерзлых и талых горных пород.

По характеру талых пород слоистые мерзлые толщи разделяются на: а) мерзлые толщи, где талые слои возникли в результате глубокого протаивания и последующего неполного промерзания несквозного талика; б) мерзлые толщи, где линзы и слои талых пород содержат высокоминерализованную воду, имеющую отрицательную температуру; в) мерзлые толщи, где талые слои имеют вид карманов и возникли в результате избирательного протаивания мерзлых крупнообломочных пород под воздействием потока подземных вод.

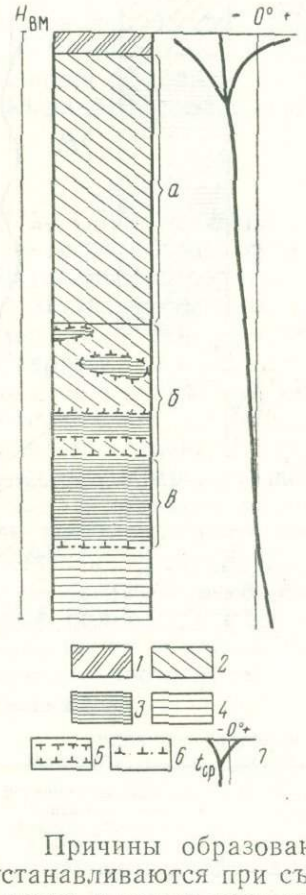


Рис. 2. Характер строения криолитозоны и распределение в ней температур:

а — подзона непрерывномерзлых пород; *б* — подзона прерывистомерзлых пород с прослоями межмерзлотных вод; *в* — подзона немерзлых (талых) пород, содержащих криогидрогалинные воды.

1 — слой сезонного оттаивания; *2* — мерзлые породы; *3* — породы с криогидрогалинными водами; *4* — породы с положительной температурой; *5* — граница мерзлой толщи; *6* — граница криолитозоны; *7* — огибающие температурных кривых в слое годовых колебаний температур

Причины образования того или иного залегания мерзлых толщ устанавливаются при съемке. В толщу многолетнемерзлых пород включаются и талые прослои (при прерывистом залегании), интервалы появления которых указываются специально.

В платформенных областях, где близко к поверхности залегают соленые воды, криолитозона может включать подзону непрерывно мерзлых пород, подзону прерывистых мерзлых толщ с линзами и прослоями межмерзлотных и внутримерзлотных вод и, наконец, подзону пород с солеными водами, охлажденными ниже 0° С (рис. 2). В этом случае должны изучаться все три подзоны, изменение их соотношения по площади и в разрезе в зависимости от геоструктурных, гидрогеологических и зональных мерзлотных условий.

При изучении условий залегания и мощности криолитозоны (или мерзлой толщи) необходимо установить их зависимость от следующих факторов: 1) геолого-тектонических и гидрогеологических условий района; 2) среднегодовых температур у поверхности почвы и у подошвы слоя; 3) характера рельефа; 4) состава, возраста, генезиса и свойств горных пород; 5) условий обводненности пород до промерзания (характера водоносности пород и минерализации вод); 6) истории геоло-

гического, в том числе и неотектонического, развития района в четвертичное время; 7) истории формирования физико-географических условий (климата, растительности) в четвертичное время.

В пределах долин рек, где на формирование мерзлых толщ оказывают влияние поверхностные водотоки, помимо перечисленного выше следует установить связи условий залегания и мощностей мерзлых толщ с современными физико-географическими условиями различных элементов долин; с возрастом и геологическим строением элементов долины, их гидрологическим режимом; с историей развития долины на отрезке времени, соизмеримом с периодом формирования мощностей мерзлых толщ; с современными криогенными и другими геологическими процессами: наледеобразованием, эрозией, аккумуляцией осадков и т. д.

При изучении температурного режима горных пород необходимо установить: 1) среднегодовую температуру пород у подошвы слоя годовых колебаний $t_{ср}$; 2) распределение температур ниже слоя годовых колебаний (в мерзлых толщах до их подошвы, а в талых зонах на возможно большую глубину); 3) распределение температур ниже подошвы мерзлой толщи.

Среднегодовая температура пород у подошвы слоя годовых колебаний устанавливается при изучении сезонного оттаивания и промерзания расчетными способами, по данным ее измерений в горных выработках (как режимных, так и единовременных). При наличии режимных наблюдений $t_{ср}$ устанавливается на основании анализа кривых распределения температур по глубине или термоизоплет. Для данного горизонта постоянной в году считается та температура, колебания которой не превышают точности ее измерения (0,1—0,2° С). Существуют способы определения $t_{ср}$ по единовременным измерениям температур в скважинах, полностью прошедших слой ее годовых колебаний (Кудрявцев 1954), и по трехразовым (через равные промежутки времени) замерам в скважинах, полностью не прошедших этот слой. Примерные глубины проникновения температурных колебаний ниже подошвы слоя сезонного оттаивания — промерзания в зависимости от состава пород и их среднегодовых температур приведены в табл. 4. Таким образом, скважины, предназначенные для определения $t_{ср}$, должны превышать указанные глубины, увеличенные на мощность слоя сезонного оттаивания — промерзания.

Таблица 4

Глубина распространения годовых колебаний температур ниже подошвы слоя сезонного оттаивания — промерзания, м

Среднегодовая температура горных пород, °С	Область сезонного промерзания пород		Область сезонного оттаивания пород			
	рыхлых	скальных	суглинков, глин	суглинков легких, супесей, песков пылеватых	льда, сильнольдистых*	скальных
±0	0	0	0	0	0	0
±1	6—9	7—10	2—3	3—6	6—8	7—10
±3	10—13	10—15	5—8	8—13	10—15	10—15
±5	13—16	16—20	7—12	12—16	16—20	16—20
±10	16—20	25—30	9—16	20—25	25—30	25—30

* Сингенетически промерзшие породы с объемной льдистостью и повторно-жильными льдами >60%.

При изучении температур ниже слоя их годовых колебаний устанавливаются: температурный градиент g, его изменения на глубине в зависимости от состава, криогенного строения и свойств пород, направление развития мерзлотного процесса — аградационное или деградационное (рис. 3). Для выяснения динамики и истории развития многолетнемерзлых толщ необходим анализ изменений температур воздуха за более длительный отрезок времени, привлечение палеогеографических или мерзлотно-фациальных данных.

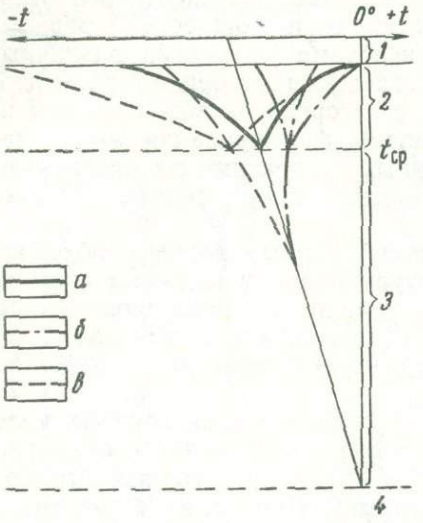


Рис. 3. Различные типы температурных кривых в мерзлых толщах:

а — нормальная; *б* — безградиентная; *в* — градиентная.

1 — слой сезонного протаивания; *2* — слой годовых колебаний температур; *3* — слой многолетних колебаний температур (слои 2 и 3 входят в мерзлую толщу); *4* — талые породы ниже мерзлой толщи; $t_{ср}$ — среднегодовая температура у подошвы слоя годовых колебаний

При изучении температурного режима пород ниже мерзлой толщи определяется температурный градиент в подстилающих талых слоях и оценивается влияние подмерзлотных вод на температурное поле пород в различных геоструктурных, геоморфологических, гидрогеологических и мерзлотных условиях.

Для изучения динамики нижней границы мерзлой толщи анализируются теплотоки, подходящие снизу и уходящие к поверхности земли g. Для этого необходимо иметь сведения о теплопроводности мерзлых и талых пород и градиентах температур в мерзлой и подстилающей талой толщах.

ИЗУЧЕНИЕ КРИОГЕННОГО СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

При изучении криогенного строения толщ многолетнемерзлых пород устанавливаются: 1) порядок напластования горных пород в разрезе мерзлой толщи, мощность отдельных слоев, их распространение по площади, приуроченность к определенным геологическим структурам и элементам рельефа; 2) генезис пород, их состав и стратиграфическая принадлежность для каждого слоя; 3) наличие мономинеральных скоплений льда, их генезис (табл. 5), форма, условия залегания, распространение по площади, приуроченность к определенным типам отложений, текстурные особенности льда; 4) первичные текстурные особенности пород (слоистость, сланцеватость, пористость), а также трещиноватость, кавернозность, сложение и т. д.; 5) криогенная текстура пород по слоям и их объемная льдистость; 6) тип промерзания (эпигенетический или сингенетический) различных генетических (фациальных) разновидностей рыхлых четвертичных пород.

Криогенные текстуры рыхлых отложений разделяются по форме ледяных включений, а также по их соотношениям между собой и с агрегатами минерального грунта (Втюрин, 1964).

При изучении криогенного строения сингенетически промерзших рыхлых пород (помимо перечисленного выше) устанавливаются мерзлотно-фациальные условия осадконакопления и промерзания. Для этой цели помимо изучения криогенных текстур выявляются соотношения текстурообразующих льдов с повторно-жильными льдами и следами других криогенных образований, отбираются образцы и проводится анализ растительных макроостатков, спор и пыльцы, диатомовой фло-

Таблица 5

Схема подразделения основных крупных мономинеральных скоплений льда в горных породах (по П. А. Шумскому, 1959 г.)

Генетический тип	Вид	Разновидность
Конституционный	Сегрегационный	В дисперсных породах
	Инъекционный	Многолетних бугров пучения
		Замерзших водоносных горизонтов
Пещерно-жильный	Повторно-жильный	Сингенетических и эпигенетических ледяных жил
	Термокарстово-пещерный	В полостях термокарстового и карстового происхождения
	Карстово-пещерный	
Погребенный	Конжеляционный	Наледей; Промерзших водоемов, донные льды — Группа автохтонных льдов
		Озерные, речные, морские — Группа аллохтонных льдов
	Осадочно-метаморфический	Погребенных снежников
		Погребенных ледников

ры, фауны и т. д. В фациях, которые формируются в настоящее время, изучаются характер осадконакопления, тип сезонного протаивания пород и динамика сезонноталого слоя. На основании этих исследований могут быть установлены мерзлотные условия, в которых формировались сингенетические отложения.

При изучении криогенного строения эпигенетически промерзших рыхлых отложений (помимо перечисленного выше) необходимо получить сведения: 1) о палеогидрогеологических условиях, предшествовавших периоду промерзания (выделить водоносные и водоупорные в талом состоянии слои, изучить химический состав льда и его изменение по разрезу и т. д.); 2) о характере промерзания толщи (в результате периодических колебаний теплообмена на поверхности земли), направлении движения фронта промерзания сверху или с боков (при промерзании таликов); 3) об изменении гидрогеологических условий в процессе промерзания, например о возникновении замкнутых линз напорных вод, образующих при промерзании инъекционные льды.

В однородных супесчано-суглинистых толщах об их промерзании в результате периодических колебаний свидетельствует сосредоточение максимальной льдистости в верхней части разреза мерзлой толщи, а ниже этого слоя — постепенное уменьшение текстурообразующего льда с глубиной. При однонаправленных изменениях теплообмена льдистость однородных по составу многолетнемерзлых пород с глубиной увеличивается (при наличии подтока воды снизу).

Криогенные текстуры скальных и полускальных пород являются унаследованными по трещиноватости и определяются их составом, начальной трещиноватостью, пористостью и кавернозностью. Поэтому на генезис пустот, степень их заполненности льдом, структурные и текстурные особенности льда и его химический состав необходимо обращать особое внимание. При изучении изверженных, метаморфических и других неслоистых или слоистых, но сильно раздробленных пород следует выделять трещинные и трещинно-жильные криогенные текстуры, а для осадочных скальных и полускальных пород — пластовые типы криогенных текстур (порово-пластовые, карстово-пластовые).

Анализ криогенных текстур позволяет в разрезах выделять слои пород, которые до промерзания были водоупорными или водопроницаемыми.

РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Первичную обработку и анализ материалов геокриологических исследований следует проводить в процессе полевых работ. В первую очередь это необходимо для получения текущей информации по ходу изучения территории.

Кроме того, систематический анализ получаемых материалов в поле позволяет своевременно вносить необходимые коррективы и правильно направлять съемочные работы.

К началу камерального периода должны быть предварительно систематизированы данные полевых, лабораторных и опытных работ, отдешифрированы аэроснимки и проанализированы все материалы полевых наблюдений по составу и криогенному строению, влажности и льдистости, глубинам сезонного промерзания и протаивания пород, температурному режиму пород слоя сезонного протаивания и многолетнемерзлой толщи, мощности многолетнемерзлых пород, а также составлены некоторые полевые вспомогательные карты, содержание и характер которых определяются конкретными задачами исследований.

В процессе обработки и анализа полевых материалов составляются специальные геологические колонки, где отображаются все основные сведения по мерзлотному строению отдельных пунктов наблюдений. Для участков развития слабольдистых пород скального типа такая колонка может содержать литологический разрез и график термических измерений. По материалам изучения ключевых участков составляются их инженерно-геокриологические разрезы.

Непосредственным выражением анализа и обобщения геокриологических исследований является составление основной инженерно-геологической карты исследуемой территории. Кроме того, для районов со сложными геокриологическими условиями следует составлять вспомогательную карту типов сезонного промерзания и протаивания пород. Эта карта составляется на ландшафтно-индикационной основе с использованием результатов изучения классификационных характеристик, определяющих тип сезонного промерзания и протаивания. В соответствии с этим (на глубину слоя сезонного протаивания и промерзания) на карте отображаются: 1) стратиграфо-генетический комплекс отложения (цветом фона); 2) преобладающий состав отложений (штриховкой, принятой в литологии) в пределах основных ландшафтных единиц; 3) влажность отложений (цветом литологических знаков); 4) среднегодовые температуры воды — t или t_0 при $g=3°$ на 1000 м (видом сплошной штриховки) в пределах основных ландшафтных единиц; 5) амплитуды среднемесячных температур на поверхности почвы — A_0 (частотой сплошной штриховки); 6) распространение талых (сезонного промерзания) и мерзлых (сезонного протаивания) пород (цветом сплошной штриховки: синим — мерзлых, красным — талых); 7) распространение криогенных явлений, связанных со слоем сезонного промерзания и протаивания (значками); 8) типы сезонного промерзания и протаивания пород в границах полученных контуров, а также соответствующие им глубины для естественных условий (глубины протаивания — цифрами красного цвета, глубины промерзания — цифрами синего цвета).

Составленная таким образом карта наглядно отражает региональные закономерности формирования глубин сезонного промерзания и протаивания пород, показывая кроме величины глубин зависимость изменения их от колебания природных условий. Такая карта содержит

возможность прогноза этих глубин, т. е. учета тех изменений в природной среде, которые произойдут после ее составления.

Теплообмен на поверхности земли и связанные с ним условия многолетней мерзлоты характеризуются большой динамичностью. Они непрерывно изменяются в ходе естественного развития и еще в бóльшей степени под воздействием деятельности человека. Инженерно-геологическое значение таких изменений определяется резкой изменчивостью физических и строительных свойств пород при их протаивании и промерзании, а также при изменении температуры в пределах ее отрицательных значений. В силу этого инженерно-геологическая оценка территории должна определяться не только зафиксированными на момент съемки условиями, но и теми мерзлотными особенностями, которые сформируются в процессе строительства и эксплуатации территории, для чего необходимо дать прогноз возможных изменений этих условий. Практически важным при этом является определение количественных показателей изменений в зависимости от природных факторов и от рода хозяйственной деятельности на территории.

При съемке масштабов 1 : 100 000—1 : 500 000 этот прогноз дается только в общем виде. Основная часть прогнозных данных приводится в отчете, где указываются главные закономерности формирования мерзлотных инженерно-геологических условий, являющихся основой для составления прогноза. Здесь рассматривается влияние различных элементов геолого-географической среды (снежного и растительного покровов, состава пород и их влажности, крутизны и экспозиции склонов, подземных и поверхностных вод, характера рельефа, обжитости территории) на инженерно-геологические условия. Характеристика этого влияния дается для основных типов ПТК, выделенных на изученной территории. Количественная оценка влияния каждого фактора может производиться по специальным номограммам и по расчетным формулам.

Полученные при съемке данные являются исходным материалом при определении по ландшафтно-идикационной карте для всех типов ПТК площадей: вероятного перехода пород из мерзлого состояния в талое и обратно, в частности образования перелетков и разобщения многолетнемерзлых толщ со слоем сезонного промерзания пород.

В отдельных случаях целесообразно давать специальную прогнозную карту с указанием всех приведенных выше характеристик. Основное содержание такой карты должно составлять специальное районирование с точки зрения вероятного появления многолетнемерзлых толщ или их протаивания. К таким специальным прогнозным картам прилагаются номограммы для определения изменения мерзлотно-инженерно-геологических условий в зависимости от конкретной природной обстановки и характера производственного освоения территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 5

1. *Баранов И. Я.* Геокриологическая карта СССР м-ба 1 : 10 000 000. М., Изд-во МГУ, 1960. 48 с.

2. *Баранов И. Я.* Принципы геокриологического (мерзлотного) районирования области многолетнемерзлых горных пород. М., «Наука», 1965. 150 с.

3. *Втюрин Б. Н.* Криогенное строение четвертичных отложений. М., «Наука», 1964. 152 с.

4. *Достовалов Б. Н., Кудрявцев В. А.* Общее мерзлотоведение. М., Изд-во МГУ, 1965. 403 с.

5. *Инструкция* по производству комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки м-бов 1 : 200 000 и 1 : 500 000. М., Изд-во МГУ, 1969. 123 с.

6. *Инструкция* о содержании и порядке составления геологических отчетов. М., «Недра», 1965. 79 с. (Госгеолком СССР).

7. *Калабин А. И.* Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР. Магадан, 1960. 471 с.

8. *Каплина Т. Н.* Криогенные склонные процессы. М., «Наука», 1965. 296 с.
9. *Кудрявцев В. А.* Температура верхних горизонтов вечномерзлотной толщи в пределах СССР. М., Изд-во АН СССР, 1954. 183 с.
10. *Методика* комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштабов 1 : 200 000 и 1 : 500 000. М., Изд-во МГУ, 1970. 356 с.
11. *Основы геокриологии* (мерзлотоведения). Ч. 1. М., Изд-во АН СССР, 1959. 459 с.
12. *Полевые геокриологические* (мерзлотные) исследования. М., Изд-во АН СССР, 1961. 423 с.
13. *Пособие по проектированию* оснований и фундаментов зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. М., Стройиздат, 1969. 128 с.
14. *Шумский П. А.* Основы структурного ледоведения. М., Изд-во АН СССР, 1959. 492 с.

Глава 6

ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Показатели инженерно-геологических свойств пород позволяют разделить земную кору на геологические тела, т. е. на таксономические единицы картирования, а также дать оценку поведения пород в сфере воздействия сооружений на геологическую среду. Показатели состава, состояния и свойств пород должны отвечать целям инженерно-геологических исследований и типам изучаемых пород.

В процессе инженерно-геологической съемки показатели свойств пород используются для решения следующих задач: 1) геологического изучения пород — их минерального, химического, гранулометрического состава, структуры, текстуры; 2) инженерно-геологической типизации и характеристики горных пород с помощью классификационных и косвенно-расчетных данных и других показателей, определяемых скоростными способами (пенетрация, искиметрия, замеры углов устойчивых откосов и др.); 3) изучения пространственной изменчивости пород с помощью классификационных и косвенно-расчетных данных, а также других показателей, определяемых скоростными методами.

В табл. 6 приведен перечень классификационных показателей свойств пород. Требования к отбору, упаковке, хранению и транспортировке образцов и проб грунтов приводятся в прилож. IV.

КРУПНООБЛОМОЧНЫЕ, ПЕСЧАНЫЕ И ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ

Наряду с показателями, приведенными в таблице, при инженерно-геологическом картировании, в полевых условиях рекомендуется определять: 1) предельное напряжение сдвига при помощи ручных пенетрометров типа микропенетрометра МВ-2 или пластометров; 2) временное сопротивление сжатию с помощью приборов ОСВ-1 или ИГП-10; 3) угол естественного откоса песчаных пород в воздушно-сухом состоянии и под водой (прибор УЕО).

Эти показатели, определяемые скоростными методами непосредственно в поле, на месте проведения работ по опробованию, характеризуют деформационные и прочностные свойства пород. Пока не приняты соответствующие классификации пород по временному сопротивлению сжатию и по величине предельного напряжения сдвига, их можно использовать для сравнительной оценки механических свойств пород, залегающих на различных участках картируемой территории.

Кроме того, сочетая ручной пенетрометр с нейтронным влагомером (типа НИВ-2) и получая величины предельного напряжения сдвига, соответствующие различным значениям естественной влажности,

Таблица 6

Основные классификационные показатели пород

Название классификационного показателя и способ его получения: экспериментальный (э) расчетный (р)	Показатели, необходимые для получения классификационных показателей, определяемых путем расчета	Породы			
		глинистые (связные)	песчаные (мелкообломочные несцементированные)	крупнообломочные	скальные
Гранулометрический состав (э)		+	+	+	—
Объемная масса породы ненарушенного сложения при естественной влажности (э)		+	+	+	—
Коэффициент пористости породы ненарушенного сложения при естественной влажности (р)	Объемная масса, плотность, естественная влажность	+	+	+	—
Степень влажности (р)	То же	+	+	+	—
Число пластичности (р)	Предел раскатывания, предел текучести	+	—	+*	—
Показатель консистенции (р)	Предел раскатывания, предел текучести, естественная влажность	+	—	+*	—
Показатель, характеризующий способность глинистых пород увеличивать или уменьшать объем при замачивании водой $\frac{\varepsilon_0-\varepsilon_т}{1+\varepsilon_0}$ используемый для разделения просадочных и набухающих разностей глинистых пород (р)	Степень влажности и коэффициенты пористости при естественной влажности и влажности предела текучести	+	—	+*	—
Показатель степени плотности (р)	Коэффициенты пористости при максимально рыхлом и плотном сложении	—	+	—	—
Показатель уплотненности (р)	Предел раскатывания, предел текучести и коэффициент пористости породы ненарушенного сложения при естественной влажности	+	—	—	—
Содержание растительных остатков (э)		+	+	—	—
Временное сопротивление одноосному сжатию (э)		—	—	—	+
Трещиноватость (э)		—	—	—	+
Выветрелость (р)	Плотность выветрелых и невыветрелых пород	—	—	+	+
Растворимость (э)		—	—	—	+
Размягченность (э)		—	—	—	+
Засоленность (э) **		+	+		

* Применяется для характеристики пылевато-глинистого заполнителя.
** Для районов распространения засоленных грунтов.

Продолжение табл. 6

Название классификационного показателя и способ его получения; экспериментальный (э), расчетный (р)	Показатели, необходимые для получения классификационных показателей, определяемых путем расчета	Породы			
		глинистые (связные)	песчаные (мелкообломочные несцементированные)	крупнообломочные	скальные
	Для пород в мерзлом состоянии:				
Температура (э)		+	+	+	+
Криогенная текстура (э)		+	+	+	+
Льдистость (р)	Естественная (суммарная) влажность, плотность, влажность за счет незамерзшей воды	+	+	+*	—
Объемная льдистость (э)		+	+	+	+
Объемная масса скелета мерзлых горных пород (р)	Объемная масса мерзлого грунта, суммарная влажность	+	+	+	—
Осадка при оттаивании мерзлых горных пород (р)	Объемная масса скелета грунта, суммарная влажность минеральных прослоев	+	+	+*	+
Засоленность (э)					

Примечание. Знак плюс означает, что показатель применяется, а знак минус — не применяется.

представляется возможным оценить пределы пластичности глинистых пород.

По величине предельного напряжения сдвига или по временному сопротивлению сжатию, полученным для проб глинистых пород естественного сложения и нарушенных (примятых), можно определить их чувствительность, а также показатель структурной прочности.

По временному сопротивлению сжатию оценивают консистенцию глинистых пород («Справочник по инженерной геологии», 1974).

При проведении инженерно-геологической съемки не следует забывать о естественно-статистическом способе опробования, заключающемся в измерении углов естественных склонов, осыпей и измерений других параметров. Используя данные естественно-статистического способа, путем обратных расчетов можно определять параметры прочности пород, слагающих склоны.

СКАЛЬНЫЕ И ПОЛУСКАЛЬНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

В процессе инженерно-геологического картирования пород с жесткими связями особое внимание должно уделяться выяснению условий залегания пород, выделению и оконтуриванию пород с пониженными прочностными показателями, а также оценке трещиноватости, блочности и характера изменения пород вторичными процессами. При этом следует проводить предварительную диагностику пород с выделением основных петрографических типов пород, а также их выветрелости и мощности коры выветривания. Одновременно отбираются пробы для определения растворимости, размягчаемости, набухания и выветрелости. Особое внимание следует обращать на способности пород к размягчаемости и выветриванию. Растворимость определяется для карбонатных, сульфатных и галоидных пород. Размягчаемость характеризует

способность некоторых типов пород превращаться в рыхлую массу при увлажнении. Особенно интенсивно процесс размягчения (размокания) происходит у осадочных пород, сцементированных глинистым или карбонатно-глинистым материалом, а также у выветрелых разностей изверженных пород. Размокаемость или неводостойкость горных пород должна являться специальным предметом изучения при инженерно-геологическом картировании. Оценка размокаемости проводится: по времени, необходимом для потери образцами породы связности и их распадения на мелкие частички; по величине потери прочности образцов после водонасыщения, а также по величине набухания образцов.

При инженерно-геологическом картировании оценка степени выветрелости, а также сравнение способности разных типов пород к выветриванию должно проводиться прежде всего непосредственно на обнажениях. При этом имеется возможность оценить мощность интенсивно выветрелых пород, а также провести предварительную оценку скорости выветривания различных типов по ряду косвенных признаков, поддающихся количественной оценке только в полевых условиях (мощность осыпей, интенсивность трещиноватости выветривания, количество рыхлых продуктов разрушений пород и др.).

В лабораторных условиях способность пород к выветриванию может оцениваться по определению коэффициента выветрелости, рассчитываемого по относительному количеству обломков пород, разрушенных после испытания в специальном барабане.

Испытаниям подвергаются пробы щебенок или обломков породы из зоны выветривания с исходной массой 2 кг. В барабане щебенка испытывается 20 мин при скорости вращения 50—70 об/мин. Оценка коэффициента выветрелости производится по формуле

$$K_в = \frac{K_т - K_о}{K_т},$$

где $K_о$ — природная степень разрушенности породы, определяемая по отношению фракции менее 2 мм к фракции более 2 мм; $K_т$ — степень разрушенности породы после испытаний, оцененная способом, аналогичным вышеуказанному.

Согласно Н. С. Красиловой, при $K_в$ менее 0,5 обломки пород разламываются руками; при $K_в$=0,5—0,75 обломки пород разламываются руками, но не растираются; при $K_в$=0,75—1,0 и более — обломки пород растираются руками и размягчаются в воде.

МЕРЗЛЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

При инженерно-геологической съемке в области развития многолетнемерзлых пород проводится изучение льдистости, суммарной влажности, объемной массы, осадки при оттаивании.

Различают четыре вида льдистости мерзлых пород: 1) цементационная — за счет льда-цемента; 2) шлировая — за счет сегрегационных и инъекционных шлиров льда; 3) макрольдистость — за счет крупных ледяных образований и 4) общая льдистость — за счет всех видов подземного льда. Определяется льдистость чаще отношением объема льда к объему мерзлой породы (в % или долях единицы).

В районах крупных скоплений подземных льдов большое практическое значение имеет количественная оценка макрольдистости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 6

1. *Амброзевич Е. Л.* Опыт применения скоростных методов лабораторных определений физических и прочностных свойств скальных пород. Методы инженерно-геологического изучения скальных пород. «Тр. ВСЕГИНГЕО», 1969, вып. 21, с. 96—102.

2. *Методическое пособие* по инженерно-геологическому изучению горных пород. Под ред. Е. М. Сергеева и др. М., Изд-во МГУ, 1968, т. I, 347 с.; т. II. 370 с.

3. *Швец В. Б.* К оценке оснований из выветрелых (элювиальных) крупнообломочных грунтов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1963, № 5, с. 21—25.

4. *СНиП П*-15—74. М., Госстройиздат, 1975. 64 с.

5. *СНиП П*-18—76. М., Госстройиздат, 1976. 46 с.

6. *Ведерников Л. Е.* Исследование мерзлых крупноскелетных грунтов. — «Труды ВНИИ-1», 1959, вып. 13, 23 с.
7. *Пчелинцев А. М.* Инструктивные указания по определению объемной массы, влажности и объемной льдистости мерзлых грунтов в полевых условиях. — В кн.: «Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов». М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 32—54.

Глава 7

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Современные геологические и инженерно-геологические процессы относятся к числу наиболее существенных компонентов инженерно-геологических условий исследуемой территории.

Эти процессы создают серьезные затруднения для строительства и эксплуатации сооружений и требуют принятия соответствующих профилактических и защитных мероприятий. Для надлежащего проектного обоснования таких мероприятий необходимы анализ факторов, вызывающих тот или иной геологический или инженерно-геологический процесс, а также прогноз возникновения и развития процесса.

Геологические процессы разделяются на две группы: эндогенные и экзогенные. Процессы, возникшие в результате деятельности человека, называются инженерно-геологическими. Границу между инженерно-геологическими и геологическими процессами иногда бывает провести трудно, так как наряду с процессами, вызванными непосредственно деятельностью человека, встречается ряд геологических процессов переходного характера, на которые эта деятельность оказывает более или менее значительное, но не решающее влияние.

Поскольку геологические и инженерно-геологические процессы протекают в земной коре, их характер и интенсивность тесно связаны с геологическим строением, гидрогеологическими, геокриологическими, геоморфологическими и ландшафтными условиями территории, а также с деятельностью человека.

Выявление закономерностей распространения геологических процессов, их типизация, оценка интенсивности и активности являются основной целью изучения геологических процессов при инженерно-геологической съемке. В ряде случаев результаты исследований могут дополняться соображениями прогнозного характера.

В процессе инженерно-геологической съемки решается ряд задач, к которым относятся: 1) выявление территорий, находящихся в зоне воздействия геологических процессов; 2) изучение природных условий, на фоне которых развиваются геологические процессы; 3) учет влияния хозяйственной деятельности человека на окружающую среду; 4) учет катастрофических проявлений геологических процессов; 5) изучение характера и особенностей проявлений геологических процессов и факторов, влияющих на них.

Изучение геологических процессов проводится на всех этапах инженерно-геологической съемки. В предполевой период оно выполняется путем отбора и обработки литературных и фондовых материалов. На основании этих данных вырабатываются представления о комплексе процессов, которые предстоит изучать на территории проведения инженерно-геологической съемки.

Основная работа в этот период — выявление ландшафтных индикаторов процессов и дешифрирование аэрофотоснимков, в результате чего составляется карта — схема проявления геологических процессов, проводится предварительная их типизация и намечается порядок изучения в полевой период. В районах с широким развитием современных процессов на основании изучения фондовых материалов, предварительного дешифрирования, аэровизуальных наблюдений и опорных маршрутов производится типизация по их генезису и активности, выбор наиболее представительных участков развития процессов определенного типа и активности и детальное изучение их на ключевых участках и опорных маршрутах.

В районах с активным проявлением геологических процессов изучение их производится повсеместно. В камеральный период обрабатываются полевые материалы, выявляются пространственные закономерности и дается оценка интенсивности проявления процессов. Все это отражается на картах и в отчете о съемке.

Следует иметь в виду, что предлагаемая ниже методика изучения отдельных видов процессов при инженерно-геологической съемке описана с детальностью, соответствующей работам на ключевых участках.

ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Движения земной коры, отражающиеся на ее геологической структуре и формах рельефа и происходящие в неоген-антропогеновое время, называются новейшими тектоническими (неотектоническими) движениями. Эти движения могут быть разделены на две группы: современные и более древние.

Современные движения доступны непосредственному наблюдению. Они изучаются геодезическими, сейсмологическими, гидрологическими, историческими, астрономическими, геофизическими и другими методами. Более древние движения изучаются преимущественно геолого-геоморфологическими методами. Ценные результаты в области изучения новейших тектонических движений дают повторные нивелировки, наклономерные наблюдения, аэрофотосъемка, а также анализ сейсмических, геологических и геоморфологических данных.

По направленности новейших тектонических движений различают участки с преобладанием поднятий и опусканий. На участках с преобладанием поднятий нередко хорошо выражены поверхности выравнивания на водоразделах, террасовые уступы в долинах, тектонические участки долин, крутые берега долин, порожистые русла и интенсивное эрозионное расчленение поверхности. На опускающихся участках террасовые уступы в речных долинах значительно снижаются или исчезают, наблюдаются накопления мощных толщ новейших отложений; эрозионное расчленение бывает слабое, местами наблюдается заболачивание, осолонение почв в приморских районах, обнаруживаются погребенные торфяники и т. п.

Неотектонические движения приводят к деформациям земной коры и нарушению залегания пород, которое проявляется в виде складкообразования, разрывных нарушений, трещиноватости. В зависимости от интенсивности движений они проявляются в рельефе. Эти зоны имеют большое инженерно-геологическое значение. Так, в зонах «живых разломов» отмечается интенсивное развитие обвалов, осыпей, оползней и других экзогенных процессов. Трещиноватость пород также отражается на их устойчивости.

При инженерно-геологической съемке необходимо изучать все проявления неотектонических движений. Эти данные отражаются в отчете. «Живые разломы» отмечаются на карте.

Огромное значение для оценки инженерно-геологических условий территории имеет сейсмическая активность, определяющая частоту и интенсивность сейсмических явлений. В зависимости от интенсивности сейсмические явления разделяются на следующие три группы: 1) мегасейсмические, сопровождающиеся разрушениями сооружений и остаточными деформациями земной коры; 2) макросейсмические — менее интенсивные, но воспринимаемые непосредственно человеком; 3) микросейсмические, наблюдаемые только при помощи специальных приборов.

По действующим факторам землетрясения разделяются на три типа: денудационные, вулканические и тектонические; наиболее разрушительна последняя группа. При расположении очага землетрясения в море возникает моретрясение с образованием огромных разрушительных волн — цунами.

Интенсивность (сила) землетрясений оценивается в баллах. Для оценки балльности используются описательные признаки последствий землетрясений, которые систематизированы в три группы: а) повреждения зданий и сооружений, возведенных без необходимых антисейсмических мероприятий; б) остаточные явления в грунтах и изменения режима грунтовых и наземных вод; в) прочие признаки. По этим признакам составлена шкала для определения силы землетрясений до 12 баллов. На сейсмических станциях сила землетрясений определяется с помощью сейсмометров.

Для территории СССР составлена карта сейсмического районирования, на которой выделены сейсмические районы с балльностью от 6 баллов (нижний предел, учитываемый при строительстве) до 9 баллов (Медведев, 1962). На величину сейсмической балльности влияют геологические условия: литологический состав отложений, залегание пород, их обводненность, особенности рельефа (Попов, 1959). Все эти факторы учитываются при сейсмическом микрорайонировании, определяя приращение сейсмической балльности по отношению к исходному баллу, получаемому с карты сейсмического районирования территории СССР.

При инженерно-геологической съемке изучаются данные, характеризующие сейсмичность территории, необходимые для обоснования сейсмического микрорайонирования. К ним относятся в первую очередь сведения по геоморфологии (строение речных долин, развитие речных и морских террас и т. д.), гидрогеологии, составу пород, слагающих территорию, расположении эпицентров, повторяемости землетрясений. Материалы и выводы о сейсмичности приводятся в отчете.

Среди эндогенных процессов значительная роль принадлежит вулканизму. Однако проявления его ограничены территориально, и инженерно-геологическое изучение этого процесса будет иметь место лишь в отдельных районах.

Задачи изучения современного вулканизма при инженерно-геологической съемке сводятся к оценке возможности воздействия извержений на исследуемую территорию и определению границ распространения, состава и свойств изверженных пород. Следует также различать вулканические породы по возрасту, поскольку вулканизм проявлялся в различные геологические периоды.

ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Гравитационные смещения пород на склонах и откосах

Обвалы и осыпи. Под обвалами понимается обрушение пород со склонов в условиях свободного падения обломков, сопровождающееся их дроблением. Осыпи представляют собой: 1) разновидность обрушения пород склона, при котором обломки пород, слагающих склон, ска-

тываются по нему; 2) скопления обломочных пород на склоне, медленно смещающиеся вниз и представляющие своеобразные полого-выпуклые формы рельефа; 3) сочетание первого и второго.

Обвалы можно различать по масштабу (обвалы массы породы, падение одиночных камней) и по возрасту (современные и древние). Осыпи различаются по форме в плане и состоянию (стабилизировавшиеся и активные), а также по механическому составу слагающих пород.

Обвальные накопления могут иметь различное морфологическое выражение. Это завальные плотины, перегораживающие долины, либо вытянутые вдоль долины плоско-выпуклые или бугристые накопления, либо неправильные нагромождения, лишь немного выступающие за линию подошвы склона. Мощности их могут колебаться от нескольких до сотен метров (Дроздов, 1959).

Обвальные накопления представляют собой беспорядочное нагромождение угловатых обломков различного размера с неоднородным заполнителем. Некоторые полости между обломками могут оставаться незаполненными. Благодаря этому многие древние обвальные накопления оказываются частично или полностью сцементированными в глыбовые брекчии за счет отложений солей из вод, движущихся по пустотам (Шанцер, 1966).

Осыпи также характеризуются некоторыми внешними признаками. Обычно в зоне разрушения, если она сложена плотными породами, уклоны поверхности более крутые, а в пределах скопления обломков они становятся меньше угла внутреннего трения слагающих обломочных пород. При этом уклоны поверхности осыпи выполаживаются, а профили ее склонов приобретают вогнутые очертания. Между поверхностями осыпи и вышерасположенного склона образуется плавный переход, отличающий старые осыпи от свежих.

Материал осыпей представляет собой обломки пород разнообразного состава и различной крупности — от глыб до глинистого заполнителя. В теле осыпи всегда имеются признаки сортировки. Более крупные и тяжелые обломки сосредоточиваются в основании осыпи, вверху преобладает мелкий материал. Кроме того, верхние слои осыпи оказываются промытыми инфильтрационными водами, а в нижних происходит кольматация пустот.

Признаками активизации осыпей может служить наличие на поверхности свежих обломков пород и нарушение растительного покрова. На стабилизировавшихся осыпях появляется растительность. На первых стадиях зарастания встречаются специфические формы.

В процессе инженерно-геологической съемки должны быть выявлены основные закономерности распространения и формирования обвалов и осыпей, произведена оценка интенсивности их проявлений.

При описании участков, на которых развиты обвалы и осыпи, прежде всего должно быть уделено внимание геологическому строению участка, степени активности осыпания, характеристике пород склона и обрушившихся пород.

При описании геологического строения участка отмечаются породы, которыми сложен обследуемый склон, строение склона (однородное или слоистое), условия залегания слоев, характер рельефа склона (наличие выступов, нависающих блоков, карнизов, ниш), тектонические нарушения, трещины бортового отпора, наличие обрушившегося материала в основании склона и его объем, водопроявления. Важной характеристикой является возраст склонов, на которых происходят обрушения.

При описании пород склона отмечаются их петрографический состав, структура, текстура, прочность пород, выветрелость и трещиноватость. В том случае, если встречающиеся породы различны, характеризуются их контакты. Большое внимание должно быть уделено

трещиноватости с целью выявления главных направлений трещин и их густоты.

При описании обрушившегося материала должны быть охарактеризованы его петрографический состав, размер и форма обломков, заполнитель, процентное соотношение обломков и заполнителя, наличие пустот, плотность сложения материала, крутизна его поверхности, влажность породы и имеющиеся водопроявления. По возможности оценивается мощность обрушившихся отложений. Мощность пород определяется визуально, измеряется в случае проходки горно-буровых выработок или сейсмическим методом.

Кроме перечисленных признаков при описании следует отмечать положение обследуемого склона и осыпи в рельефе, формы и параметры осыпи, растительность и характер ее распространения. При наличии на обследуемом участке инженерных сооружений отмечается их взаимодействие с обвалами и осыпями.

Обвалы и осыпи в зависимости от их размера показываются на карте масштабным или внемасштабным знаками.

Оползни. Оползень, по определению Е. П. Емельяновой,— это «... смещение вниз части горных пород, слагающих склон, а нередко также основание и территорию за его бровкой, происходящее в виде скользящего движения без потери контакта между смещающимися и неподвижными породами в результате механического разрушения или течения горных пород в склоне или в его основании».

Изучение оползней в процессе инженерно-геологической съемки сводится к решению следующих основных задач.

Выявляются распространение и характер оползней на исследуемой территории, устанавливается их приуроченность к определенным стратиграфо-генетическим комплексам, геоструктурным элементам, зонам разломов, гидрогеологическим условиям, геоморфологическим структурам и т. д. Чрезвычайно важно определить, захватывают ли оползни только покровные отложения (обычно четвертичного возраста) или также и дочетвертичные породы.

При этом следует руководствоваться классификацией морфологии оползневых районов, разработанной Е. П. Емельяновой, согласно которой выделяются: 1) единичные оползни; 2) области линейного распространения оползней (по берегам морей, крупных рек, озер, водохранилищ, вдоль дорог и т. п.), среди которых можно выделить: а) оползни, чередующиеся с устойчивыми участками склона; б) почти сплошь оползневой склон; 3) области площадного развития оползней (по разветвленной эрозионной сети), куда входят: а) оползни редкие; б) оползни, встречающиеся часто.

Кроме того, важно установить возраст оползней посредством следующих признаков — местоположения базиса оползания, положения оползня на склоне, соотношения оползневого тела с аллювиальными или морскими террасами, денудационными уровнями и т. д. Следует различать следующие градации оползней по возрасту: древние,— обычно крупные оползневые тела, размещенные в циркообразных депрессиях с характерным холмисто-грядовым рельефом, и современные (активные или приостановившиеся) относительно меньших размеров, нередко развивающиеся в пределах древних оползневых тел.

Для последующих исследований весьма полезно соображение об основных причинах активизации оползней (аномальность атмосферных осадков, активизация сейсмической деятельности, воздействие человека и т. д.).

В пределах ключевых участков описание оползней должно включать: 1) сведения о генезисе, форме, высоте, крутизне и экспозиции склона, на котором образовался оползень; 2) расположение оползня на склоне (нижняя, средняя, верхняя часть склона захвачена оползнем);

3) сведения о форме оползня в плане; 4) основные параметры оползня — длину, ширину, высоту стенки срыва, а в отдельных случаях, когда имеются точные данные,— мощность оползневого тела и амплитуду смещения; 5) морфологическую характеристику оползневого склона и его границ; 6) указания о наличии трещин в пределах площади оползня и на соседней с нею территории, а также характере их расположения; 7) описания состава и условий залегания пород в коренном массиве и в оползневом теле; 8) данные об обводненности оползневого склона и характере водопроявлений; 9) указания о времени образования оползня и обстоятельствах, способствующих ему; 10) описания растительности на поверхности оползня; 11) указания о наличии на площади оползня зданий или сооружений, в том числе противооползневых, и их состоянии на момент обследования.

В случае очень большого числа оползней на охватываемой съемкой территории описание их может производиться выборочно, с учетом наиболее крупных из них.

Описание дополняется зарисовками и фотоснимками форм оползней в плане и профиле, а также отдельных существенных деталей их морфологии.

На карту наносятся все зарегистрированные оползни. Наиболее крупные из них изображаются контуром (с использованием аэрофотоснимков), мелкие — показываются внемасштабным знаком.

При наличии большого количества оползней на карте оконтуриваются только районы линейного или площадного развития их.

Курумы — каменные потоки на склонах и поверхностях водоразделов, плоских вершин плато и днищ крупных долин, почти лишенные растительности. Они образуются обломками продуктов выветривания пород, постепенно сползающих вниз по склону под влиянием силы тяжести, а также процессов солифлюкции, морозного выветривания и температурных изменений в течение суток.

По своим морфологическим признакам в плане и величине курумы подразделяются на: 1) каменные моря и 2) каменные реки.

Каменные моря — хаотические нагромождения крупных обломков горных пород, занимающие широкую по фронту площадь.

Каменные реки — вытянутые по склону (по отрицательным формам рельефа) смещающиеся скопления глыбово-щебнистого материала.

Размеры обломочного материала курумов зависят от состава, свойств пород и их трещиноватости. Если гранитоиды дают наиболее крупнообломочные россыпи (до 10 и более метров в поперечнике), то глинистые сланцы образуют мелкоглыбовые курумы (0,1—0,5 м). Скорость движения курумов подчинена крутизне подстилаемой поверхности и размерам самих глыб. Наибольшая скорость характерна для средней части курума, а наименьшая — для периферийных областей. На склонах крутизной 15—30° скорость движения курумов достигает 0,9—1,5 м/год, а на более пологих поверхностях — не превышает 0,4 м/год. В редких случаях курумы могут сползать внезапно с катастрофически высокой скоростью и подпруживать русла водотоков.

При инженерно-геологической съемке участки развития курумов могут быть выявлены в результате предварительного дешифрирования аэрофотоснимков (если они имеются) или в процессе обзорных аэровизуальных наблюдений. Степень детальности полевых исследований зависит от изученности современных геологических процессов и явлений в данном районе. При наличии сведений о площадном распространении курумов в процессе съемки посредством дешифрирования аэрофотоматериалов и опорных маршрутов выясняются основные закономерности формирования курумов на различных геоморфологических элементах, связь их с высотой, крутизной и экспозицией склонов, зависимость

строения и динамики курумов от геологического строения склонов. Отмечаются характер движения или стабильность курумов и влияние на их динамику метеорологических факторов. Оцениваются возможность катастрофического смещения курума и его угроза народнохозяйственным объектам.

При отсутствии данных о площадном распространении курумов необходимо выявить такие закономерности их развития и проявления, которые позволили бы типизировать их по характеру питания и приуроченности к различным геоморфологическим элементам.

В процессе съемки устанавливаются: 1) морфология склона, к которому приурочен курум (строение, крутизна, высота, экспозиция, относительный возраст склонов речных долин); 2) наличие области питания и характеристика ее; 3) происхождение курума, условия залегания обломков; 4) строение курума и его форма в плане (с зарисовкой); 5) размеры, петрографический и гранулометрический состав обломков, слагающих курум; 6) их форма и величина, наличие сортировки материала, присутствие мелкозема, его относительное содержание, наличие снега или льда в куруме, признаки обводненности; 7) наличие выходов подземных вод на склоне, их расположение, характер (родники, мочажины), водообильность; 8) характер растительности склона, степень покрытия, тип растительности, наличие нарушений растительного покрова, указывающих на активность смещения курума. Скорость движения и подвижность курумов устанавливаются по неустойчивости и неплотному залеганию качающихся глыб, по наползанию отдельных глыб на основания стволов деревьев и по выдвижению языков курумов на поверхности террас и днищ долин.

На участке пересечений курумами линий связи, транспортных коммуникаций и трубопроводов производится маркировка отдельных крупных глыб или устанавливаются наблюдательные реперы для организации в последующем кратковременных стационарных наблюдений за скоростью смещения курума.

Лавины — скользящие и обрушивающиеся вниз по склону снежные массы. Они характерны как для высокогорных районов с резко контрастным рельефом, так и для среднегорных и даже низкогорных территорий. В процессе эродирующей деятельности лавин на горных склонах образуются специфические отрицательные формы рельефа, среди которых выделяются (Тушинский, 1963) две генетические группы: 1) нивально-эрозионно-ледниковых и 2) гляциально-лавинных форм. К ним относятся лавинные каналы, эрозионно-нивальные борозды, нивально-денудационные воронки и пр. Обломочный материал, выносимый лавинами, образует специфические положительные формы рельефа — конуса выноса, лавинные бугры и псевдобоковые морены.

Лавины образуются в разные времена года (преимущественно в конце зимы) и связаны с периодами максимального выпадения твердых осадков. Внешними признаками лавиноопасных участков являются снежные карнизы, надувы, снежные шапки и козырьки. Оторвавшиеся снежные массы быстро набирают скорость и приобретают высокую кинетическую энергию, производя большие разрушения. Скорость передвижения лавин может достигать 100 м/с (сухие лавины из пылеватого снега).

Практически лавины могут возникнуть в любой горной местности, где крутизна склонов не менее 20°, а мощность снежного покрова превышает 30 см. При проведении инженерно-геологической съемки в горных районах необходимо указывать лавиноопасные склоны.

При описании лавиноопасных склонов отмечаются: 1) положение, экспозиция, относительная высота, форма в профиле и в плане, крутизна, геологическое строение, условия залегания пород, их состояние, размеры лавиносбросов и лавиносборов, характер растительности на

этих участках; 2) пути схода лавин — «лавинные прочесы» на залесенных склонах; 3) влияние лавин на состояние растительного покрова; 4) следы разрушения, причиненные лавинами различным народнохозяйственным объектам; 5) участки возможной лавиноопасности. На карте отмечаются места схода лавин.

Процессы, связанные с действием поверхностных вод

Механическое, химическое и биохимическое воздействие поверхностных вод на горные породы приводит к разрушению их с переносом и аккумуляцией полученного материала, т. е. к созданию определенных форм рельефа земной поверхности. К поверхностным водам относятся воды рек, озер, морей, водохранилищ и временных водотоков. Их разрушительная деятельность определяется гидрологическими, геологическими, геоморфологическими и другими факторами.

Эрозия. При инженерно-геологической съемке изучаются три вида эрозии: 1) склоновый смыв; 2) образование оврагов; 3) речная эрозия.

Склоновый смыв. Смыв со склонов почв и продуктов выветривания горных пород может происходить с разной интенсивностью в зависимости от крутизны и морфологии склонов, их геологического строения, почвенного покрова и растительности, экспозиции склонов, а также от климатических условий территории и в первую очередь — от количества и характера выпадающих осадков.

Смыв может быть плоскостным и струйчатым, при этом плоскостной смыв характерен для периодов снеготаяния, а струйчатый — для ливневых дождей. Процесс смыва сменяет процесс обрушения и осыпания пород при выполаживании склонов после прекращения подмыва их основания рекой, морем, водохранилищем или озером. При этом в зависимости от прочности слагающих пород формируются новые склоны разного облика и строения. Размыв непрочных, преимущественно четвертичных пород и отложения размытого материала формируют делювиальные (эрозионно-аккумуляционные) склоны средней крутизны с различной мощностью делювия. Смыв со склонов, сложенных трудноразмываемыми и медленно выветривающимися породами, приводит к образованию склонов более крутых с незначительной мощностью делювия в основании или вообще без него с большим количеством борозд и промоин.

При инженерно-геологической съемке на ключевых участках изучаются возраст и крутизна склона, а также мощность делювиальных отложений. Кроме того, отмечаются участки современного активного смыва пород и почв и выявляются его причины — значительная крутизна склонов, наличие легкорастворимых пород, нарушение дернового покрова, неправильная распашка и т. д.

Образование оврагов. Борозды и промоины на склонах нередко сравнительно быстро развиваются в овраги. Форма оврагов в первую очередь определяется стадией развития и в меньшей степени — составом и прочностными свойствами пород. Скорость развития (роста) оврага, а также скорость перехода от одной стадии к другой, наоборот, почти целиком (при равных гидрогеологических и гидрологических условиях) определяются размываемостью пород.

При съемке необходимо отмечать: 1) длину и ширину оврага в разных его частях; 2) высоту и крутизну бортов, степень их задернованности и залесенности; 3) форму оврага в плане и профиле; 4) прорезаемые оврагом породы. Все эти данные увязываются со стадией развития оврага. Отмечаются растущие вершины и отвершки оврагов, определяется скорость их роста (м/год). Данные о скорости роста оврагов

можно получить из расспросов местных жителей и из сравнения аэрофотоснимков разновременных залетов. Интенсивность развития оврагов на участках, сложенных различными комплексами пород, можно определить путем подсчета площади оврагов, приходящейся на 1 км^2 территории (густота овражной сети).

Речная эрозия. Эрозия реки находит выражение в углублении русла или в расширении долин путем размыва берегов. Для горных районов с большими продольными уклонами рек и соответствующими скоростями течения характерно преобладание донной эрозии, а для равнинных — боковой. Наиболее интенсивный размыв берегов происходит в паводки, при повышении уровня воды в реках и увеличении скоростей течений. В этот период размыву подвергаются не только бечевники, но и основания склонов долины, в результате чего формируется эрозионный уступ.

В процессе проведения съемки отмечаются: 1) состав и состояние пород, их относительная сопротивляемость размыву; 2) форма и крутизна бечевников и их отдельных зон, наличие на них аккумуляции материала, степень зарастания растительностью; 3) высота, крутизна, форма и состояние поверхности эрозионных уступов в разных породах; 4) процессы, развитые на уступе и на всем подмываемом склоне,— осыпание, оползание, обрушение, солифлюкция и пр.; 5) скорость размыва берегов и отступания их в целом или скорость отступания эрозионного уступа. Сведения о скорости размыва берега на отдельных участках могут быть получены по расспросам местного населения и путем сравнения карт (топографических или лоцманских), составленных в различные годы, а также дешифрированием аэрофотоснимков разных лет и по материалам систематических наблюдений, получаемых стационарными инженерно-геологическими партиями.

На карте показываются подмываемые участки берега, отличающиеся крутизной бечевника, его меньшей по сравнению со средней шириной свежестью эрозионного уступа и наличием паводковых уступов на бечевнике.

Сели — это внезапные горные кратковременные потоки, состоящие из смеси воды и твердого материала, возникающие после дождей, при интенсивном таянии снега и ледников, а также при прорыве завалов русл и плотин. Для селей обычно характерно пульсирующее движение в виде волн, которое сопровождается деформациями русла и заканчивается отложением перенесенного материала в виде конусов выноса.

Селевыми или селеопасными бассейнами называются бассейны рек и ручьев, в которых наблюдались случаи прохождения селей или природные условия которых благоприятны для их образования.

В селевом бассейне различаются зоны: формирования, транзита, временного затухания и накопления (конус выноса).

При инженерно-геологической съемке необходимо различать сели по особенностям их формирования, руководствуясь общей генетической классификацией очагов зарождения их, рекомендуемой в «Методическом руководстве по комплексному изучению селей» (1971 г.), согласно которой выделяются очаги, связанные: 1) со скоплением рыхлого материала в руслах временных и малых водотоков; 2) с подпруживанием рек; 3) с деятельностью современных ледников; 4) с деятельностью вулканов.

В этой классификации отражены особенности формирования как жидкой, так и твердой составляющих селевых потоков.

По гранулометрическому составу твердой составляющей селевые потоки могут быть подразделены на грязевые, грязекаменные, водокаменные.

В процессе инженерно-геологической съемки должны быть выявлены основные закономерности распространения и формирования селей,

произведена оценка интенсивности проявления селевых процессов, а также дана рекомендация по первоочередному производству детальных исследований и постановке стационарных наблюдений.

Особенности изучения селей при производстве инженерно-геологической съемки обусловливаются прежде всего большой линейной протяженностью зоны проявления и воздействия селевого процесса. Нередко конусы выноса селевых потоков находятся на расстоянии нескольких десятков километров от очагов их зарождения. Исследователь обычно не может наблюдать непосредственно проявление этого процесса, а о характере и других его параметрах может судить только по следам и результатам его воздействия.

Основными признаками проявления селевых процессов являются: 1) наличие в устьях рек конусов выноса, в том числе свежих, не поросших растительностью; 2) загромождение русла рыхлообломочным материалом и наличие боковых валов вдоль русла; 3) следы грязи на бортах русла, отдельных камнях, деревьях, поваленные деревья с обломанными ветвями; 4) наличие очагов зарождения селей с большими запасами рыхлообломочного материала.

При инженерно-геологической съемке должны быть: 1) выявлены очаги зарождения селей и их приуроченность к определенным стратиграфо-генетическим комплексам пород и высотным поясам, а также произведена их классификация; 2) оценены примерные запасы рыхлообломочного материала во временных и малых водотоках (первая группа очагов) и выявлена возможность подпруживания долин рек обвалами и оползнями (вторая группа очагов); 3) выявлена роль морен и ледников в формировании селевых потоков (третья группа очагов); 4) предварительно оценена возможность прорыва завальных озер и определены возможные причины прорыва (вторая группа очагов); 5) оконтурены различные зоны воздействия селевых потоков (формирования, транзита, временного затухания и аккумуляции) и получены основные параметры этих зон (продольные уклоны русла, ширина долин, характер и крутизна склонов, наличие возможных мест затора, ширина русла, поперечные профили русла и селевого потока и т. д.); 6) выявлена роль растительности в формировании селевых потоков; 7) изучена динамика недавно прошедших селевых потоков по их следам, определены объем выносов, места затора и т. д.; 8) обследованы существующие противоселевые сооружения и дана общая оценка противоселевых мероприятий в целом по району.

Маршруты для изучения селевых водотоков необходимо планировать таким образом, чтобы были обследованы все зоны воздействия селей и очаги их зарождения. При обследовании конусов выноса обращается внимание на последовательность их формирования, устанавливаются различия разновозрастных частей конуса по гранулометрическому и петрографическому составу крупных обломков.

Для определения скоростей и расходов селевого потока необходимо иметь данные о максимальной крупности влекомого материала и распределении его по зонам, а также данные о максимальном уровне селевого потока, который фиксируется по следам. В транзитной зоне необходимо фиксировать участки пополнения селевого потока твердым материалом и определять примерный объем последнего. При обследовании зоны временного затухания селя следует определять размеры ее, а также приблизительные запасы твердого материала, которые теряет селевой поток при прохождении этой зоны. На карте показываются все селеопасные водотоки и характеризуется тип твердой составляющей проходящих по ним селей.

Процессы абразии и аккумуляции морских берегов. Изучение процесса абразия — аккумуляция применительно к морским берегам сводится в основном к выявлению геологических, геоморфологических и гид-

рологических особенностей прибрежной области и их роли в изменении положения береговой линии.

Морские берега в зависимости от преобладания на них абразии или аккумуляции подразделяются на: 1) берега слабой аккумуляции — берега низин (платформенных зон), характеризующиеся пологим подводным склоном, с развитием различных аккумулятивных форм (широкие пляжи, косы, бары и др.), лиманов, сильной изрезанностью береговой линии; 2) аккумулятивные берега, испытывающие в настоящее время размыв,— берега с хорошо развитой (широкой) пляжевой зоной, в том числе и древние аккумулятивные образования (мысы), на которых в настоящее время наблюдается интенсивный размыв; 3) абразионные берега — приглубые с хорошо выраженным клифом, обнажающим коренные породы, главным образом скальные и полускальные; пляжи или полностью отсутствуют, или представлены на отдельных участках в виде нешироких (порядка 5 м) полос; 4) абразионно-аккумулятивные берега — береговая полоса, на которой абразионные участки чередуются с аккумулятивными; 5) закрепленные берега — особый тип берегов, на которых присутствуют противоабразионные и противооползневые берегоукрепительные сооружения, в том числе и искусственные пляжи.

Выделение указанных категорий берегов производится на основе дешифрирования аэрофотоснимков, аэровизуального обследования, маршрутного (наземного) изучения ключевых участков.

Направленность процесса абразия — аккумуляция в значительной мере обусловлена режимом и интенсивностью выноса и вдольберегового перемещения твердого (пляжевого) материала. По литературным данным и по данным наземных и аэровизуальных обследований дается характеристика твердого стока (оцениваются объемы выноса) основных питающих водных артерий, определяются генеральные направления движения наносов. По многолетним данным (по данным Гидрометслужбы) составляются характеристики ветро-волнового режима моря (розы ветров и волнения).

Направленность и интенсивность абразии и аккумуляции, так же как и других экзогенных геологических процессов, развитых в береговой зоне, определяются общим неотектоническим фоном данного региона, а также интенсивностью вертикальных движений земной коры на отдельных участках. В связи с этим выделяются зоны по интенсивности вертикальных движений.

Для количественной оценки интенсивности процессов абразии и аккумуляции используется величина интенсивности переформирования берега $И_п$, под которой понимается скорость изменения положения (перемещения) линии уреза моря. При этом скорость рассматривается как скалярная величина

$$И_п = \frac{\Sigma S}{T},$$

где S — величина горизонтального перемещения линии уреза (величина абсолютная); $\Sigma S = S_1 + S_2 + \ldots + S_n$; n — число наблюдений за перемещением линии уреза; T — отрезок времени, в течение которого выполнялись наблюдения.

По данным о величине интенсивности переформирования берегов, полученным на ключевых участках, производится районирование береговой линии. На ключевых участках кроме наблюдений за перемещением линии уреза выполняются следующие разовые работы: 1) описывается береговая зона на данном участке, по возможности выделяются древние береговые линии (по наличию береговых валов и уступов); 2) дается характеристика элементов современного берегового уступа (клифа,

бенча, пляжа) с указанием их размеров и углов наклона; 3) даются сведения о характере деформации берега (о наличии оползневых и обвальных явлений).

Процессы, связанные с действием подземных вод

Карст — совокупность геологических процессов и созданных ими явлений в земной коре и на ее поверхности, вызванных химическим растворением горных пород и выраженных в образовании в земной коре пустот, в разрушении и изменении структуры и состояния пород, в создании особого характерного рельефа местности и режима гидрографической сети (Попов, 1959).

По литологическому составу карстующихся пород выделяют следующие типы карста: карбонатный, сульфатный, сульфатно-карбонатный, соляной.

По структурно-геоморфологическому принципу карст подразделяется на: 1) эрозионный, приуроченный к современным и древним речным долинам и балкам, активность развития которого связана с колебаниями уровня поверхностных и подземных вод; 2) карст водораздельных (междуречных) пространств, развивающийся по литогеническим трещинам и трещинам выветривания; 3) карст тектонических поднятий, распределение и закономерности развития которого связаны с тектонической трещиноватостью; 4) карст зон тектонических разломов, направление и характер развития которого обусловлены наличием крупных нарушений и приуроченных к ним зон тектонической трещиноватости; 5) эрозионно-тектонический, приуроченный к речным долинам, прорезающим зоны тектонических нарушений; 6) карст древних тектонических опусканий (погружений), приуроченный к породам, залегающим в настоящее время на больших глубинах и характеризуемый Ф. П. Саваренским как подземный (затопленный, погребенный, пассивный); 7) приконтактовый, приуроченный к контакту растворимых и нерастворимых пород; 8) антропогеновый, современная активность которого связана с изменением условий залегания и режима подземных вод, вызванных разработкой месторождений полезных ископаемых, строительством водохранилищ и т. п.

По степени обнаженности или наличию покрова отложений над растворимыми породами выделяют карст: 1) обнаженный — карстующиеся породы выходят на поверхность; 2) прикрытый — на растворимых породах имеется элювиальный покров или они задернованы; 3) покрытый — карстующиеся породы погребены под мощной корой выветривания. Г. А. Максимович (1963) дополняет эту классификацию двумя типами карста: закрытый — перекрывающая толща слагается коренными отложениями и перекрытый — карст прикрыт отложениями террас.

При инженерно-геологической съемке большое значение приобретают вопросы изучения закарстованности территории и современного состояния карстового процесса.

Инженерно-геологическая съемка в карстовых районах представляет собой комплексное изучение территории, т. е. ее геологического строения, геоморфологии структурных элементов и гидрогеологических условий с целью определения роли и влияния карста.

При изучении литологических особенностей пород необходимо обратить внимание на состав карстующихся пород и наличие в них примесей (глинистых, песчаных, органических и др.) с указанием количественного соотношения и характеристики их мощности, структуры, слоистости и включений (конкреций кремния, фосфоритов, пирита и т. п.). Необходимо обратить серьезное внимание на характер и системы трещин, их генезис, морфологию и закономерность развития, а также при-

уроченность к породам различного литологического состава, характер закарстованности и наличие заполнителя. Следует учесть, что характер и состав заполнителя трещин определяют условия движения подземных вод и развитие карстовых процессов. При этом описываются и картируются внемасштабными знаками различные формы проявления карста: карстовые воронки, ниши, пещеры, колодцы, шахты, пропасти, долины, полья, карры и др. При описании различных форм карста необходимо уделить внимание их морфологии, генезису, возрасту, приуроченности к видам горных пород и условиям их взаимного размещения (беспорядочное, сосредоточенное на отдельных участках или ориентированное в определенном направлении и т. д.).

Существует несколько методов приближенной оценки закарстованности исследуемого района, которую можно получить путем подсчета на отдельных различных по геологическому строению, тектоническим и геоморфологическим особенностям участках зафиксированных карстовых форм, приходящихся на единицу площади, а также отношением суммарной площади карстопроявлений к площади распространения закарстованных пород. Количественное определение трещиноватости и закарстованности пород можно получить путем замера трещин и пустот в обнажениях и карьерах, в стенках горных выработок, по керну скважин. Для инженерно-геологической оценки закарстованных территорий и выявления закарстованных зон применяются аэрофотосъемка и геофизические методы. При дешифрировании аэрофотоснимков устанавливаются наличие карстовых форм, их размеры и морфология. Среди геофизических методов исследования могут быть применены методы электроразведки и сейсморазведки.

Суффозия — это процесс выноса подземными водами из горных пород различных составляющих.

Различают механическую и химическую суффозию. При механической суффозии происходят разрыхление и вынос частиц породы движущейся подземной водой, а при химической суффозии — выщелачивание и вынос из породы легкорастворимых солей. В условиях растворения цементирующего вещества и выноса нерастворимых частиц породы выделяется смешанный химико-механический тип суффозии. Этот процесс происходит при естественном или искусственном изменении гидродинамических условий (сезонные колебания уровня подземных вод, откачки и т. п.), вызывая оседание породы, выражающееся в образовании оползней, провалов, воронок и т. д.

В программу исследования суффозионных явлений при инженерно-геологической съемке входят: 1) выявление геологического строения и *типов пород, способных к суффозии, условий их залегания*, трещиноватости, структуры, минерального и гранулометрического состава; 2) изучение геоморфологических особенностей района (естественных и искусственных депрессий рельефа, на склонах которых создаются условия фильтрации воды с большими градиентами) и описание суффозионных форм — их морфологии, размещения и ориентировки; 3) изучение условий движения поверхностных и подземных вод; 4) изучение глубины и скорости выветривания.

Суффозионные формы хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках.

Процессы развевания и выветривания

Эоловые процессы представляют собой перемещение и аккумуляцию продуктов разрушения горных пород под воздействием ветра. Разрушающая деятельность ветра слагается из дефляции (развевания) и коррозии (обтачивания, шлифовки) горных пород. В результате коррозии и дефляции возникают различные формы рельефа (останцы, столбцы, «эоловые города», котловины выдувания и др.). Созидательная дея-

тельность ветра выражается в накоплении песчаных или пылеватых эоловых отложений, слагающих эоловый аккумулятивный рельеф (барханы, дюны, грядовые и кучевые пески и т. д.).

Основные задачи исследования эоловых процессов при съемке сводятся к: 1) изучению проявлений разрушающей и аккумулятивной деятельности их и установлению связей с особенностями геологической среды; 2) определению направленности процесса и его интенсивности в зависимости от розы ветров и их силы; 3) сбору данных об ущербе, причиненном эоловыми процессами, и о мероприятиях по борьбе с ними.

В процессе съемки должны быть выявлены территории развития эоловых процессов, выделены области разрушения, транспортировки и накопления эоловых отложений, определен возраст образованных этими процессами форм рельефа, их основные параметры, направленность развития процесса, его интенсивность и активность.

Вследствие того, что области накопления эолового материала могут располагаться на значительном удалении от областей разрушения горных пород, может оказаться невозможным выделение всех трех вышеназванных областей. Для областей разрушения необходимо отметить, какие породы наиболее интенсивно подвергаются воздействию эоловых процессов. В областях накопления эоловых отложений следует определять их минеральный и гранулометрический состав, что позволяет оценить силу ветров, участвовавших в формировании этих отложений.

Относительный возраст эоловых форм рельефа может быть установлен по сохранности и наличию растительности, соотношению с формами рельефа другого генезиса и прочим объективным признакам. Целесообразно различать молодые, старые и древние формы. При этом старые формы эолового рельефа могут отличаться от молодых отсутствием свежих следов проявления эоловой деятельности, а от древних — тем, что последние образовались при существенно иных физико-географических условиях и основные области их развития не совпадают с современными. Такое даление не исключает использование обычной геологической хронологии.

Направленность развития процесса может быть установлена по соотношению основных областей его развития, по розам господствующих ветров с учетом их силы, по степени подвижности эоловых накоплений и характеру корродированности пород в области разрушения. На инженерно-геологической карте отмечаются территории, где интенсивно развиты эоловые процессы.

Выветривание. Под выветриванием понимается изменение горных пород, происходящее при воздействии на них экзогенных агентов (солнечной радиации, температурных колебаний, воды, кислорода, углекислоты, животных и растительных организмов). Выветривание — это непрерывный длительный процесс изменения инженерно-геологических свойств пород на месте их залегания. Изменения минералого-петрографического состава, структуры и текстуры пород при выветривании определяются составом материнских пород, климатическими и ландшафтными условиями. При выветривании происходит переход первичных алюмосиликатов (полевые шпаты, авгит, роговая обманка и др.) во вторичные (каолинит, монтмориллонит, иллит и пр.), которым свойствен глинистый облик. Появляются новообразования: гипс, карбонаты кальция и магния, водные окислы железа, ярозит и др. В разрезе образуются зоны, различающиеся по степени выветрелости. Н. В. Коломенским (1952) предложено расчленение кор выветривания на зоны: 1) монолитная; 2) глыбовая; 3) зернистая или мелкообломочная; 4) тонкого дробления.

При обследованиях, проводимых с целью изучения выветривания и установления границ выветрелых зон пород, необходимо учитывать геоморфологические условия местности и ее неотектонические особенности.

Как правило, коры выветривания бывают развиты более интенсивно на древних поверхностях выветривания, на выровненных междуречьях. В речных долинах, где поверхности более молодые, коры выветривания обычно отсутствуют или проявляются в значительно меньших масштабах. Участки новейших тектонических поднятий также практически лишены кор выветривания, на участках погружений коры встречаются под перекрывающими их более молодыми отложениями. На стабильных участках коры обычно хорошо развиты.

Коры выветривания линейного распространения часто бывают приурочены к контактовым и тектоническим зонам, где могут сформировать отрицательные формы рельефа (лога, ложбины, долины и т. д.). Изучение выветривания пород включает полевое обследование обнажений, описание, зарисовки, фотографирование пород, отбор образцов и определение их свойств. При описании горных пород особое внимание должно быть уделено цвету, раздробленности, трещиноватости, минеральному составу и прочности пород. При описании цвета отмечаются окраска всей породы во влажном и сухом состоянии, изменение окраски с глубиной, приуроченность цвета и оттенка к отдельным прослоям, наличие черных, желтых, красных пятен, потеков, точечной окраски и окраски включений и примазок.

При описании раздробленности породы отмечаются ее степень, размер, состав и форма обломков и блоков, на которые разбита порода, а также их расположение, характер трещин и по возможности генезис. Для трещин отмечаются: их расположение, длина, глубина, степень зияния или ширина, частота, характер заполнения, состав и свойства заполнителя. Изучение раздробленности породы позволяет выделить зоны выветривания с указанием их мощности. Помимо указанных выше основных признаков выветривания следует отмечать влажность, липкость, пластичность, характер расселения и проникновения в глубь породы растительности (как низшей, так и высшей), приуроченность ее к определенным породам или ориентировке склонов, развитие корневой системы, разъедание поверхности пород и т. п. В описании также приводятся данные, характеризующие участок, на котором проводится обследование выветрелых пород. В итоге съемки на карте должно получить отражение наличие кор выветривания, если они имеют достаточную мощность и занимают большую площадь.

Криогенные процессы

При инженерно-геологической съемке криогенные процессы и образования разделяются на пять групп по ряду признаков: 1) причинам и условиям формирования, особенностям динамики мерзлотного процесса; 2) приуроченности к определенным горизонтам мерзлотно-геологического разреза; 3) связи их с различными категориями подземных вод; 4) инженерно-геологическому значению в оценке территории; 5) особенностям воздействия на инженерные сооружения.

К первой группе относятся криогенные процессы, возникающие в отложениях сезонноталого и сезонномерзлого слоев при их ежегодном протаивании и промерзании. К таким процессам относятся солифлюкция, выпучивание каменного материала, образование трещин и полигонов усыхания, пятнообразование, пучение отложений и просадка их при оттаивании. Все эти процессы приводят к формированию солифлюкционных форм (потоков, террас, шлейфов, оплывин и др.), нагорных террас, каменных россыпей, курумов, «структурных грунтов», пятен-медальонов, однолетних и небольших многолетних бугров пучения.

Во вторую группу объединяются криогенные процессы и образования, обусловленные температурными объемно-градиентными напряжениями и деформациями сезонно- и многолетнемерзлых пород, кото-

рые возникают зимой при резких колебаниях температур в верхних слоях мерзлого монолитного массива. К числу их относятся системы морозобойных полигональных трещин, связанные с ними повторно-жильные льды (в многолетнемерзлых породах) и грунтовые жилы (в слоях сезонного оттаивания и промерзания).

В третью группу входят криогенные образования, возникновение которых обусловлено *многолетним промерзанием* верхних горизонтов горных пород и новообразованием мерзлых толщ. Это — многолетние бугры пучения, связанные с промерзанием замкнутых подозерных таликов, а также обусловленные внедрением напорных таликовых вод глубокой циркуляции (булгунняхи и гидролакколиты).

В четвертую группу объединяются криогенные процессы и образования, обусловленные многолетним протаиванием верхних горизонтов мерзлых горных пород и содержащихся в них подземных льдов. Они объединяются под общим названием термокарст (собственно термокарст, термоэрозия, термоабразия и др.).

К пятой группе относятся мерзлотно-гидрогеологические образования — *наледи*.

При изучении всех криогенных процессов и образований в ходе инженерно-геологической съемки устанавливаются: 1) генезис и форма криогенного образования, его размер, влияние на морфологию поверхности, стадии его развития, происходящие при этом процессы, причины их возникновения; 2) геологическая обстановка, в которой они развиваются, приуроченность к определенным элементам рельефа, связь с породами определенного генезиса и состава; 3) геокриологические условия, в которых они развиваются (состояние пород, их температурный режим, криогенное строение мерзлых пород, тип сезонного промерзания или протаивания, динамика развития мерзлых толщ; 4) гидрогеологические условия (тип вод по отношению к мерзлой толще, приуроченность вод к определенному горизонту или комплексу, их химический состав, особенности режима и т. д.); 5) динамика развития криогенных явлений и парагенетическая связь с другими геологическими процессами и образованиями; 6) геологический эффект процесса, т. е. его влияние на осадконакопление или денудацию, на состав, строение и свойства отложений, их криогенные или посткриогенные особенности; 7) характер их воздействия на инженерные сооружения, влияние на инженерно-геологические условия территории.

Необходимо также выяснить, какие меры следует применять в практике хозяйственного освоения территории для борьбы с вредным воздействием криогенных процессов при различных видах строительства, а также оценить эффективность этих мероприятий.

При изучении криогенных процессов и образований, относящихся к первой группе, особенно важно установить их связь с динамикой сезонного промерзания и протаивания отложений, влажностным режимом пород, особенностями надмерзлотных или грунтовых вод и верховодки (в пределах талых участков). Следует также установить, какие из образований этой группы развиты на талом, а какие на многолетнемерзлом субстрате; это необходимо для дальнейшего использования их в качестве диагностических признаков распространения мерзлых и талых пород.

При изучении морозобойного растрескивания и криогенных образований важно установить, какие формы развиты на сезонномерзлом, а какие на многолетнемерзлом субстрате. При изучении повторно-жильных льдов нужно различать эпигенетические и сингенетические льды. Изначально грунтовые жилы, возникающие при растрескивании пород слоев сезонного оттаивания и промерзания, следует отличать от псевдоморфоз по повторно-жильным льдам — образований термокарстового происхождения.

В ходе изучения криогенных процессов и образований третьей группы весьма важно выяснить причины многолетнего промерзания талых пород, установить характер вод, за счет которых образуются ледяные и ледо-грунтовые ядра многолетних бугров пучения. На основании изучения условий залегания, текстурных и структурных особенностей подземных льдов в буграх пучения устанавливается их сегрегационное, инъекционное или смешанное происхождение. Гидролакколиты могут являться поисковым признаком на сквозные напорно-фильтрационные талики и связанные с ними воды.

При изучении термокарста и связанных с ним форм особенно важно установить вызывающие его причины: локальные или региональные изменения теплообмена на поверхности земли, вызванные: а) естественным изменением природных условий (колебаниями температур воздуха различного периода, изменением континентальности климата и др.); б) искусственно созданными изменениями существовавшей природной обстановки (нарушением растительного покрова, различного рода строительными мероприятиями и т. д.). Выясняются условия развития термокарста (со стоком вод или без стока), а также связь его с эрозией и абразией. Различные по генезису и условиям залегания подземные льды приводят к развитию различных форм термокарста. Таким образом, формы термокарста в зависимости от условий их развития и генезиса вытаивающих льдов могут служить достаточно надежным и легконаблюдаемым признаком наличия подземных льдов в мерзлых горных породах. В большей мере это относится к повторно-жильным льдам, широко развитым в северных районах.

Важное значение имеют псевдоморфозы по повторно-жильным льдам, возникающие в результате замещения ледяной жилы минеральной породой. Их инженерно-геологическое значение заключается в различии состава и свойств вмещающих и выполняющих псевдоморфозу пород. Обычно породы, слагающие псевдоморфозы, более рыхлые, они обладают меньшей несущей способностью и содержат иногда полости и каверны, не заполненные породой.

Изучение криогенных процессов и образований перечисленных четырех групп проводится на основании общих геокриологических исследований. Они включают морфологические наблюдения форм рельефа, фиксацию криогенных форм, их изучение в шурфах, по скважинам, в обнажениях и т. д.

Изучению пятой группы мерзлотно-гидрогеологических образований — наледей — при инженерно-геологической съемке уделяется особое внимание как показателю развития таликов и присущих им типов вод. По генезису различаются наледи подземных вод (подмерзлотных, межмерзлотных, надмерзлотных вод и грунтовых вод таликов, подрусловых потоков), поверхностных вод (речных, озерных) и смешанных (речных и подземных) вод. По положению в рельефе наледи разделяются на водораздельные, склоновые, террасовые, конусов выноса, логов, пойменные, русловые, обрывов, искусственных выработок. По продолжительности существования наледи бывают сезонные, летующие и многолетние; по залеганию — наземные и погребенные; по времени образования — современные и древние. Изучаются источники питания наледей, сроки их появления и таяния, занятые ими площади, объемы наледного льда, положение в рельефе и т. д. Кроме того, исследуется химический состав вод, питающих наледь и наледный лед (до начала и в процессе таяния наледей, состав выпадающих на наледи солей). Весенние работы по изучению наледей желательно проводить до начала интенсивного таяния с целью правильного определения их размеров и состава вод, питающих наледи в критический период. Такие работы должны включать аэровизуальные наблюдения и наземные маршруты с определением мощности льда и с топографической съемкой типичных

наледей. Объем льда наледей должен учитываться при оценке ресурсов подземных вод.

При изучении криогенных процессов широко используются ландшафтно-индикационный метод и дешифрирование аэрофотоматериалов. При изучении повторно-жильных и других подземных льдов используется электроразведка.

ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЧЕЛОВЕКА

Различаются процессы и явления, вызванные изменением: 1) теплового режима горных пород; 2) режима поверхностных и подземных вод; 3) напряженного состояния и статического равновесия пород в массиве.

Процессы и явления, вызванные изменением теплового режима, наиболее распространены в области многолетнемерзлых пород. Под влиянием строительства и хозяйственного освоения происходит изменение теплового режима горных пород, вызывающее обычно протаивание многолетнемерзлых или реже промерзание постоянноталых горных пород. В первом случае в льдистых грунтах образуются провальные и просадочные формы, во втором — происходят морозное пучение, морозобойное трещинообразование, наледеобразование и др. Процессы первой и второй групп влекут за собой деформации сооружений. При инженерно-геологической съемке следует выявлять такие деформации, определять их характер и интенсивность, связь с геокриологическими условиями, подземными водами, климатическими особенностями, свойствами горных пород и т. д.

Процессы и явления, связанные с изменением режима поверхностных и подземных вод. Эти процессы и явления происходят главным образом при создании водохранилищ и водоемов, а также при различного рода крупных водопонизительных работах.

Одним из распространенных явлений, возникающих после создания водохранилищ, является переработка (переформирование) их берегов. Характер процесса переработки (механизм) и его интенсивность определяются различными факторами, относящимися к геологическому, геоморфологическому и гидрологическому классам. Часть факторов (главным образом геологические и геоморфологические) выявляется и картируется на основе дешифрирования аэрофотоснимков, аэровизуальных обследований (крупных водоемов), по материалам наземных маршрутов на ключевых участках. Факторы гидрологического класса оцениваются по литературным (фондовым) материалам и по данным режимных наблюдений, если таковые проводятся на объекте.

Районирование береговой зоны проводится по одному из ведущих признаков (факторов) или по нескольким признакам.

1. По крутизне берегов выделяются (Качугин, 1963): а) слабонаклонные и горизонтальные поверхности; б) пологие склоны (уклон $<15°$); в) склоны средней крутизны (уклон от 15 до 30°); г) склоны крутые (уклон $>30°$).

2. По характеру процесса переработки выделяются берега: а) абразионные; б) оползневые и обвальные, характерные главным образом для горных водохранилищ; в) абразионно-оползневые, характерные как для горных, так и для равнинных водохранилищ *; г) аккумулятивные, для которых характерно образование береговой отмели (пляжа) **.

---

* Для трех указанных типов берегов процесс переработки выражен в отступании береговой линии в глубь суши.

** Процесс характеризуется наступанием береговой линии на акваторию.

3. Важнейшим показателем процесса переработки является показатель интенсивности берегоразрушения — величина отступания береговой линии в год. По этому признаку различают: а) интенсивно разрушающиеся берега — величина отступания береговой линии достигает сотен метров в год; б) берега средней интенсивности разрушения — величина отступания береговой линии составляет десятки метров в год; в) слабо разрушающиеся берега — величина отступания береговой линии составляет несколько метров в год; г) берега практически неразрушающиеся (устойчивые берега) — величина отступания береговой линии практически равна нулю.

В пределах ключевых участков при описании процессов переработки берегов в зоне устьев рек и селевых водотоков, питающих водоемы, на карте обозначаются расходы твердого стока, приводятся данные о его механическом составе. Для крупных водохранилищ (в том числе и проектируемых) рассчитывается зона подтопления грунтовых вод и на карте обозначается линия максимально возможного подпора грунтовых вод с указанием их минимальных глубин залегания в зоне подтопления. По периметру водоемов линейными знаками выделяются существующие и проектируемые участки с берегоукрепительными сооружениями и типами этих сооружений.

При изучении горных водохранилищ производится оконтуривание зон сезонного колебания уровней подпора воды в водохранилище; выделяются участки береговой зоны, на которых следует ожидать крупных деформаций склонов (оползни, обвалы) и оценивается степень их опасности; указываются селеопасные участки и оценивается опасность возможного селепроявления для эксплуатации водохранилища, инженерных сооружений и населенных пунктов, расположенных в береговой зоне.

Процессы и явления, вызванные изменением напряженного состояния и статического равновесия пород в массиве, следует рассматривать как для подземных, так и для наземных горных выработок.

При проходке подземных горных выработок или тоннелей происходит перераспределение естественных напряжений в массиве и породы стремятся двигаться по направлению к полостям выработок. Возникает горное давление. Породы, слагающие кровлю выработок, в зависимости от их состава, прочностных свойств и наличия поверхностей ослабления (тектонические нарушения, трещиноватость и пр.) испытывают упругие и пластические деформации, проявлением которых являются обрушения пород, их выпирание, вывалы и пр.

Весь массив пород над выработанным пространством может испытывать общие подвижки с образованием на поверхности земли мульды сдвижения, а в некоторых случаях и провальных воронок. Эти явления представляют большую опасность как для наземных, так и для подземных сооружений. При изучении подземных горных выработок весьма важна фиксация состава пород, их состояния, наличия слабых линз и прослоев, карстовых пустот, зон ослабления повышенной трещиноватостью и др. Исследователи должны получить краткую характеристику инженерно-геологических процессов и явлений, развитых в горных выработках,— различных видов обрушения и сдвижения пород в кровле, пучения пород в почве выработок, их интенсивности, приуроченности к различным типам пород и рабочим горизонтам, прорывов плывунов, внезапных выбросов пород и газа, стреляния пород, горных ударов и пр. Все эти данные должны сопровождаться сбором гидрогеологических сведений: о величинах водопритоков в горные выработки, мощных прорывах вод и применяемых мерах борьбы с подземными и поверхностными водами.

Необходимо получить характеристику явлений, наблюдающихся на поверхности земли в зоне подработки ее горными работами,— наличие

мульды, ее размеры, сдвижения, деформации наземных сооружений. Следует указать,— где размещаются отвалы пустых пород (терриконы), не происходит ли их деформаций (оползни) и как они влияют на нарушение природных условий территории.

В условиях горного рельефа подработка поверхности земли может вызывать на вышележащих склонах оползневые и обвальные явления. Размещение отвалов рыхлых пород на склонах также создает угрозу развития оползневых явлений. Поэтому при съемке должно быть обращено внимание на состояние склонов в районе горных работ.

Изменение напряженного состояния пород в массиве происходит также при вскрытии их открытыми выработками (карьерами) для разработки месторождений полезных ископаемых и строительных материалов и при строительстве различных котлованов и глубоких выемок. В этих случаях перераспределение естественных напряжений может вызывать деформации пород, слагающих борта выработок. Эти деформации в основном связаны с гравитационными силами, но им могут способствовать также различные физические и химические процессы, развивающиеся под воздействием агентов выветривания.

При обследовании должны отмечаться размеры выработок (глубина, площадь карьеров, протяженность выемок), принятая система выработки — количество уступов, крутизна откосов, применяемая транспортировка вскрышных пород и полезного ископаемого. На основании материалов геологической (рудничной или строительной) службы и собственного обследования при съемке фиксируются происходящие оползневые процессы в бортах выработок (типы оползней, их размеры, интенсивность движения), обвалы, осыпи, пучение в дне выработок, суффозионные явления (суффозионные воронки и полости, шлейфы выноса и пр.), различные водопроявления. Отмечается связь этих процессов и явлений с различными природными и горнотехническими факторами (гидрогеологические условия участка, состав и физико-механические свойства пород, трещиноватость, наличие статических и динамических нагрузок на откосы и пр.).

В районах с горным рельефом обращается внимание на состояние и устойчивость склонов, расположенных выше открытых горных выработок. Дается краткое описание мер борьбы с инженерно-геологическими явлениями (осуществление дренажных или водопонизительных мероприятий, поверхностные водоотводы, закрепление пород и пр.). Собираются сведения о размещении отвалов (внутренних и внешних) вскрышных пород, крутизне, состоянии и устойчивости их откосов. Особое внимание обращается на устойчивость отвалов, расположенных на горных склонах.

Процессы и явления, связанные с извлечением из недр земли нефти, газа и воды, получили широкое развитие в районах расположения нефтяных и газовых промыслов и мощных водозаборов подземных вод. Длительное извлечение из недр больших масс нефти, газа и воды (а в некоторых случаях — сопровождаемое выносом песчаного материала) вызывает изменение напряженного состояния в массиве пород с падением внутрипластового давления, оседанием земной поверхности, а иногда и образованием провально-суффозионных воронок. Величины осадок земной поверхности при этом могут измеряться многими метрами.

В районах добычи солей и других полезных ископаемых способом подземного растворения водой, щелочами и кислотами развиваются явления антропогенного карста. В этом случае внутри массива вышележащих пород и на поверхности возникают провальные воронки.

При проведении съемки в районах развития инженерно-геологических явлений необходимо дать характеристику этих явлений, в которую должны входить сведения о величинах осадок поверхности земли и их

проявлениях в виде деформаций различных наземных сооружений, наличии провальных воронок, образовании трещин в поверхности земли и пр.

О ПРОГНОЗЕ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Под *инженерно-геологическим прогнозом понимается* установление направленности и количественная оценка проявления современных геологических и инженерно-геологических процессов, вызванных динамикой природных условий и хозяйственной деятельностью человека.

Основными объектами инженерно-геологического прогноза являются инженерно-геологические процессы, состояние и физико-механические свойства грунтов, гидрогеологические условия. Прогноз осуществляется с помощью метода инженерно-геологических аналогий, аналитических методов расчета, методов физического и математического моделирования на аналоговых и аналогово-вычислительных машинах, натурных наблюдений.

Различают два основных вида прогнозов.

1. *Общий, заключающийся в установлении изменений инженерно-геологических условий, происходящих вследствие как динамики природных условий (климатических, гидрологических, неотектонических и других факторов, влияющих на интенсивность современных геологических процессов), так и мероприятий по подготовке территории к строительству* (уничтожение растительного покрова, снятие или уплотнение снега, нарушение стока поверхностных вод, земляные работы, искусственные покрытия и др.).

2. *Локальный, состоящий в установлении направленности и количественных изменений инженерно-геологических условий, обусловленных прямым воздействием данного типа сооружений в сфере их влияния в течение всего периода эксплуатации.*

Общий инженерно-геологический прогноз должен проводиться при инженерно-геологических исследованиях любой детальности (любых масштабов), локальный осуществляется лишь при крупномасштабных инженерно-геологических исследованиях.

Инженерно-геологическое картирование средних и мелких масштабов *является одним из первых этапов инженерно-геологических исследований территории.* Естественно, что на этом этапе могут быть решены лишь некоторые общие задачи инженерно-геологического прогноза, так как для исчерпывающего прогноза необходимы специальные исследования и стационарные наблюдения за развитием геологических процессов.

В результате съемки должны быть получены необходимые представления об основных характеристиках изучаемой геологической среды. *Поэтому инженерно-геологическая карта масштаба 1 : 200 000 является* важным исходным документом для целей последующего прогноза. При картировании в данном масштабе особое внимание должно уделяться проявлениям геологических и инженерно-геологических процессов, которые на этом этапе исследований следует рассматривать как основной объект прогнозирования.

Главной задачей прогноза является определение возможностей возникновения и тенденций развития процессов. Эта задача распадается на ряд частных задач, которые в отдельных случаях могут рассматриваться в качестве самостоятельных. Наиболее важные из них: 1) определение возможности возникновения или активизации того или иного геологического процесса и его пространственного размещения; 2) выявление ожидаемого характера изменения отдельных компонентов природной обстановки (рельефа, состава, состояния и свойств горных по-

род, подземных и поверхностных вод и т. п.) под воздействием экзогенных процессов; 3) оценка ожидаемого воздействия процессов на отдельные инженерные сооружения, районы городской застройки, сельскохозяйственные угодья, транспортные коммуникации и т. д.

Объективность и точность прогноза зависят от достоверности и полноты сведений о механизме геологического процесса и природной обстановки, в которой он развивается.

В настоящее время частные методы региональных прогнозов экзогенных геологических процессов почти не разработаны. Поэтому главная задача данного параграфа — правильно ориентировать исследователей на целенаправленный сбор и систематизацию исходной информации для последующих прогнозных оценок.

К числу наиболее рациональных методов прогноза оползневых процессов, применяемых при инженерно-геологическом картировании, следует отнести группу методов, которые могут быть названы историко-геологическими (Емельянова, 1972). Эти методы в основном применимы для естественных условий, где влияние деятельности человека еще невелико.

Историко-геологические методы базируются на детальном изучении истории формирования рельефа, определении возраста отдельных его элементов и приуроченности к ним определенных проявлений геологических процессов (следов оползней, обвалов, селей, абразии, эрозии и т. д.). Такое изучение в ряде случаев позволяет выделить несколько разновременных генераций проявлений тех или иных процессов и определить их относительный возраст. На основании этого могут быть сделаны выводы о направленности процесса во времени, скорости его развития, периодах активизации и затухания, приуроченности к определенным участкам территории, геоморфологическим элементам, комплексам горных пород и т. д. Полученные данные с определенной долей вероятности могут быть использованы для прогноза дальнейшего развития процессов.

Не менее полезными для целей прогнозирования являются методы аналогий и, в частности, сравнительно-геологический метод, разработанный Е. П. Емельяновой. Несмотря на то что наиболее эффективно этот метод может быть использован на более поздних этапах инженерно-геологических исследований, применение его при средне- и мелкомасштабной съемке также весьма важно. В современном виде сравнительно-геологический метод разработан для условий однообразного геологического строения при горизонтальном залегании пород и для случая наклонного залегания покровных отложений на устойчивой коренной основе.

Метод основан на изучении морфометрических показателей, имеющих значение для характеристики устойчивости склонов. Такими показателями для склонов, сложенных горизонтально залегающими слоями, в первую очередь являются их высота и крутизна, а для склонов, покрытых чехлом покровных отложений,— их мощность и крутизна склона.

Зависимость между теми или иными показателями, выявляемая методами статистики, может быть наглядно отражена в графической форме. В случае получения массового, представительного материала этот метод позволяет дать количественную оценку устойчивости склонов и прогнозировать возможность образования на них оползней.

В ряде случаев знание основных характеристик, определяющих возникновение или активизацию процессов в изучаемых регионах, может быть использовано для прогноза участков их наиболее вероятного проявления. Например, для равнинных условий определяющими характеристиками возникновения оползней выдавливания могут являться определенное соотношение высоты и крутизны склонов, наличие в их раз-

резе пластичных глинистых пород и размыва основания склонов рекой. Отсутствие хотя бы одного из указанных признаков или наличие приспоненной к склону аллювиальной террасы исключают возможность образования оползня данного типа. Сравнительно-геологический метод прогноза рекомендуется и для других гравитационных экзогенных процессов.

Общие методы прогноза экзогенных геологических процессов применяются для суммарной оценки подверженности территории воздействию этих процессов. Одним из таких методов, опробованным в ряде регионов СССР, является составление карты пораженности территории современными геологическими процессами (оползнями, селями, обвалами и др.). Подобная карта по существу может рассматриваться как документ, на основании которого осуществляются прогнозные выводы.

Для количественной оценки вероятности возникновения или активизации процессов в различных частях территории может быть использован разработанный во ВСЕГИНГЕО метод прогнозного геодинамического картирования. Данный метод основан на количественном учете мобилизованной части природных и антропогенных факторов, влияющих на развитие геологических процессов. Установленные таким путем зависимости могут быть экстраполированы и на другие территории, если в их пределах действуют те же факторы, что и на ключевых участках. По-видимому, такие условия наиболее вероятны для одинаковых инженерно-геологических областей, выделенных по геоморфологическим признакам.

Примером использования указанной методики может служить прогнозная карта развития оползневых процессов масштаба 1 : 200 000, составленная сектором инженерной геодинамики ВСЕГИНГЕО для одного из участков Черноморского побережья Кавказа. Закартированная территория, ограниченная полосой побережья шириной 20—35 км, охватывает области средне- и низкогорного рельефа, сложенного в основном песчано-глинистыми породами палеогенового и мелового возраста.

С целью сокращения объема исходной информации, а следовательно и сроков составления карты был использован метод ключевых участков. Данные, полученные на ключевых участках, занимающих 30% всей территории, экстраполировались на всю изучаемую площадь.

При составлении прогнозной карты выполнялись следующие основные операции.

1. Для ключевых участков по данным инженерно-геологических съемок, дополненных аэровизуальными наблюдениями и дешифрированием аэрофотоснимков, построены карты распространения оползней в поверхностных отложениях, включая и элювиированные породы коренной основы. Оползни этой категории в настоящее время преобладают в данном районе и являются наиболее активными. Крупные оползни сейсмогравитационного характера, находящиеся в стабильном состоянии, были исключены из рассмотрения.

2. В соответствии с установленными закономерностями определены основные факторы, обусловливающие развитие оползней.

К ним отнесены: а) геолого-литологический комплекс пород; б) густота тектонических нарушений; в) крутизна склонов; г) густота эрозионной сети; д) годовая сумма атмосферных осадков; е) техногенная деятельность человека.

3. Для каждого из перечисленных факторов построена аналитическая карта, на которой выделены границы распространения их классов.

4. Для каждого ключевого участка вычислены вероятности проявления активных оползней в пределах отдельных классов выделенных факторов, т. е. найдено отношение площади, занятой активными оползнями, к общей площади класса.

5. Сопоставительный анализ полученных результатов позволил оценить относительную роль отдельных факторов в развитии оползневого процесса. Из них особое значение имеют литологический состав горных пород, слагающих склоны, и техногенная деятельность человека.

6. Последовательным совмещением всех аналитических карт была построена карта, на которой выделяются участки, полученные в результате пересечения классов различных факторов. При этом в пределах новых границ оценивается вероятность проявления оползневых процессов.

7. Участки, близкие по значениям вероятностей проявления оползней, объединяются в соответствующие районы.

На карте выделяются участки с очень высокой, высокой, низкой и очень низкой степенью потенциальной оползневой активности. Более детальную прогнозную оценку состояния исследуемой территории целесообразно производить выборочно в потенциально активных оползневых районах.

РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Изучение экзогенных геологических процессов завершается отображением полученной информации на инженерно-геологических картах: карта инженерно-геологических условий и карта инженерно-геологического районирования по интенсивности проявления экзогенных геологических процессов (для горно-складчатых областей).

На карте инженерно-геологических условий показываются места проявления процессов. Процессы, имеющие единичные проявления, обозначаются соответствующими знаками; если же процессы получили площадное развитие, то эта территория оконтуривается и при этом внутри контура дается знак развитого на ней процесса. На этой же карте отмечаются народнохозяйственные объекты, подверженные воздействию экзогенных геологических процессов.

Знаки, которыми показываются процессы, в большинстве случаев внемасштабны. Лишь для больших по площади обвалов, осыпей и оползней участки их проявлений оконтуриваются в масштабе карты. Боковая эрозия, абразия, аккумуляция и сели отображаются линейными знаками, протяженность которых соответствует зоне проявления данного процесса.

На карте районирования дается количественная оценка интенсивности проявления некоторых экзогенных геологических процессов. Интенсивность определяется для обвалов и осыпей, оползней и селей. Эти процессы наиболее широко распространены в горно-складчатых областях и часто взаимосвязаны. Для них отработана методика оценки интенсивности их проявлений. На карте выделяются участки по виду процессов и интенсивности их проявления.

При этом за основу берется представление об интенсивности, предложенное Е. П. Емельяновой. Под интенсивностью понимается количество форм проявления данного процесса на единицу площади или длины, или доля (процент) площади или длины, занятой формами проявления процессов, от общей площади или длины участка.

Интенсивность проявления того или иного процесса представляет интегральный показатель степени развития данного процесса за длительный период, который характеризует проявления процесса в ходе развития рельефа района или участка. Этот показатель в интегральной форме отражает взаимодействие всех рельефообразующих факторов, как эндогенных, так и экзогенных, а также определяет потенциальную предрасположенность данного участка земной коры к проявлению тех или иных экзогенных процессов.

Для того чтобы получить объективные представления об интенсивности процессов, необходимо определять ее для каждого этапа (цикла) формирования рельефа. В настоящее время при определении интенсивности не производится расчленения проявления процессов по возрасту. В большей части районов рельеф приобрел современный облик в четвертичную эпоху. Поэтому интенсивность, как правило, характеризует развитие процесса за четвертичное время. Интенсивность проявления экзогенных процессов оценивается при помощи коэффициентов пораженности в долях площади или длины участка проявления процессов.

Интенсивность проявления селей K_S оценивается отношением длины русел рек и временных водотоков, по которым проходят селевые потоки l, к суммарной длине всех водотоков на данном участке (L):

$$K_s = \frac{l}{L}.$$

Коэффициент пораженности (для селей и других процессов) изменяется от нуля до единицы. Интенсивность проявления оползней оценивается двумя показателями в зависимости от пораженности террито-

рии: коэффициентом площадной пораженности или коэффициентом частоты оползней. Последним пользуются в том случае, если на оцениваемой территории площадь отдельных проявлений оползней невелика и не выражается в масштабе карты.

Коэффициент пораженности K_P — это отношение площади, пораженной оползнями (f), ко всей площади участка (F):

$$K_{\text{p}} = \frac{f}{F}.$$

Под коэффициентом частоты оползней K_P' понимается отношение числа оползней (n) на данном участке к площади этого участка (F):

$$K'_{\text{p}} = \frac{n}{F}.$$

Этот показатель может изменяться в широких пределах.

Для того чтобы перейти от коэффициента частоты оползней к коэффициенту площадной пораженности, по данным съемки устанавливается средний размер оползня для оцениваемого участка f_n и эта величина учитывается при расчете:

$$K_p = \frac{n \cdot fn}{F}.$$

Коэффициент обвально-осыпной пораженности (K_Q) определяется как отношение площади, пораженной обвалами и осыпями (f), ко всей площади участка (F):

$$K_Q = \frac{f}{F}.$$

Под площадью, пораженной осыпями и обвалами, понимается вся площадь, на которой развиваются эти процессы, включая зоны денудации, транзита и аккумуляции.

Для подсчета интенсивности экзогенных геологических процессов на карте выделяются элементарные участки. Такие участки получаются при выделении в пределах границ районов (стратиграфо-генетических комплексов) территорий, относящихся к «элементарным бассейнам» (рис. 4).

Расчленение территории на «элементарные бассейны» производится путем выделения в бассейнах крупных рек зон водотоков одного порядка. Такое выделение начинается с водотоков второго или третьего порядка в зависимости от их крупности. Счет порядка водотоков идет от истоков вниз по течению. При слиянии водотоков одного порядка порядок водотока увеличивается на единицу.

В пределах выделенных элементарных участков планиметром подсчитывается площадь проявления оползней, обвалов и осыпей по каждому процессу в отдельности. Планиметром же определяется площадь самого участка. Для участков, где имеют место сели, подсчитываются суммарная длина водотоков, при которых проходят сели, а также суммарная длина всех водотоков.

По этим данным рассчитываются коэффициенты площадной пораженности для отдельных процессов и коэффициент селеносности.

Общая оценка интенсивности совместного проявления экзогенных геологических процессов производится по ведущему процессу, т. е. по тому процессу, интенсивность проявления которого на данном участке наибольшая. Например, на участке интенсивность проявления процессов следующая: $K_S=0{,}8$; $K_P=0{,}2$; $K_Q=0{,}1$. В данном случае общая интенсивность экзогенных процессов определяется по интенсивности проявления селей.

Для обозначения количественной оценки интенсивности всех процессов на отдельных участках предлагается пользоваться специальной

формулой. Для вышеприведенного примера формула интенсивности проявления экзогенных геологических процессов будет иметь вид: $0{,}8S$; $0{,}2P$; $0{,}1Q$, где S — сели, P — оползни, Q — обвалы и осыпи.

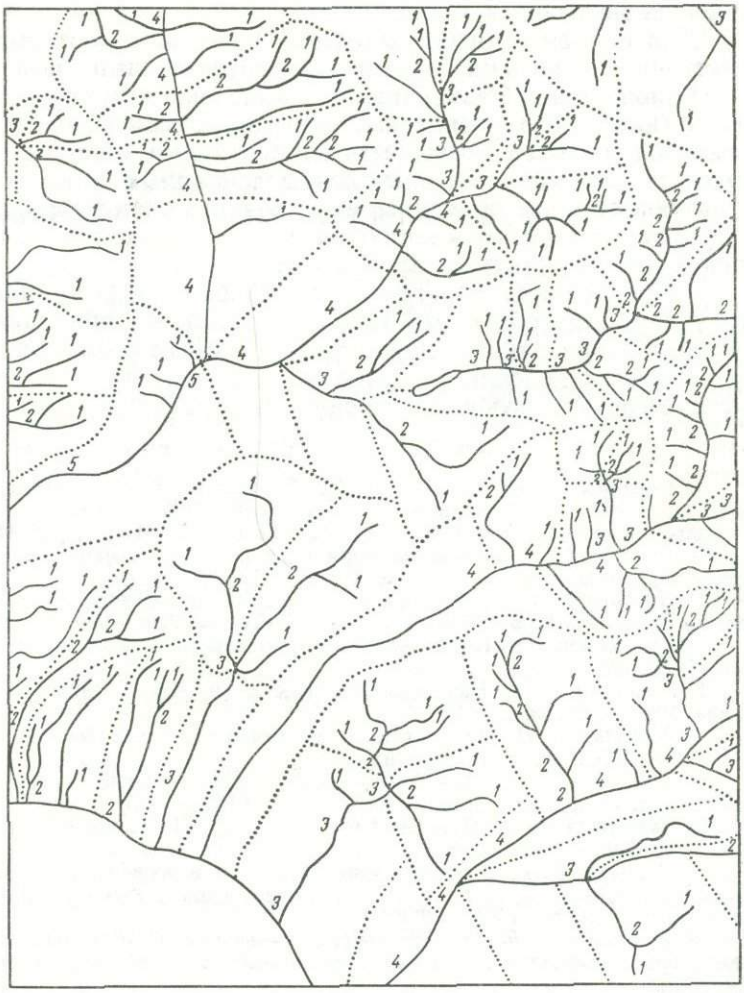


Рис. 4. Элементарные бассейны и порядки водотоков (линия прямая и отточие — границы элементарных бассейнов)

Формула означает, что на данном участке по 80% водотоков возможно прохождение селей, на 20% площади имеют место проявления оползней, 10% площади поражено обвально-осыпными процессами.

В зависимости от величины показателя интенсивности выделяются следующие категории интенсивности проявления экзогенных процессов: 1) проявления процессов (сели, оползни, обвалы и осыпи) не зафиксированы; 2) слабая интенсивность проявления процессов (величина показателей в пределах 0—0,1); 3) средняя интенсивность проявления процессов (величина показателей в пределах 0,1—0,25); 4) сильная интенсивность проявления процессов (величина показателей в пределах 0,25—0,5); 5) очень сильная интенсивность проявления процессов (величина показателей выше 0,5).

Интенсивность проявления экзогенных процессов является критерием при районировании территории, которое в горно-складчатых областях выполняется по следующей схеме. Регионы выделяются по геоструктурному признаку, области первого порядка — по геоморфологическим условиям. Для горно-складчатых территорий выделяются области второго порядка с учетом особенностей вертикальной зональности,

поскольку последняя определяет комплекс природных условий (климат, растительность и т. д.) в той или иной зоне и влияет на инженерно-геологические условия. Выделяются следующие области: нивально-высокогорная, высокогорная, среднегорная, низкогорная, предгорная, днища широких межгорных долин.

Далее производится выделение районов в соответствии с преимущественно развитыми стратиграфо-генетическими комплексами пород.

Районирование заканчивается выделением подрайонов по интенсивности (категории) проявления экзогенных геологических процессов. Такими подрайонами могут быть элементарные участки, выделенные при подсчете интенсивности проявления экзогенных процессов, или участки, образующиеся при объединении нескольких элементарных участков, если в пределах их имеют место одни и те же процессы с одинаковой категорией интенсивности их проявления.

Районирование проводится по типологическому принципу. Поэтому участки, разобщенные территориально, но обладающие единством признака (признаков), по которому (по которым) на данном уровне производится деление территории, выделяются как единый элемент в системе соответствующего уровня районирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 7

1. *Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И.* Полевые методы инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1967. 372 с. с ил.
2. *Бочков Н. М.* Механическая суффозия грунта. М.—Л., ОНТИ, 1936. 45 с. с ил.
3. *Вендров С. Л.* Проблемы формирования рельефа чаши (берегов и дна) больших водохранилищ. М., Изд-во АН СССР, 1959. 20 с.
4. *Дроздов С. В.* К методике инженерно-геологического изучения каменных осыпей, россыпей, обвалов и борьба с ними. — «Тр. МГРИ», 1959, т. 35, с. 114—125.
5. *Емельянова Е. П.* Основные закономерности оползневых процессов. М., «Недра», 1972. 307 с. с ил.
6. *Заморуев В. В.* Каменные глетчеры в хр. Хамар-Дабан. — «Изв. Всес. геогр. об-ва», 1965, т. 97, вып. 1, 80 с.
7. *Зенкович В. П.* Морфология и динамика советских берегов Черного моря. М., Изд-во АН СССР, 1958. 187 с. с ил.
8. *Золотарев Г. С.* Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки. — «Тр. ЛГГП», 1955, т. 12, с. 180—235.
9. *Иверонова М. П.* Движение осыпей. — «Тр. Ин-та географии АН СССР», 1954, в. 60, с. 5—74.
10. *Качугин Е. Г.* Вопросы теории процесса переработки берегов водохранилищ. [Автореферат дисс., представл. на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук]. М., 1963, с. 256.
11. *Коломенский Н. В.* Методические указания по изучению процессов выветривания горных пород для инженерно-геологических целей. М., Госгеолтехиздат, 1952. 68 с. с ил.
12. *Коломенский Н. В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968. 335 с. с ил.
13. *Котлов Ф. В.* Город и геологические процессы. М., «Недра», 1967. 220 с.
14. *Максимович Г. А.* Основы карстоведения. Т. I. Пермь, Кн. изд-во, 1963. 444 с.
15. *Медведев С. В.* Инженерная сейсмология. М., Стройиздат, 1962. 284 с.
16. *Попов В. В.* Инженерно-геологические критерии детального сейсмического районирования. — «Тр. Ин-та физики Земли АН СССР», 1959, № 5, с. 81—93.
17. *Попов И. В.* Инженерная геология. М., Изд-во МГУ, 1959. 505 с. с ил.
18. *Тушинский Г. К.* Ледники, снежники и лавины Советского Союза. М., Географиздат, 1963. 311 с. с ил.
19. *Пышкин Б. Я.* Вопросы динамики берегов водохранилищ. Изд. 2-е, перераб. и доп. Киев. Изд-во АН СССР, 1963. 332 с. с ил.
20. *Скворцов Г. Г., Романовский Л. И.* Инженерно-геологические наблюдения при строительстве и эксплуатации карьеров (методические указания). М., Госгеолтехиздат, 1962. 60 с. с ил.
21. *Соболев С. С.* Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. Т. I. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948. 308 с. с ил.
22. *Соколов Д. С.* Основные условия развития карста. М., Госгеолтехиздат, 1962. 322 с. с ил.
23. *Справочник* по инженерной геологии. М., «Недра», 1968. 540 с. с ил.
24. *Шанцер Е. В.* Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М., «Наука», 1966. 239 с. с ил.

Часть II
МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Глава 8
ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Инженерно-геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000) проводится либо в комплексе с геологической и гидрогеологической съемками тех же масштабов, либо (в крайнем случае) после их проведения, с использованием материалов этих съемок. Эффективность съемки, обеспечивающей высокое качество информации об инженерно-геологических условиях при оптимальных затратах, может быть достигнута при использовании наиболее рационального комплекса методов и способов ведения работ, новых видов приборов, инструментов и приспособлений, при высокой производительности труда. Выбор того или иного способа проведения съемки и определение в каждом конкретном случае рационального комплекса полевых методов зависят от конкретных ландшафтно-геологических условий района работ, его инженерно-геологической изученности, технической оснащенности геологической организации и условий проходимости территории, сроков проведения работ. В настоящее время основным приемом исследования больших территорий является метод ключевых участков.

МЕТОД КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ

Одной из наиболее сложных задач методики инженерно-геологической съемки является задача оптимального размещения необходимого (или заданного) объема работ на площади съемки с целью наилучшего освещения инженерно-геологических условий. В последние годы эта задача решается с помощью способа концентрации наземных полевых работ на предположительно типичных (ключевых) по инженерно-геологическим условиям участках и последующей экстраполяции результатов их изучения на прилегающую территорию.

Такой прием широко применяется в геоботанике, почвоведении, лесном деле и пр. Его основой является учение о естественноисторической взаимосвязи и взаимообусловленности всех компонентов природной среды, всех компонентов ландшафта, учение, начало которому было положено еще В. В. Докучаевым. Такой метод для съемки мерзлотных участков впервые предложил применить В. Ф. Тумель (1945). «Главное... — писал он, — в том, что технически недопустимо непосредственное прощупывание всех местных чередований. Здесь необходимо использовать метод, так сказать, географического подобия, ориентироваться на определенные опорные площадки, рассматривая все остальные, сходные с ними, как закономерно однородные».

Широкое применение метода ключевых участков в инженерно-геологической съемке связано с развитием аэрофотосъемки и с использованием ее материалов в инженерно-геологическом картировании.

Высокая разрешающая способность аэрофотоматериалов и использование их для составления топографических карт повлекли за собой развитие методов топографического, геологического, ландшафтного и инженерно-геологического дешифрирования и в конечном счете развитие ландшафтно-индикационного метода. Возможность выявления ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий, высокая точ-

ность картирования их на аэрофотоматериалах позволяют сконцентрировать полевые работы на отдельных, типичных для района, участках.

Ключевой способ концентрации полевых работ при инженерно-геологической съемке основывается на широко применяемом в геологии методе экстраполяции, на использовании предварительно установленных закономерностей изменчивости состава и свойств горных пород и на использовании выявленных в процессе наземных работ ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий.

Метод экстраполяции использует гипотезу однородности состава и свойств горных пород, образовавшихся в результате взаимодействия определенных физических полей в ходе литогенеза. Эта гипотеза позволяет выбрать участки — эталоны однородности и выявить критерии экстраполяции (Бондарик, 1971).

Характер и направление изменчивости состава и свойств горных пород могут быть определены либо по результатам ранее проведенных инженерно-геологических исследований, либо по экспресс-оценке изменчивости какого-либо показателя, связанного с исследуемыми, либо по априорной инженерно-геологической характеристике данных геологической съемки.

Ландшафтно-индикационный метод, основанный на использовании взаимосвязей между геологическим строением, гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями и внешними (физиономичными) компонентами ландшафта, позволяет достаточно быстро косвенно оценивать характер изменения состава и некоторых свойств пород верхней части разреза по структуре аэрофотоизображения природно-территориальных комплексов (ПТК), а также использовать эту структуру в качестве комплексного критерия экстраполяции. Таким образом, ключевой участок — это определенным образом выбранная наименьшая площадь, на которой с достаточной полнотой представлены интересующие исследователя объекты и которая избирается в качестве типичной для проведения комплекса полевых инженерно-геологических исследований. Ряд ключевых участков, объединенных непрерывными наблюдениями за изменением какого-либо компонента инженерно-геологических условий, составляют опорный маршрут. По своему назначению ключевые участки могут быть специализированными или общими.

Ключевые участки специального назначения служат для изучения отдельных территорий, отличающихся своеобразием инженерно-геологических условий. Выбор местоположения специализированных ключевых участков не представляет затруднений. Он производится на основании изучения фондовых и опубликованных материалов, дешифрирования аэрофотоматериалов и аэровизуальных наблюдений.

Ключевые участки для изучения элементов геологического строения и тектоники, изменчивости состава и свойств горных пород приурочены обычно к наиболее представительным обнажениям и доступным для осмотра искусственным горным выработкам — шахтам, штольням, карьерам и т. п.

Участки для изучения подземных вод обычно приурочивают к естественным и искусственным выходам подземных вод.

Участки для изучения современных геологических процессов выбираются в местах их наиболее интенсивного проявления.

Опорные маршруты намечаются обычно на протяженных участках развития какого-либо одного или нескольких процессов (зона «живого» разлома, путь транзита крупных селевых потоков, оползневые склоны и т. д.), в долинах рек, вдоль подмываемого берега с большим количеством представительных обнажений, вдоль линейных сооружений, пораженных инженерно-геологическими процессами, и т. п. Обычно опорные маршруты соединяют несколько ключевых участков.

Ключевые участки общего назначения освещают наиболее характерные, типичные для изучаемой территории инженерно-геологические условия. На них изучаются направление и характер изменчивости состава, состояния и водно-физических свойств горных пород и грунтовых вод, наиболее распространенные современные геологические процессы. Не все задачи инженерно-геологической съемки должны решаться на каждом ключевом участке, но все они обязаны дать полную информацию об экстремальных и средних значениях изучаемых показателей компонентов инженерно-геологических условий. Ключевые участки общего назначения могут быть как центральными (эталонными), т. е. расположенными в центре изучаемого геологического тела, так и граничными. Граничные ключевые участки располагаются поперек границ между геологическими телами и предназначаются для изучения качественного и количественного изменений состава, состояния и свойств пород в граничных условиях. Нередко граничные ключевые участки располагаются в долинах рек по профилям, пересекающим все или бóльшую часть элементов строения долины с выходом на водоразделы.

Одним из наиболее сложных вопросов методики инженерно-геологической съемки является определение количества, размеров и месторасположения ключевых участков общего назначения. Выбору ключевых участков должно предшествовать разделение изучаемой площади на однородные по комплексу изучаемых инженерно-геологических условий территориальные единицы. Такое разделение в зависимости от изученности района проводится по-разному. Ниже излагаются самые общие положения, которые необходимо учитывать при выборе ключевых участков.

В районах с известными тенденциями изменчивости состава, состояния и свойств горных пород ключевые участки назначаются таким образом, чтобы проследить характер изменчивости по ее главным направлениям. В этом случае исходными материалами для размещения ключевых участков служат: а) геологическая карта; б) материалы рекогносцировочных или предшествующих инженерно-геологических исследований, определивших характер и направление изменчивости; в) ландшафтно-индикационная карта или отдешифрированная аэрофотосхема района исследований.

Ключевые участки должны охватывать все основные стратиграфо-генетические комплексы горных пород, главные структурные элементы района, все основные типы многолетне- и сезонномерзлых толщ, а также все типы современных геологических процессов и основные типы ПТК.

При выборе местоположения ключевых участков в районах, где возможно получение экспресс-оценок показателей состава, состояния и свойств горных пород, нужно учитывать требования методики инженерно-геологического опробования. В тех районах, где инженерно-геологические исследования не проводились, и особенно в труднопроходимых районах основным материалом для суждения о пестроте инженерно-геологических условий и характере, составе и состоянии горных пород служит ландшафтно-индикационная карта или отдешифрированная по типам ПТК аэрофотосхема территории. Местоположение выбранных ключевых участков корректируется в процессе съемочных работ. Для этого может применяться способ, соответствующий принципу постепенного сгущения сети горно-буровых выработок по мере уточнения геологической гипотезы (Коломенский, 1968). В качестве оценочного может быть использован наиболее изменчивый показатель состава, состояния и свойств грунтов.

При выборе мест расположения ключевых участков следует учитывать возможность проведения геофизических и буровых работ. Целесообразно размещать ключевые участки в местах проведения горных

и буровых работ, связанных с изучением месторождений или с добычей полезных ископаемых, на строительных площадках, где проводятся земляные работы и имеется возможность изучения инженерно-геологических условий без проведения горных и буровых работ.

В любом случае, при любой изученности района ключевые участки должны выбираться таким образом, чтобы по ним можно было бы впоследствии построить сводные инженерно-геологические разрезы через всю территорию съемки, т. е. соединить частные разрезы, полученные при изучении ключевых участков. Опыт проведения инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 200 000 в районах Сибири и Якутии показывает, что, руководствуясь изложенными выше общими соображениями, в зависимости от категории сложности природных условий различные организации имели от 8 до 30 ключевых участков на каждые 10 000 км² площади картируемой территории. Нетрудно заметить, что диапазон числа ключевых участков, приходящихся на единицу картируемой площади, очень широк. Такое положение объясняется тем, что до настоящего времени отсутствовали методы научно обоснованного размещения ключевых участков, методы расчета необходимого и достаточного количества ключевых участков общего назначения.

В последние годы во ВСЕГИНГЕО были разработаны некоторые расчетные, формализованные методы выбора ключевых участков для целей инженерно-геологического картирования труднодоступных слабо изученных в инженерно-геологическом отношении районов, в которых невозможно проведение рекогносцировочных исследований для определения характера и направлений изменчивости состава и свойств пород. Эти методы основываются на расчете геометрической вероятности (вероятности встречаемости) основных типов ПТК в изучаемом районе и оценке сложности их инженерно-геологических условий, получаемой либо по комплексу внешних признаков ПТК, либо по априорной количественной информации об изменчивости показателей состава, *состояния и свойств горных пород на соседней площади в аналогичных ландшафтно-*геологических условиях.

При отсутствии априорных данных, единственным источником информации о пестроте инженерно-геологических условий и характере их пространственной изменчивости является ландшафтно-индикационное дешифрирование аэрофотоматериалов. Установленные в предполевой период индикационные связи позволяют оценить относительную сложность инженерно-геологических условий природно-территориальных комплексов в изучаемом районе.

Относительная сложность (коэффициент сложности) для типа ПТК определяется сложностью его морфологической структуры, разнообразием литологического состава, состояния горных пород, разнообразием типов проявления современных геологических процессов, грунтовых вод, сезонно- и многолетнемерзлых толщ горных пород. В этих условиях работа на ключевых участках должна проводиться в два этапа (два полевых сезона). *Выбор местоположения ключевых участков перед первым этапом производится* следующим образом:

1. *По результатам предварительного ландшафтного дешифрирования* планиметром определяются площади распространения каждого типа ПТК на всей картируемой территории f_i.

2. Оцениваются в баллах коэффициенты относительной сложности каждого типа ПТК k_i.

3. Оцениваются реальные возможности съемочной партии (заданные объемы работ) в проведении детальных работ на ключевых участках — суммарная площадь ключевых участков ($\Sigma f_{ку}$).

4. Исходя из принципа равнопредставительности, доля площади детальных исследований по каждому типу ПТК определяется по следующей формуле:

$$f_{ку_i} = \frac{f_i k_i}{\sum_1^m f_i k_i} \Sigma f_{ку},$$

где $\sum_1^m f_i k_i$ — сумма произведений площади каждого типа ПТК на коэффициент его сложности при m — типах ПТК на всей картируемой площади.

Объемы полевых работ (скважин, шурфов, точек геофизических наблюдений и пр.) распределяются пропорционально вычисленной доли площади детальных работ.

5. Оптимальные размеры ключевых участков (S) в труднодоступных районах *с плохими условиями проходимости определяются возможностями внутриэкспедицион*ного транспорта. Опыт работ ряда организаций в северных районах Западной Сибири

показывает, что наиболее оптимальный размер ключевых участков при отсутствии наземного транспорта составляет от 3×6 до 6×6 км².

6. Общее число ключевых участков на площади съемки, намечаемое для исследований в первый полевой сезон, составляет:

$$0{,}5\,\frac{\Sigma f_{ky}}{S}.$$

7. Распределение ключевых участков на местности производится на отдешифрированных аэрофотосхемах с учетом следующих положений: а) участки являются преимущественно комплексными, т. е. охватывающими ПТК нескольких типов; б) участки распределяются на всей площади картирования более или менее равномерно, но с учетом распространения типов ПТК на изучаемой территории и таким способом, чтобы впоследствии можно было построить сводные разрезы, пересекающие несколько ключевых участков.

Местоположение выбранных таким образом ключевых участков корректируется в процессе аэровизуальных наблюдений, позволяющих уточнить принадлежность местности к типу ПТК, оценить обнаженность горных пород на участке, выбрать вертолетную площадку или наметить путь наземного транспорта.

Количество и местоположение ключевых участков второго этапа съемочных работ (второго полевого сезона) уточняются по результатам обработки полевых материалов первого года (этапа) съемки. Это уточнение производят следующим образом:

1. Корректируется принадлежность типов ПТК к определенным стратиграфо-генетическим и фациальным комплексам отложений.

2. По аэрофотосхемам подсчитывается количество контуров ПТК каждого типа N_i.

3. По результатам инженерно-геологического опробования вычисляются коэффициенты изменчивости V_{1i} и V_{2i} наиболее варьирующего классификационного показателя состава, состояния или свойств горных пород в пределах каждого типа ПТК (V_{1i} — средний коэффициент изменчивости по всем ПТК i-того типа; V_{2i} — коэффициент изменчивости среднеарифметического значения показателя между ПТК i-того типа).

4. Задаются величины относительной точности (ρ %) и доверительной вероятности p определения наиболее варьирующего показателя свойств * и находят соответствующее p нормированное отклонение t_p.

5. Количество проб на ключевом участке в пределах i-того типа ПТК n_{1i}, а соответственно и количество буровых скважин или шурфов определяются расчетом по формуле

$$n_{1i} = \frac{V^2_{1i}}{\rho^2}.$$

6. Определение общего количества ключевых участков (серий опробования — n_{2i}) по i-тому типу ПТК производится на основании оценки точности среднего значения при двухступенчатом опробовании:

$$\rho^2_{\bar{x}_i} = \frac{V^2_{2i}}{n_{2i}}\,\frac{N_i - n_{2i}}{N_i - 1} + \frac{V^2_{1i}}{n_{1i}\,n_{2i}}.$$

Решая это уравнение относительно n_{2i}, находят необходимое число ключевых участков:

$$n_{2i} = \frac{V^2_{2i}\,N_i}{A\,(N_i - 1) + V^2_{2i}}\left[1 + \frac{V^2_{1i}}{V^2_{2i}\,n_{1i}}\right],$$

где $A = \rho^2/t_p^2$.

7. Из расчетного числа ключевых участков по данному типу ПТК вычитаются участки, исследованные на первом этапе работ.

Данная методика расчета необходимого числа ключевых участков была использована при проведении инженерно-геологической съемки на севере Западной Сибири в 1971—1973 гг. (Горальчук, Мельников, 1974).

Необходимо отдельно рассмотреть особенности выбора ключевых участков и опорных маршрутов в горах. Горные районы отличаются от равнинных частой перемежаемостью и мозаичностью природно-территориальных комплексов, развитием кор выветривания, зон повышенной тектонической трещиноватости, разнообразием и большой интенсивностью современных геологических процессов. Очевидно, что в этих рай-

* Каких-либо обоснованных рекомендаций на этот счет в настоящее время не существует, но многие исследователи и проектировщики, использующие материалы инженерно-геологических съемок, полагают, что при съемках среднего масштаба изучение наиболее изменчивого показателя допустимо с относительной точностью 10% и доверительной вероятностью 0,85.

онах необходимо планировать значительное количество специализированных ключевых участков и опорных маршрутов, предусматривая вертикальнопоясную систему их расположения. В то же время необходимо учитывать, что хозяйственному освоению в горах в первую очередь подлежат межгорные котловины, долины рек, их нижние части склонов, а крутые, интенсивно расчлененные склоны будут осваиваться в последнюю очередь. Поэтому расположение ключевых участков общего назначения следует располагать преимущественно в долинах и котловинах.

Детальность исследования ключевых участков соответствует масштабу используемых (рекомендованных) аэрофотоснимков, что объясняется необходимостью изучения закономерностей взаиморасположения в разрезе и по простиранию отложений данного стратиграфо-генетического комплекса и отражения этих закономерностей на картах и разрезах ключевых участков в масштабе аэрофотоснимков.

При инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000 наиболее оптимальным масштабом карт ключевых участков является 1 : 25 000, при съемке масштаба 1 : 500 000—1 : 50 000. При такой системе полевых работ конечный результат съемки — карта инженерно-геологических условий — является результатом интерполяции и экстраполяции инженерно-геологических карт и разрезов ключевых участков.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ

Сложность задач инженерно-геологической съемки, сжатые сроки съемочных работ и зачастую трудные условия проходимости требуют глубоко продуманной системы организации работ и использования рационального комплекса методов.

Оптимальным для съемочных работ является сочетание методов: 1) качественной оценки изменчивости инженерно-геологических условий, позволяющих выделить геологические тела в плане и выбрать ключевые участки и опорные маршруты для полевых исследований; 2) непосредственного (линейного или точечного) изучения инженерно-геологических условий в пределах ключевых участков и опорных маршрутов и 3) экстраполяции данных полевых исследований.

К первой группе следует отнести аэроландшафтные и геофизические методы, а ко второй — изучение обнажений и разрезов горных выработок, откачки, наливы, пенетрацию, искиметрию и полевые лабораторные работы, к третьей — аэроландшафтные и геофизические методы.

Широкое использование в инженерно-геологической съемке геофизических и аэроландшафтных методов предопределяет необходимость более тщательного и всестороннего изучения обнажений и горных выработок, а также их инженерно-геологическое опробование по единой методике. Изучение геолого-литологического и мерзлотного разреза, водно-физических свойств горных пород и их криогенного строения и температуры, оценка однородности и выдержанности свойств пород невозможны без изучения обнажений и керна буровых скважин. Весьма важно так организовать съемочные работы, чтобы соотношение между наиболее трудоемкими горно-буровыми и более мобильными пенетрационными, геофизическими и аэроландшафтными работами было оптимальным.

Аэроландшафтные методы (ландшафтно-индикационный метод в комплексе с дешифрированием аэрофотоматериалов и аэровизуальными наблюдениями) обеспечивают точное картографирование инженерно-геологических условий верхней части отложений (распространение комплексов четвертичных отложений, распределение литологических типов грунтов и многолетнемерзлых горных пород, современных геологических процессов). Изучение ландшафтной дифференциации и струк-

турно-геологического плана картируемой территории позволяет выбрать ключевые участки и опорные маршруты.

Из геофизических методов при инженерно-геологических исследованиях наибольшее распространение получили электрометрические, сейсмометрические и ядерные. Этими методами возможно получение информации о литологическом строении разреза, глубине залегания и минерализации подземных вод, а также о таких водно-физических свойствах горных пород, как плотность и влажность. Как правило, однозначного определения перечисленных выше компонентов инженерно-геологических условий ни один геофизический метод дать не может, в то время как рациональное комплексирование двух или трех методов позволяет достаточно точно решить одновременно целый ряд указанных задач. Примерами этого могут быть комплексы: ядерных методов пенетрационно-каротажной станции; электро- и сейсморазведочных методов, применяемых при съемках в аридной зоне, и др.

Важное место при съемочных работах занимает инженерно-геологическое опробование. Задачами его являются: 1) выделение геологических тел в вертикальном разрезе, характеристика состава, физического состояния и свойств горной породы с целью ее классификации в соответствии с требованиями действующих нормативных документов; 2) оценка степени однородности и выдержанности состава и физического состояния пород, слагающих стратиграфо-генетические комплексы, и установление типа и режима инженерно-геологической изменчивости основных литологических (петрографических) типов горных пород.

Работы по опробованию должны быть увязаны с геологическим описанием разрезов естественных обнажений и горных выработок. Информационные возможности и пределы применимости используемых при съемке полевых методов далеко не равнозначны. Также не равноценны все эти методы с точки зрения экономической эффективности, скорости получения информации и точности получаемых результатов. Не все эти факторы одинаково важны, но все они должны учитываться при выборе рационального комплекса методов инженерно-геологической съемки — определенным образом организованной системы взаимосвязанных, взаимодополняющих и используемых в определенной последовательности методов, обеспечивающих получение достаточной информации при минимальных затратах времени и средств.

Эффективность применения при съемке тех или иных методов в разных ландшафтно-геологических условиях различна. Эффективность применения ландшафтно-индикационного метода связана с географической (ландшафтной) дифференциацией самой верхней оболочки земной коры, геологических методов — с палеогеографической и тектонической дифференциацией, геофизических методов — с разнообразием физических условий, различиями физических полей Земли.

При оценке эффективности использования ландшафтно-индикационного метода следует учитывать, что индикационное значение растительности зависит от зональных условий. В то же время геоморфологические индикаторы, трудноразличимые в тайге, совершенно открыты для наблюдателя в северных лесотундровых и тундровых, а также в южных пустынных и степных районах. Геоморфологические индикаторы эндогенного происхождения наиболее четко проявляются в районах интенсивных новейших поднятий и трудноопределимы в районах опусканий. Экзогенные геоморфологические индикаторы легче распознаются в районах новейших опусканий и стабильного тектонического режима.

Использование в процессе инженерно-геологической съемки тех или иных геологических методов (изучение обнажений, бурение, различные виды инженерно-геологического опробования) также тесно связано с конкретными региональными условиями. Обнаженность (и свя-

Таблица 7

Полевые методы, используемые при инженерно-геологической съемке в различных ландшафтно-геологических условиях

Компоненты инженерно-геологических условий	Ландшафтно-геологические условия	Методы, применяющиеся при инженерно-геологической съемке: Ландшафтно-индикационный метод в комплексе с аэрометодами	Изучение обнажений	Геофизические: Электроразведочные: на постоянном токе: зондирование (ВЭЗ)	на постоянном токе: профилирование (ЭП)	на переменном токе: зондирование (ВЭЗ)	на переменном токе: профилирование	метод вызванных потенциалов (ВП)	каротаж	сейсморазведка	радиоактивные методы	Пенетрационные: статическое зондирование	динамическое зондирование	пенетрационный каротажный комплекс	Бурение: колонковое	ударно-канатное	шнековое	горные работы	наблюдения и опытные работы в шурфах и скважинах	лабораторные работы	обследование состояния инженерных сооружений	Примечание
Рельеф и геоморфологические условия	I	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	III	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	IV	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	V	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Горные породы и условия их залегания: а) в плане	I	+	+	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	
	II	+	+	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	
	III	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	IV	+	+	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	V	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
б) в разрезе	I	—	+	?	—	—	—	—	+	+*	—	+*	+*	+	+	+	+	—	—	—	—	—
	II	—	+	?	—	—	—	—	+	+*	—	+*	+*	+	+	+	+	—	—	—	—	—
	III	—	+	?	—	—	—	?	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	* В комплексе с бурением. Сейсморазведка может применяться для качественного разграничения пород по плотности в случае залегания менее плотных пород сверху, более плотных под ними
	IV	—	+	?	—	—	—	—	+	+*	—	—	—	—	—	+*	+*	—	+	—	—	—
	V	—	+	—	—	—	—	?	—	—	—	—	—	—	—	+*	+*	—	+	—	—	—	* Только в долинах рек
Изменчивость состава и состояния горных пород: а) в плане	I	+	+	—	?	—	+	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	
	II	+	+	—	?	—	+	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	
	III	+	+	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	IV	+	+	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	V	+	+	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
б) в разрезе	I	—	+	?	—	+*	—	+*	+*	—	+	+*	+*	+	—	—	—	—	+	—	—	* Только в комплексе с бурением или с отбором образцов нарушенной структуры из пенетрационных скважин
	II	—	+	?	—	+*	—	+*	+*	—	+	+*	+*	+	—	—	—	—	+	—	—	
	III	—	+	?	—	+*	—	+*	+*	—	+*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	IV	—	+	?	—	+*	—	+*	+*	—	+*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	V	—	+	?	—	+*	—	+*	+*	—	+*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Обобщенные характеристики классификационных показателей свойств пород	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+*	+*	+	—	—	—	—	—	+	—	* При наличии тесных корреляционных связей между показателями пенетрации и соответствующими классификационными показателями
	II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+*	+*	+	—	—	—	—	—	+	—	
	III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	
	IV	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+**	—	** Исследования состава объемной массы и влажности крупнообломочных грунтов по валовым пробам из горных выработок
	V	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+**	—	
Глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта	I	+	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	+	+	—	+	—	+	—	—	* Только в случае надмерзлотных грунтовых вод
	II	+	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	+	+	—	+	—	+	—	—	
	III	—	—	—	—	—	—	+	+	+*	+	—	—	—	+	+	+	—	+	—	—	
	IV	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	+	+	—	—	+	—	—	
	V	—	—	—	—	—	—	+	+	+*	+	—	—	—	+	+	—	—	+	—	—	

Продолжение табл. 7

Компоненты инженерно-геологических условий	Ландшафтно-геологические условия	Методы, применяющиеся при инженерно-геологической съемке: Ландшафтно-индикационный метод в комплексе с аэрометодами	Изучение обнажений	Геофизические: Электроразведочные: на постоянном токе: зондирование (ВЭЗ)	на постоянном токе: профилирование (ПЭ)	на переменном токе: зондирование (ВЭЗ)	на переменном токе: профилирование	метод вызванных потенциалов (ВП)	каротаж	сейсморазведка	радиоактивные методы	Пенетрационные: статическое зондирование	динамическое зондирование	пенетрационный каротажный комплекс	Бурение: колонковое	Ударно-канатное	шнековое	горные работы	наблюдения и опытные работы в шурфах и скважинах	лабораторные работы	обследование состояния инженерных сооружений	Примечание
Химический состав, агрессивность и коррозийность грунтовых вод	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	++++	—	* Приближенная оценка
	II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	IV	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	V	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Оценка водообильности	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*	—	—	—	—	+++++	—	—	
	II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—	
	III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—	
	IV	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—	
	V	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—	
Распределение современных геологических процессов и оценка пораженности ими картируемой территории	I	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	* При близком залегании от поверхности земли
	II	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	
	III	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	
	IV	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	
	V	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	
Условия залегания многолетнемерзлых и талых горных пород: а) в плане	III	* +	—	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	V	* +	—	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
б) в разрезе	III	* +	—	+	?	+	—	?	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	* При неглубоком сезонном протаивании
	V	—	—	* +	?	—	—	?	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Криогенное строение горных пород	III	—	—	+	—	+	—	?	—	+	* +	* +	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	* Приближенная оценка льдистости
	V	—	—	+	—	—	—	?	—	+	+	* +	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Температура горных пород	III	* +	—	—	—	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	* Приближенная оценка
	V	* +	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Примечание. I — платформенные области и межгорные впадины в гумидной зоне; II — " " " " в аридной зоне; III — " " " " в криолитозоне; IV — горно-складчатые области и щиты в гумидной и аридной зонах; V — " " " " в криолитозоне; + — применение метода целесообразно; — — " " нецелесообразно. ? — имеется физическая основа, но методика не разработана.

занное с ней количество дорогостоящих буровых работ) интересующей нас верхней части разреза обусловлена интенсивностью и направленностью неотектонических движений. Однородность и выдержанность состава, состояния свойств горных пород зависят от генезиса отложений, палеогеографии осадконакопления, последующей истории развития геологических формаций и современной климатической обстановки. Разнообразие геокриологических условий объясняется теми же факторами в совокупности с геокриологической (палеоклиматической) зональностью.

Такие же региональные и зональные факторы влияют на возможности применения ряда геофизических методов. Для электроразведочных методов весьма важны: 1) петрографический состав, влажность и засоленность горных пород; 2) температура у подошвы слоя годовых колебаний и мощность мерзлых горных пород; 3) максимально возможные мощности сезонного (мерзлого) слоя; 4) глубина залегания уровня грунтовых вод и подошвы слоя годовых температур мерзлых горных пород; 5) нарушенность массивов горных пород тектоническими движениями.

Применение в инженерно-геологических исследованиях сейсморазведки (с ударным возбуждением колебаний) ограничено положением уровня грунтовых вод или глубины залегания кровли скальных или многолетнемерзлых пород. Непременными условиями эффективного использования сейсморазведки с ударным возбуждением являются достаточная мощность талого слоя или отсутствие в разрезе многолетнемерзлых пород.

Использование ядерных методов не ограничивается какими-либо региональными или зональными условиями. Пенетрационные методы могут быть использованы в настоящее время лишь в породах I—III категорий по буримости.

Таким образом, ряд факторов геолого-географических условий для целей оценки эффективности использования того или иного метода инженерно-геологических исследований являются общими. К их числу следует отнести: 1) геолого-структурные условия — положение в структурном плане — в геосинклинальных (горно-складчатых) и платформенных условиях; 2) палеогеографические условия осадконакопления в неоген-четвертичный период и последующая геологическая история, определяющие распространение и мощность рыхлых

накоплений; 3) современные и палеоклиматические условия, определяющие увлажненность, наличие многолетнемерзлых пород или засоленность грунтов; 4) природно-зональная дифференциация территории.

По этим факторам можно выделить следующие типы регионов с однородными природными условиями.

А. Платформенные области: 1) гумидная зона; 2) аридная зона; 3) криолитозона.

Б. Горно-складчатые области и щиты: 1) гумидная зона; 2) криолитозона.

Оценка применимости того или иного полевого метода инженерно-геологической съемки приводится в табл. 7. Экономическая целесообразность использования методов должна оцениваться в каждом конкретном случае.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

Общая последовательность работ при инженерно-геологической съемке во всех регионах должна быть следующая.

1. В предполевой период работ собираются и анализируются литературные и фондовые материалы по географии, геологии и геофизике. Выявляются частные и комплексные ландшафтные индикаторы инженерно-геологических условий, сопоставляются географические и геофизические данные с имеющимися геологическими и инженерно-геологическими материалами.

Производится предварительное дешифрирование аэрофотосхем и аэрофотопланов. На основе материалов создаются предварительная инженерно-геологическая карта и дополняющая ее схема ландшафтного районирования.

Обычно районирование проводится на площади несколько большей, чем площадь съемки для определения положения выделенных таксономических единиц районирования. Составляются типологические ряды инженерно-геологических областей и соответствующих им ландшафтных районов, инженерно-геологических регионов (ландшафтов), стратиграфо-генетических и литолого-генетических комплексов (урочищ и местностей). Составляется предварительная схема (таблица) ландшафтных индикаторов и их дешифровочных признаков. Проводится предварительный анализ физических полей района съемки. Намечаются главные направления изменчивости инженерно-геологических условий. Рассчитываются и намечаются ключевые участки и опорные наземные маршруты, маршруты (сетки) аэровизуальных наблюдений.

2. На первом этапе полевых работ проводится комплекс аэровизуальных наблюдений. В задачу аэровизуальных наблюдений входит ознакомление со структурой ландшафтов района съемки, выявление дополнительных дешифровочных признаков ландшафтных индикаторов, связанных с цветовой окраской различных компонентов ландшафтов, поиск предварительных и доступных обнажений, фотопривязка ключевых участков. Одновременно* по главным направлениям изменчивости проводят экспресс-определения свойств пород (показателя пенетрации) пенетрационными или пенетрационно-каротажными методами. Первичная обработка результатов аэровизуальных наблюдений и экспресс-методов инженерно-геологического опробования позволяют уточнить расположение, величину и количество ключевых участков и наземных опорных маршрутов. На этом же этапе полевых исследований проводится инженерно-геологическое изучение наиболее представительных обнажений, сопровождаемое ландшафтно-индикационными и геофизи-

* В труднодоступных районах этот вид работ не проводится.

ческими исследованиями, и изучение редкой (опорной) сети ключевых участков.

На основании полевых исследований первого этапа уточняются главные направления изменчивости, режим изменчивости показателей свойств пород вдоль этих направлений, вычисляется размах количественных инженерно-геологических показателей, рассчитывается сгущенная по сравнению с первым этапом полевых работ сеть ключевых участков.

3. На втором этапе полевых работ продолжаются исследования на ключевых участках и опорных маршрутах. Исследования на ключевых участках без обнажений включают: а) бурение скважин глубиной до 10—20 м с целью изучения разреза и проведение в этих скважинах термо-, электро- и гамма-каротажа, искиметрии, откачек, наливов, гидрогеологических наблюдений, а также отбора образцов с целью изучения классификационных показателей; б) вертикальное электрическое зондирование и сейсморазведку, а в отдельных случаях профилирование; в) ландшафтно-индикационные наблюдения. (Детально дешифрируются аэрофотоснимки ключевых участков и опорных маршрутов, дополняются таблицы дешифровочных признаков ландшафтных индикаторов, детально изучаются и описываются отдельные физиономические компоненты ландшафтов.)

Исследования на опорных маршрутах имеют то же содержание, но с бо́льшим удельным весом методов профилирования. Исследования на ключевых участках с обнажениями содержат: а) геологическое описание обнажений и их инженерно-геологическое опробование как традиционными, так и экспресс-методами; б) параметрические электросейсмоработы; в) ландшафтно-индикационную привязку обнажений.

В конце полевого сезона может возникнуть необходимость проведения повторных аэровизуальных наблюдений по некоторым маршрутам.

4. В камеральный период проводятся окончательная обработка материалов по всем видам исследований, инженерно-геологическое картирование на основе сплошного площадного дешифрирования по аэрофотоснимкам для инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 100 000—1 : 200 000 и аэрофотосхемы с выборочным дешифрированием аэрофотоснимков для съемки масштаба 1 : 500 000. Составляются ландшафтно-индикационная, геологическая*, геоморфологическая*, гидрогеологическая карты* и карта инженерно-геологических условий, производится математическая обработка фактического материала, инженерно-геологическое районирование и прогнозирование. Составляется отчет.

Необходимо заметить, что в разных регионах последовательность применения тех или иных методов и структурная схема съемочных работ могут несколько отличаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 8

1. *Бондарик Г. К.* Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. М., «Недра», 1971. 272 с.

2. *Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И.* Полевые методы инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1967. 372 с. с ил.

3. *Географические*, геофизические и геологические методы инженерно-геологической съемки в области развития многолетнемерзлых пород и вопросы их комплексирования. — В кн.: Скоростные методы исследований при инженерно-геологических и гидрогеологических съемках. М., 1969, с. 7—81. Авт.: Е. С. Мельников, С. П. Абрамов, Н. Н. Горяинов и др.

4. *Горальчук М. И., Мельников Е. С.* Об одном расчетном способе выбора ключевых участков при инженерно-геологической съемке. — «Тр. ВСЕГИНГЕО», 1974, вып. 72, 33—41 с.

---

* При проведении комплексной геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической съемки.

5. *Коломенский Н. В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968. 385 с. с ил.

6. *Мельников Е. С.* Метод ключевых участков в инженерно-геологической съемке. — «Тр. ВСЕГИНГЕО», 1973, вып. 62, с. 4—21.

7. *Методика* комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки м-бов 1 : 200 000 и 1 : 500 000. М., Изд-во МГУ, 1970. 365 с.

8. *Методика* мелкомасштабного инженерно-геологического картирования и районирования равнинных территорий (на примере Западно-Сибирской плиты). — В кн.: Проблемы инженерной геологии. Труды Межвед. совещ. по инж. геологии, 3—8 июля 1968 г. М., 1970, с. 399—406. Авт.: Л. Г. Афонская, А. С. Герасимова, С. Б. Ершова и др.

Глава 9

ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОЧЕТАНИИ С АЭРОМЕТОДАМИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В основе *ландшафтно-индикационных исследований* лежит представление о том, что все элементы природной обстановки в пределах определенной генетически однородной части земной поверхности находятся в тесной взаимосвязи, образуя единое природное целое, именуемое *природно-территориальным комплексом* (ПТК).

Таким комплексом является каждый генетически обособленный участок земной поверхности, независимо от своего размера и степени сложности. Климат, горные породы, подземные и поверхностные воды, современные геологические процессы, рельеф, почвы, растительный покров в пределах данного участка — это компоненты данного комплекса. Характер ПТК зависит в первую очередь от климатических условий и геологического строения. *При однородных климатических условиях* горные породы, подземные воды и современные геологические процессы являются ведущим фактором формирования ПТК. В совокупности они образуют его основу, которая часто именуется «литогенной». Рельеф, *почвы и растительный покров оказываются производными от нее*, влияя, в свою очередь, на эту основу.

В настоящее время в зависимости от размера и сложности строения различают ПТК разных рангов. Для целей инженерно-геологического картирования важно разделение ПТК на ландшафты, местности, урочища и фации, так как с ними связаны определенные комплексы горных пород.

Ландшафт — это ПТК, обособившийся на участке земной коры, имеющем единообразную геологическую историю, занятый одним или несколькими близкими стратиграфо-генетическими комплексами пород и характеризующийся своеобразным сочетанием форм мезорельефа, гидрографической сети и растительных сообществ. Повторяемость геоморфологических и геоботанических элементов ландшафта придает ему внешнее своеобразие, отличающее его от других ландшафтов. Примером ландшафта может являться Валдайская конечно-моренная холмисто-грядовая равнина, *покрытая хвойными лесами. Ландшафт состоит* из морфологических частей — урочищ и фаций.

В зависимости от неотектонической дифференциации, а следовательно, и от степени денудации и дренированности территории ландшафт делится на местности. Каждая местность соответствует неотектонической структуре малого порядка или ее части, а это обуславливает характер расчлененности, дренированности и формирование почвенно-*растительного покрова*. Например, в равнинных ландшафтах Западной Сибири выделяют местности нерасчлененные, расчлененные и интенсивно расчлененные. Для местности характерен свой, только ей присущий комплекс урочищ.

Урочище — это часть ландшафта, сформированная в пределах однородных или близких по составу горных пород и соответствующая одной форме мезорельефа. Для урочища характерно свойственное ему сочетание форм микрорельефа, почв и растительных сообществ. Примером урочища может служить отдельная моренная гряда, покрытая ельником.

Фация* — наименьшая морфологическая часть ландшафта, сформированная на породах одного литологического типа с однородными условиями увлажнения в пределах одной формы микрорельефа или части формы мезорельефа. Примерами фаций являются карстовая воронка, занятая болотной растительностью, днище ложбины стока и др.

ПТК не являются постоянными и застывшими во времени. Под влиянием экзогенных и эндогенных факторов ПТК меняются. Любое изменение одного из элементов ПТК не может пройти бесследно для всего комплекса и отдельных его частей. Поэтому любой природный процесс неизбежно сказывается на внешнем облике ПТК и соответственно на его аэрофотоизображении.

Как ландшафт, так и его морфологические части могут быть подвергнуты типизации. Так, территориально разобщенные ландшафты, развитые на одном стратиграфо-генетическом комплексе пород, могут быть объединены в один тип ландшафта по сходству чередующихся форм мезорельефа и экологических рядов растительных сообществ. Тип урочища устанавливается по сходству форм мезорельефа и сходному распределению в пределах их рядов растительных сообществ. Аналогично территориально разобщенные фации, развитые на одних и тех же формах микрорельефа и несущие одни и те же растительные сообщества, объединяются в тип фаций.

Очевидно, что сходные по внешним признакам ПТК характеризуются одними и теми же или очень близкими инженерно-геологическими условиями. Это положение позволяет переходить от ПТК к предварительной типизации инженерно-геологических условий изучаемой территории. Следует, однако, заметить, что в настоящее время не для всех регионов СССР разработаны четкие критерии установления ПТК различных рангов, обеспечивающие единообразие и объективность их выделения.

Геологическое строение территории, ее гидрогеологические особенности и развивающиеся современные геологические процессы малодоступны для непосредственного наблюдения, но могут быть распознаны по отдельным легконаблюдаемым физиономическим компонентам ландшафта — рельефу, растительности, гидросети, объектам хозяйственного освоения и их сочетаниям. Внешний облик таких компонентов называется ландшафтными индикаторами, которые подразделяются на частные и комплексные.

В качестве частного индикатора используется один какой-либо компонент ПТК. Если им служит внешний облик рельефа, то индикатор называют геоморфологическим, если растительность — то геоботаническим, если используются элементы гидросети — то гидрографическим. Комплексными называются такие индикаторы, которые для определения скрытых внутренних компонентов ПТК используют несколько совместно взятых внешних компонентов или внешний облик ПТК в целом.

Процесс определения того или иного скрытого компонента ПТК с помощью ландшафтных индикаторов носит название индикации.

Использование геоморфологических индикаторов основано на взаимосвязи между формами рельефа и условиями его образования. По геоморфологическим индикаторам можно, как правило,

---

* Термин «фация» не следует смешивать с аналогичным термином, употребляемым в литологии.

определить состав отложений, характер и интенсивность неотектонических движений, распространение и активность современных геологических процессов и в отдельных случаях глубины залегания грунтовых вод.

От формы рельефа, ее размеров и общей расчлененности поверхности зависит глубинность индикации, которая в общем случае контролируется положением местного базиса эрозии. Большое индикационное значение имеют следующие характеристики рельефа: морфогенетический тип, мезо- и микроформы, их конфигурация, размеры, относительные и абсолютные отметки поверхности, глубина и густота эрозионного расчленения, крутизна и характер склонов.

Геоботанические индикаторы по распределению тех или иных, различных по флористическому составу и структуре растительных сообществ (и их комплексов) с учетом морфологических особенностей господствующих видов позволяют оконтуривать площади распространения отличающихся по составу поверхностных отложений, определять положение уровня и минерализацию грунтовых вод, глубину сезонного промерзания или протаивания, проводить границы многолетнемерзлых и талых горных пород. Возможности индикационной геоботаники зависят от положения изучаемого района в той или иной природной зоне (области увлажнения).

В аридных областях (зоны пустыни, полупустыни и степи) растительный покров индицирует почвы и почвообразующие приповерхностные отложения до глубины 10—15 м, а положение уровня грунтовых вод и степень их минерализации — до глубины 25—30 м. По растительному покрову в этих зонах можно судить также о степени закрепленности песков, засолении почв и почвообразующих пород и даже о разрывных тектонических нарушениях.

В гумидных областях (лесная и лесостепная зоны) растительный покров индицирует строение почв и материнских пород, а также положение уровня грунтовых вод до глубины 5—10 м.

Помимо перечисленных объектов следует упомянуть возможность индикации по растительности оползневых и карстовых явлений, гидрогеологических условий болот и пр.

В области многолетнемерзлых пород (зоны тундры, лесотундры и тайги) растительный покров может быть использован для определения глубин сезонного протаивания — промерзания, грубого литологического расчленения пород, ориентировочного определения среднегодовых температур многолетнемерзлых пород, картирования таликов и др.

Использование гидрографических индикаторов основано на взаимосвязях водных объектов с геологической историей территории. Строение речной сети, ее рисунок в плане, характер извилистости русла зависят от тектоники. Расположение, размеры, форма и очертания берегов озер связаны с неотектоникой, составом отложений, а также с современными геологическими процессами. Размеры, форма, тип и местоположение в рельефе болот используются в качестве индикаторов геологического строения, гидрологических и геокриологических условий.

Возможность использования антропогенных индикаторов основана на изменениях природной обстановки, вызываемых хозяйственной деятельностью человека. Большое индикационное значение среди них имеют степень и характер хозяйственного освоения, распределение типов поселков, различающихся своей структурой, распространение и характер пашен, состояние грунтовых дорог, наличие карьеров и других специфических сооружений, а также предприятий, связанных с разработкой минерального сырья (цементные, кирпичные, стекольные и пр.).

Наиболее эффективно при съемке использование (в качестве индикаторов) инженерно-геологических условий, всей совокупности физиономических компонентов ПТК (ландшафтов и их морфологических частей), характеризующихся генетической однородностью.

Стратиграфо-генетическим комплексам приповерхностных отложений соответствует характерный внешний облик ПТК. Это дает возможность по совокупности физиономических компонентов ПТК установить и картировать распространение стратиграфо-генетических комплексов приповерхностных отложений, а нередко также верхней части коренной основы и свойственных им гидрогеологических, геокриологических условий и современных геологических процессов.

В качестве одного из примеров комплексных ландшафтных индикаторов может служить совокупность внешнего облика следующих элементов ПТК (урочищ), формирующих ландшафт основной морены валдайского оледенения в лесной зоне: 1) распаханные участки, приуроченные к повышенным частям холмистой равнины и ее склонам; 2) нижние части склонов холмов и понижения между ними, покрытые луговой растительностью; 3) склоны холмов и понижения между ними, поросшие мелколиственными лесами; 4) болота переходного и низинного типов и в понижениях мелкие озера округлой или лопастной формы.

В области развития многолетнемерзлых горных пород внешний облик ПТК является устойчивым индикатором как геокриологической обстановки, так и всего комплекса инженерно-геологических условий территории. При съемке масштаба 1 : 200 000 обычно приходится иметь дело с урочищами, по внешнему облику которых можно составить представление о составе пород, диапазоне их среднегодовых температур, глубине сезонного протаивания (в определенном интервале) и развитых в пределах урочища современных геологических процессах. Типология комплексных ландшафтных индикаторов строится на учете особенностей зональной и региональной дифференциации ПТК. В качестве примера приведена типологическая классификация ландшафтов севера Западной Сибири (табл. 8).

В засушливых областях важнейшими комплексными индикаторами являются типы пустынь.

Главнейшие литоэдафические типы пустынь следующие: песчаные, песчано-галечные и галечные, щебнистые, каменистые, суглинистые, лёссовые, глинистые, такыровые, бедлендовые, солончаковые. Каждый из перечисленных типов имеет общее для всего типа индикационное значение и включает в себя известное число комплексных ландшафтных индикаторов (на уровнях ландшафтов и урочищ). Ниже дается краткая характеристика песчаной пустыни, как одного из наиболее распространенных типов пустынь.

Песчаные пустыни развиты на рыхлых песчаных отложениях. Степень развеянности песков выявляется по частным индикаторам. Характер песков определяется по наиболее распространенным индикаторам (табл. 9). Некоторые гидрогеологические условия песков могут быть охарактеризованы по комплексным индикаторам, указанным в табл. 10.

Использование ландшафтно-индикационного метода при инженерно-геологической съемке предусматривает: 1) установление перечня ландшафтных индикаторов и соответствующих им объектов индикации — компонентов инженерно-геологических условий; 2) оценку связи между ландшафтными индикаторами и индицируемыми условиями, т. е. оценку достоверности индикации; 3) установление пределов экстраполяции ландшафтных индикаторов.

Повторяемость в природе как частных, так и комплексных ландшафтных индикаторов позволяет при картировании использовать экстраполяцию. Она заключается в перенесении инженерно-геологических

Таблица 8

Типологическая классификация ландшафтов севера Западной Сибири

Генетические типы ландшафтов	Степень расчленения*	Природные зоны					
		тундра			лесотундра	тайга	
		северная	средняя	южная		северная	средняя
Ландшафты среднечетвертичных морских равнин	а	—	+	+	+	+	+
	б	+	+	+	+	+	+
	в	—	—	—	—	—	—
Ландшафты верхнечетвертичных морских равнин	а	—	—	+	+	+	—
	б	+	+	+	+	+	—
	в	—	—	—	—	—	—
Ландшафты верхнечетвертичных озерно-аллювиальных равнин	а	—	—	—	—	—	—
	б	—	—	+	+	+	+
	в	—	—	+	+	+	+
Ландшафты речных террас	а	—	—	—	—	—	—
	б	+	+	+	+	+	+
	в	+	+	+	+	+	+
Ландшафты современной поймы	а	—	—	—	—	—	—
	б	—	—	—	—	—	—
	в	+	+	+	+	+	+
Ландшафты болотных массивов		—	—	+	+	+	+

* а — интенсивное; б — слабое; в — нерасчлененные поверхности.

Таблица 9

Комплексные индикаторы литологического состава песчаных пустынь

Комплексные индикаторы	Характер песков
Участки песков с крупно- или мелкобугристой поверхностью, с отчетливой ветровой рябью, почти лишенные растительности или с единичными экземплярами песчаной акации, селина или волосенца гигантского. Располагаются чаще всего на вершинах положительных форм рельефа песков	Пески хорошо отсортированные, сыпучие, крупно- или среднезернистые. Содержание частиц диаметром $<0,01$ мм не превышает 1%. Преобладают фракции диаметром $>0,5$ мм
Участки песков, почти лишенные бугров, неволнистые, образующие пологие склоны. Выражен темный ковер напочвенных мхов и лишайников. Растительный покров сомкнутый (до 50—60% покрытия почвы), образован злаками, полынями, тераскеном, черным саксаулом. Располагаются по склонам и депрессиям рельефа песков	Пески слабо сцементированные, средне- или мелкозернистые. Содержание частиц диаметром $<0,01$ мм около 5%
Участки песков на плоском дне котловин, занятые сомкнутым луговым травостоем из влаголюбивых злаков и разнотравья с группами крупных кустарников	Пески закрепленные, в верхних горизонтах окрашенные гумусом, иногда слегка оторфованные с поверхности. Содержание частиц диаметром $<0,01$ мм более 5%

Таблица 10

Комплексные индикаторы грунтовых вод песчаных пустынь

Комплексные индикаторы	Глубина залегания и минерализация грунтовых вод
Черносаксаульные леса (с преобладанием древовидного саксаула) в депрессиях	Воды на глубине 10—15 м, солоноватые
Рощи лоха, тополя в комплексе с зарослями тростников, камышей и крупнотравье, распространенные по окраинам барханных цепей, массивов развеянных песков или среди них	Воды на глубине 2—5 м, пресные (или слабосолоноватые)
Лужайки с однолетними солянками и солелюбивыми злаками по плоскому дну депрессий в окружении тамариксовых зарослей	Воды на глубине 1—5 м, соленые
Такыры среди песков, в кольце густых тамариксовых зарослей	Воды на глубине 5—10 м, солоноватые
Бугристые и мокрые солончаки среди песков	Воды на глубине не более 2 м, соленые
Кучевые пески (чукалаки) с кустами селитрянки и тамарикса	Воды на глубине не более 5 м, солоноватые или соленые

данных, полученных при непосредственном изучении одного ПТК (обычно проводимом на ключевом участке), на другие, внешне сходные, генетически однородные ПТК, не подвергавшиеся непосредственному изучению.

При интерполяции и экстраполяции ландшафтных индикаторов следует учитывать, что распространение различных частных ландшафтных индикаторов подчиняется разным закономерностям. Распространение геоморфологических индикаторов обусловлено преимущественно неотектонической дифференциацией территории, условиями осадконакопления и в меньшей степени природной зональностью. Геоботанические же индикаторы теснейшим образом связаны с природной зональностью и особенностями климата (и микроклимата) картируемой территории. Гидрографические индикаторы определяются как тектонической неоднородностью, так и последним этапом геологической истории района. Экстраполяция комплексных ландшафтных индикаторов основывается на: мелкомасштабном ландшафтном и инженерно-геологическом районировании, а также на построении типологических классификаций ПТК.

МЕТОДИКА ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ландшафтно-индикационные исследования являются неотъемлемой составной частью комплекса съемочных работ. В состав ландшафтно-индикационных исследований входят: 1) изучение и анализ ландшафтных, а также общих и специальных географических карт и других фондовых материалов; 2) предварительное дишифрирование материалов аэрофотосъемки; 3) аэровизуальные наблюдения; 4) наземные ландшафтно-индикационные исследования с полевым дешифрированием материалов аэрофотосъемки на ключевых участках и опорных маршрутах; 5) камеральная обработка результатов исследований с заключительным дешифрированием материалов аэрофотосъемки; 6) составление и оформление ландшафтно-индикационной карты.

Изучение и анализ различных карт. В процессе проектирования съемочных работ помимо общего ознакомления с инженерно-геологиче-

Таблица 11

Схема геоморфологических индикаторов инженерно-геологических условий (на примере севера Западной Сибири)

Формы	Характеристика рельефа						Тектоническая характеристика	Инженерно-геологические условия			
	генетический тип	морфологическая и морфографическая	морфометрическая: размеры в плане	густота расчленения	колебание высот (абс. отм. м)	крутизна склона, градус		тип пород	литологический тип	глубина сезонного протаивания, м	современные геологические явления
Мезо	Озерно-аллювиальная равнина зырянского времени	Плоская заболоченная поверхность с обилием термокарстовых озер, расположенных беспорядочно	Сотни квадратных километров	Нерасчлененная, слабо расчлененная (0,5—1,2 км/км²)	30—40	—	Область относительных опусканий	Озерно-аллювиальные отложения верхнеплейстоценового возраста мощностью 5—15 м, нередко перекрытые озерно-болотными отложениями голоценового возраста	Часто чередующиеся в плане и по вертикали мерзлые пески, супеси и суглинки, нередко перекрытые толщей торфов мощностью до 4—6 м	На торфах 0,4—0,8, на минеральных грунтах 1,5—2,5	Преобладает термокарст; на торфяниках наблюдается морозобойное растрескивание, нередко сопровождающееся ростом повторно-жильных льдов и в слабой форме морозное пучение
	Линейно-грядовые формы, образованные мерзлотными и тектоническими процессами	Система прямолинейных или дугообразных гряд, разделенных межгрядовыми понижениями; ширина гряд и понижений между ними до 100—200 м. В межгрядовых понижениях обилие термокарстовых озер	Десятки квадратных километров при протяженности отдельных цепей гряд до 2—4 км	Преимущественно слабо расчлененная	10—20	До 10—12	Область интенсивных относительных поднятий	Кремнисто-терригенные отложения верхнего эоцена	Мерзлые высокольдистые диатомовые глины и диатомиты	1,5—2,5	Пучение, термокарст

Таблица 12

Схема геоботанических индикаторов инженерно-геологических условий (на примере районов европейской части и средне-азиатских пустынь СССР)

Тип	Характеристика растительности								Инженерно-геологические условия		
	сообщества или их группы	название	характер распространения	преобладающая высота	сомкнутость крон (для древостоя)	характер напочвенного покрова	положение в рельефе	геолого-генетический комплекс	состав поверхностных отложений	глубина уровня грунтовых вод, м; степень их минерализации	современные геологические явления
Пустыни	Белосаксаульники	Белый саксаул	Разреженные сообщества	До 5 м	—	—	Бугристые пески	Голоценовый, эоловые отложения	Пески	На большой глубине, засоленные	Закрепленные и полузакрепленные
	Джузгунники	Кандымы (джузгуны)	Единичные экземпляры, иногда группы	40—50 см	—	—	Бугристо-грядовые пески			Слабо-реже средне-засоленные	Слабо закрепленные пески с ячеями выдувания

Продолжение табл. 12

Тип	Характеристика растительности								Инженерно-геологические условия		
	сообщества или их группы	название	характер распространения	преобладающая высота	сомкнутость крон (для древостоя)	характер напочвенного покрова	положение в рельефе	геолого-генетический комплекс	состав поверхностных отложений	глубина уровня грунтовых вод, м; степень их минерализации	современные геологические явления
	Гребенщиковые и тростниковые заросли	Тамарикс	Густые заросли	1—3 м			Межгрядовые понижения	Разновозрастные отложения пустынных равнин	То же	5—10; пресные солоноватые	Участки с близкими слабо проточными водами. Восходящие родники индицируются буграми чукалаками
	Солеросовые	Солерос	Заросли	15—30 см	—	—	Мокрые солончаки, окраины соленых озер	То же	Супеси, суглинки	0,1; сильносоленые	—
	Поташниковые	Поташник	Отдельные группы, единичные растения	15—75 см	—	—	Пухлые и корковые солончаки, такыры	„	Суглинки, глины, нередко гипсоносные; сульфатно-хлоридное засоление	3—8, соленые	—

Хвойно-широколиственные леса	Сосняк брусничнозеленомошный	Сосна, можжевельник, брусника, овсяница, зеленые мхи	—	16—25 м	0,3—0,5	Ковер зеленых мхов с редкими кустарничками и травами	Плоские вершины и склоны холмов надпойменной террасы	Водноаккумулятивные, зандровые и аллювиальные равнины; материковые дюны (эоловые холмы), озы, камы, реже долины рек	Пески мощностью 3—10 м и более	1,5—3 в ложбинах; 3—5 на склонах	Иногда песчаные раздувы
	Сосняк багульниково-сфагновый	Сосна болотная, багульник, голубика, вереск, сфагнум	—	4—5 м	0,1—0,2	Ковер сфагновых мхов, много багульника	Обширные замкнутые понижения, часто по периферии болот	Зандровые и аллювиальные равнины	Торф мощностью 0,5—3 м, подстилаемый песками	0,0—0,2	—
	Дубовый или грабово-дубовый травянистый лес, ельник травянистый	Ель, дуб, граб, крушина, лещина, черемуха, ясменник, кислица, сныть, медуница, копытень и др.	—	До 25 м	0,7—0,9	Густой подлесок, хороший разнотравный покров	Поверхность пологих холмлений и ровные пространства	Донноморенная пологохолмистая или пологоволнистая равнина	Суглинки неслоистые, валунные глины	5—10	—

Таблица 13

Схема комплексных ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий
(на примере севера Западной Сибири)

Генетический тип и его инженерно-геологическая характеристика	Ландшафт	Урочище или группа урочищ	Мезоформы рельефа и их расчленение	Микрорельеф	Гидросеть	Растительность	Структура и тон аэрофотоизображения	Ведущие дешифровочные признаки и рекомендуемый масштаб аэрофотоснимков (АФС)
Аллювиальные отложения (aQ_4). Горизонтально-слоистые тонко- и мелкозернистые пески и супеси, иногда перекрытые торфом, мощностью 0,1—0,2 м	Пойма с песчаными косами, кустарничковыми тундрами и тундровыми болотами	Косы и пляжи низкой поймы, лишенные растительности	Плоская нерасчлененная поверхность	Косы и пляжи	—	Растительный покров не развит	Изображение бесструктурное, тон светлый, почти белый	Светлый тон — пески, лишенные растительности (мелко- и среднемасштабные АФС)
Текстура массивная с одиночными гнездами, разноориентированными прерывистыми шлирами и жилками льда. Глубина сезонного протаивания 0,4—1,4 м. Морозобойное трещинообразование		Береговые валы и старичные понижения с кустарничковыми тундрами и осоковыми болотцами	Плоская слабо расчлененная часть террасы	Валы высотой 1—2 м чередуются с заболоченными старичными понижениями. Местами выражен трещинно-полигональный микрорельеф	Старичные озера и протоки	Злаково- и осоково-кустарничковые тундры на валах, осоково-кустарничково-моховые и мохово-осоковые сообщества в понижениях	Рисунок полосчатый: валы, имеющие серый и светло-серый тон, разделены темно-серыми и темновато-серыми полосами (понижениями); на снимках местами наблюдается полигональный рисунок	Полосчатый рисунок — чередование валов и заболоченных понижений (мелко- и среднемасштабные АФС)
Аллювиальные отложения (aQ^4_3). Пески мелкозернистые с линзами супесей и суглинков. Температура —3—5°. Текстура массивная, встречаются тонкие прерывистые шлиры. Пучение и термокарст	Слабо расчлененная, со старицами надпойменная терраса с моховыми и кустарничковыми тундрами	Кочковатая тундра с травяно-кустарничковой тундрой	Плоская поверхность	Кочки высотой 0,1—0,3 м; встречаются следы береговых валов	Следы стариц, термокарстовые озера	Лишайниково-моховые, пушицево- и осоково-кустарничковые тундры	Изображение бесструктурное, тон темно-серый и серый; на аэроснимках крупного масштаба, структура ячеистая — скопление кочек	Темный тон, создаваемый растительным покровом, и ячеистая структура — скопление кочек (средне- и крупномасштабные АФС)
		Крупнокочковатая, участками полигональная, заболоченная с лишайниково-сфагновыми растительными сообществами		Кочки высотой 0,1—0,2 м. Кочки высотой 0,1—0,15 м Полигоны размером до 20—25 м, разделенные мочажинами	Озерки	Комплекс лишайниково-багульниковых сообществ полигонов и сфагново-осоковых, осоково-сфагновых сообществ мочажин	Рисунок крапчатый, нечетко полигональный (на снимках полигональный). На сером и светло-сером фоне, создаваемом лишайниково-багульниковыми сообществами, выделяются темно-серые и почти черные озерки и темновато-серые и темно-серые мочажины	Полигональный рисунок рельефа и черный крап — мелкие озерки (крупномасштабные АФС)
		Плоскобугристые торфяники с лишайниково-багульниковыми и осоково-сфагновыми сообществами	Плоская поверхность	Бугры высотой 0,5—1,5 м разделены канавами шириной 1,5—3 м и глубиной 0,5—1,5 м		Комплекс лишайниково-багульниковых сообществ бугров и морошково-осоково-сфагновых сообществ канав и мочажин	Рисунок четко полигональный, бугры имеют серый тон, канавы и мочажины — темно-серый	Четкий полигональный рисунок рельефа (мелко-среднемасштабные АФС)
		Хасыреи с моховыми сообществами	Плоская поверхность	Бугры пучения высотой от 0,5 до 6 м. Местами выражен трещинно-полигональный рельеф. Кочки высотой 0,1—0,3 м	Термокарстовые озера	Комплекс осоково-сфагновых, осоковых сообществ по мочажинам и кустарниково-моховых сообществ на повышенных сухих участках	Рисунок пятнистый, местами, полигональный, тон кустарниково-моховых сообществ серый; светло-серый тон осоковых и осоково-сфагновых сообществ колеблется от светло-серого до тем-	Неоднородный тон и часто полигональный рисунок рельефа (мелко- и среднемасштабные АФС)

Продолжение табл. 13

Генетический тип и его инженерно-геологическая характеристика	Ландшафт	Урочище или группа урочищ	Мезоформы рельефа и их расчленение	Микрорельеф	Гидросеть	Растительность	Структура и тон аэрофотоизображения	Ведущие дешифровочные признаки и рекомендуемый масштаб аэрофотоснимков (АФС)
							но-серого в зависимости от условий увлажнения	
		Бугорковатые склоны с мохово-ерниковыми тундрами		Бугры высотой 0,25—0,7 м	Полосы стока	Мохово-ерниковые тундры	Рисунок струйчатый, тон — темно-серый и темновато-серый. На снимках структура мелкоячеистая	Струйчатый рисунок полос стока (мелко- и среднемасштабные АФС)
Прибрежно-морские отложения (pmQ^2_3). Пески, супеси, суглинки, иногда оторфованные с поверхности. Текстура массивная, слоистая и сетчатая, солифлюкция	III морская терраса	Прибровочная часть террасы с пятнистыми травяно-кустарничковыми тундрами. Центральная часть террасы с лишайниковыми моховыми травяно-кустарничковыми тундрами	Ровная поверхность расчлененная долинами ручьев и ложбин	Пятна-медальоны	Ручьи и ложбины стока	Пятнистые осоково- и злаково-кустарничковые, реже пятнистомоховые, осоково-пушицево-кустарничковые тундры	Изображение бесструктурное, тон светло-серый и серый. Изображение мелкопятнистое	Пятнистый рисунок — группы пятен-медальонов (крупномасштабные АФС)
				Кочки высотой 0,1—0,4 м, окруженные блюдцеобразными мочажинами, диаметром до 5—7 м	Озерки	Лишайниково-моховые осоково-кустарничковые и моховые морошково-пушицево-кустарничковые тундры	Изображение бесструктурное, тон серый, на снимках рисунок крапчатый, крап почти черного тона создают залитые водой мочажины, структура ячеистая	Серый тон растительности. Ячеистая структура — скопления кочек и озерки по мочажинам (крупномасштабные АФС)

скими условиями исследуемого района производится сопоставление топографических, геоморфологических, геоботанических, почвенных, климатических и ландшафтных карт с геологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими. Целью этого этапа исследований является выявление взаимосвязей между внешними и внутренними компонентами ландшафта и установление частных и комплексных индикаторов инженерно-геологических условий с составлением в итоге индикационных схем, примеры которых приведены в табл. 11—13. Эти схемы служат основой для предварительного дешифрирования аэрофотоматериалов.

Предварительное дешифрирование аэрофотоматериалов и топографических карт

Дешифрирование является исключительно важной составной частью ландшафтно-индикационных исследований, вследствие чего последние часто именуются аэроландшафтно-индикационными.

Дешифрирование включает обнаружение, опознание и интерпретацию объектов и явлений, как непосредственно отобразившихся на материалах аэрофотосъемки, так и устанавливаемых на основе выявления взаимосвязи и взаимообусловленности компонентов ландшафта, связи между ними и их фотоизображениями (Брюханов, 1964). В этой связи инженерно-геологическое дешифрирование основано на ландшафтно-индикационном методе исследований.

Значительную информацию дает изучение топографических карт, которые, как известно, составляются по аэрофотоматериалам. При подготовке к полевым работам изучение топоосновы масштаба 1 : 25 000—1 : 100 000 позволяет получить сведения: 1) о гидрографической сети (обилие водотоков, рисунок гидросети, характер заозеренности и распределение озер и рек по площади, рисунки береговой линии водоемов, площади разливов рек, наличие кос и отмелей, речных и грунтовых наледей); 2) об элементах рельефа (геоморфологические уровни, уступы, останцы коренных пород, осыпи, скалы, обрывы, глубина, густота и рисунок овражно-балочной сети, промоины, карстовые и термокарстовые воронки и провалы, просадки в лёссах, крупные бугры пучения, полигональные поверхности и др.); 3) о растительности (состав, густота и высота древостоя, смена древесных пород, распределение растительности, подчеркивающее особенности рельефа, распределение травяного и мохово-лишайникового покрова, проходимые и непроходимые болота и пр.); 4) о населенных пунктах, строениях, сооружениях, каптированных родниках, колодцах, кяризах и др.

При инженерно-геологическом дешифрировании аэрофотоматериалов применяются контактная печать, накидные монтажи, мозаичные и уточненные фотосхемы, репродукции с фотосхем, фотопланы.

Масштабы, виды и количество приобретенных для дешифрирования материалов аэрофотосъемки должны устанавливаться с учетом масштаба съемочных работ, природных условий, степени дешифрируемости района, наличия отдешифрированных материалов аэрофотосъемки, выполненных при геологическом, геоморфологическом и других видах картирования, карт инженерно-геологических условий и т. д.

Для обеспечения инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 100 000—1 : 200 000 целесообразно использовать следующие виды и масштабы материалов аэрофотосъемки: 1) контактную печать масштабов 1 : 15 000—1 : 30 000; 2) репродукцию накидного монтажа в мелком масштабе по количеству экземпляров аэрофотоснимков с паспортом залета; 3) фотосхемы в масштабах 1 : 25 000—1 : 30 000 на всю площадь работ; 4) репродукции с фотосхем в масштабах 1 : 50 000—1 : 100 000 на всю площадь работ.

В отдельных случаях при работах в равнинных и слабо расчлененных районах на материалах аэрофотосъемки отличного качества целесообразно репродукции с фотосхем заменить репродукциями с накидного монтажа в том же масштабе. Для обеспечения инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 500 000 целесообразно использовать следующие виды и масштабы материалов аэрофотосъемки: 1) контактную печать масштаба 1 : 25 000—1 : 40 000 на ключевые участки, опорные маршруты и отдельные районы, где приходится ожидать широкого развития физико-геологических процессов; 2) репродукцию накидного монтажа в мелком масштабе с паспортом залета; 3) фотосхемы в масштабе залета (1 : 40 000—1 : 60 000) для всей территории.

Как показал опыт применения материалов аэрофотосъемки в различных регионах Советского Союза, целесообразно проводить попутно с аэровизуальными наблюдениями плановую (м-бов 1 : 10 000—1 : 25 000) и перспективную (с высоты 100—200 м) аэрофотосъемки *наиболее важных частей территории* (*ключевые участки, опорные маршруты*, отдельные элементы инженерно-геологических условий).

Оптимальный масштаб материалов аэрофотосъемки зависит также от биоклиматических и структурно-тектонических условий территории. Чем сложнее структурно-тектоническая обстановка в горно-складчатых районах, тем до известной степени необходим более крупный масштаб материалов аэрофотосъемки [Брюханов, 1964].

Выбор оптимального времени аэрофотосъемки имеет существенное значение для результатов инженерно-геологического дешифрирования. Оптимальный сезон аэрофотосъемки в пустынных и полупустынных районах — весна и раннее лето. В лесостепных и степных районах лучшим временем аэрофотосъемки считается июнь — июль. Низкогорья и равнины в тундровой и таежной зонах позволяют производить аэрофотосъемку в любое бесснежное время года. Залесенные среднегорья и высокогорья следует снимать сразу же за сходом снежного покрова. В обжитых и распаханных степных районах аэрофотосъемку следует производить в период между пахотой и вегетацией растений.

Определяющими факторами при выборе времени аэрофотосъемки в течение суток являются атмосферно-оптические условия, характер рельефа и растительности. В равнинных районах в утренние часы создаются благоприятные условия для образования теней от микроформ рельефа, что способствует дешифрированию.

Горные районы следует снимать во время, близкое к полуденному, с учетом экспозиции склонов.

При проведении аэрофотосъемки в различных районах для целей инженерно-геологического дешифрирования оптимальной является аэрофотосъемочная аппаратура с различным фокусным расстоянием (Брюханов, 1964).

Государственная площадная аэрофотосъемка для топографических целей производится обычно на панхроматической пленке. Структура аэрофотоизображения на панхроматических аэроснимках создается взаимным расположением фигур разного рисунка, определенной формы, размера и цвета.

Как известно, цвет на панхроматических аэроснимках варьирует в диапазоне серых тонов. Поэтому значительно большей информативностью обладают цветные и спектрозональные аэроснимки, дающие помимо разницы в тональности еще и различие *цветовой окраски изучаемых объектов* (Валях, Кригер, 1964).

При использовании аэрофотосъемки в проведении съемочных работ следует учесть, что цветовая характеристика ряда объектов обладает известной неустойчивостью и что изготовление цветной контактной печати значительно удорожает работы. С целью удешевления работ целесообразно изготавливать не цветные отпечатки со *спектрозональной пленки, а черно-белые. Опыт показывает, что даже в черно-белом* варианте контактная печать со спектрозональной аэропленки обладает (за счет использования инфразоны) более высокой разрешающей способностью.

В настоящее время отечественная промышленность изготавливает различные двухслойные спектрозональные аэропленки типа СН-2М, СН-4, СН-5, СН-6, а также

трехслойную СН-23. В зависимости от географической среды следует выбирать оптимальный тип пленки. Так, для тундровой и лесотундровой зон наилучшими являются пленки СН-2, СН-5, а для таежной зоны — СН-23 *.

Предварительное дешифрирование основывается на учете собранных материалов по характеру ландшафтных взаимосвязей и индикационных закономерностях. На аэроснимках распознаются контуры и отдельные объекты, раскрывается их содержание, определяются характеристики и дешифровочные признаки.

При дешифрировании используют такие признаки, как фототон, структуру (рисунок), форму и размеры объектов. Природные факторы оказывают существенное влияние на эффективность дешифрирования. Так, например, горные породы тем лучше дешифрируются, чем резче различаются между собой по сопротивляемости денудационным процессам. В сложных складчатых районах дешифрирование более трудоемко и дает меньший эффект по сравнению с платформенными районами, передовыми прогибами и наложенными структурами, где выраженность в рельефе структурных элементов облегчает дешифрирование. Весьма важно неотектоническое положение района. Наиболее благоприятные условия дешифрирования наблюдаются в тех районах, где поднятия относительно умеренны и соблюдается связь рельефа со структурным планом. В районах с большой энергией рельефа (горы высочайшие и высокие с глубоким расчленением), а также с малой энергией рельефа условия для дешифрирования состава пород неблагоприятны. Здесь хорошо дешифрируются лишь элементы новейшей тектоники и современных геологических процессов. В районах относительных опусканий с аккумулятивными формами рельефа хорошо дешифрируются поверхностные отложения, а дешифрирование подстилающих коренных пород затруднено. Принадлежность территории съемки к определенной ландшафтной зоне или вертикальному ландшафтному поясу также существенно влияет на дешифрируемость инженерно-геологических условий.

Оценивая дешифрируемость изучаемого района, ее следует рассматривать как применительно к каждому компоненту инженерно-геологических условий, так и по принадлежности территории к определенной структурно-тектонической зоне и биоклиматическим условиям.

Последовательность работ при предварительном дешифрировании следующая: 1) контурное (нестереоскопическое) дешифрирование аэрофотосхем (фотопланов) с целью общего ознакомления с районом, картирования выделов, отличающихся рисунком аэрофотоизображения, и опознания объектов, выделенных на топографических, геологических, географических и других картах; 2) изучение под стереоскопом типов выделенных рисунков аэрофотоизображения для выявления предварительных дешифровочных признаков ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий и внесения их в индикационные схемы (см. табл. 13); 3) при достаточном количестве сопоставительных материалов — составление предварительной ландшафтно-индикационной карты района в рабочем масштабе съемки. На карте показываются: контуры частных и комплексных индикаторов компонентов инженерно-геологических условий, границы зон и подзон, типов спектров вертикальной поясности, границы вертикальных поясов неотектонических областей (морфоструктур); 4) расчет необходимого количества ключевых участков общего назначения и определение местоположения, специализированных ключевых участков и опорных маршрутов; 5) составление плана маршрутов аэровизуальных наблюдений; 6) стереоскопическое дешифрирование площадей ключевых участков и полос опорных маршрутов.

---

* По материалам В. М. Валяха.

Аэровизуальные наблюдения. Целями аэровизуальных наблюдений являются: 1) общее ознакомление с изучаемой территорией; 2) уточнение и дополнение предварительно намеченных дешифровочных признаков ландшафтных индикаторов инженерно-геологических и гидрогеологических условий; 3) уточнение местоположения предварительно выбранных ключевых участков и опорных маршрутов; 4) выбор площадок для внеаэродромных посадок вертолетов и самолетов и путей движения наземного экспедиционного транспорта вне дорог; 5) увязка и контроль материалов полевого дешифрирования и составленных карт.

Преимуществами аэровизуальных наблюдений по сравнению с дешифрированием аэрофотоматериалов являются: возможность в короткий срок обследовать значительные площади, получение более полной характеристики природных объектов (естественные облик и окраска, привычный для наблюдателя ракурс объекта), возможность регулирования масштабности наблюдений.

Аэровизуальные наблюдения позволяют изучать морфологическую структуру ПТК, особенности строения рельефа и состава растительности, обнаженности и состав пород, формы проявления современных геологических процессов, элементы хозяйственного освоения территории, связанные с инженерно-геологическими особенностями. Недостатки аэровизуальных наблюдений заключаются в сложности их документации (фиксации), вызванной быстрой сменой объектов наблюдений; в трудности измерений. Это достаточно сложный вид работ, требующий тщательной подготовки, высокой организации труда и определенного навыка.

Подготовка к аэровизуальному полету состоит в: 1) ознакомлении со всеми материалами, собранными в процессе работ подготовительного периода; 2) выборе маршрута или ряда маршрутов; 3) четком определении задач аэровизуальных наблюдений на выбранных маршрутах; 4) подборе топографических, геологических, мерзлотных и других специальных карт, отдешифрированных аэрофотосхем, фотопланов по маршруту; 5) выделении участков, требующих детальных наблюдений; 6) нанесении ориентиров по маршруту и их нумерации; 7) подготовке фотоаппаратуры, дневников и т. п.

Для рекогносцировочных полетов используются топографические карты масштаба 1 : 100 000—1 : 500 000 и мелкомасштабные фотосхемы; для картировочных маршрутов — топографические карты масштаба 1 : 100 000 и крупнее и фотосхемы масштаба 1 : 30 000—1 : 60 000.

Каждый маршрут и изменение курса привязываются к хорошо заметным ориентирам на местности (озерам, устьям рек, полянам и др.).

На нанесенном маршруте поднимаются опорные ориентиры примерно через равные отрезки пути (соответствующие 2—5 мин. полета), облегчающие ориентировку. Аэровизуальные наблюдения проводятся на самолетах типа ЯК-12, АН-2 и вертолетах (МИ-2, МИ-1, КА-26). Рекогносцировочные полеты проводятся на высоте 300—400 м, картировочные — на высоте 100—250 м при скорости полета 80—100 км/ч. Рекогносцировочные маршруты располагаются через 10—15 км (съемка масштаба 1 : 100 000), 20—30 км (м-ба 1 : 200 000) и 40—50 км (м-ба 1 : 500 000).

Картировочные (съемочные) маршруты располагаются на равнине параллельными линиями, секущими площадь через 3—5 км (при масштабе съемок 1 : 200 000) и через 5—10 км (при масштабе 1 : 500 000). В горных районах маршруты приурочены к бассейнам рек и пересекают водоразделы.

Аэровизуальные наблюдения в равнинных условиях проводятся в ясную солнечную погоду в ранние утренние часы, поскольку тени в это

время подчеркивают детали объектов; в горных районах — в дневные часы, чтобы избежать маскирующих теней.

Продолжительность полета не должна превышать 3—4 ч, так как наблюдатели утомляются, сбиваются с ориентировки и не могут дать качественных материалов.

Во время аэровизуального полета наблюдения ведутся с обоих бортов самолета или вертолета специалистами-ландшафтоведами, инженерами-геологами, мерзлотоведами, геологами. Наблюдения фиксируются нанесением условных знаков на маршрутную карту, записями в дневнике по предварительно разработанной системе условных знаков и сокращений, перспективным фотографированием (эти снимки являются дополнительными документами и облегчают привязку наблюдений к местности). Как показывает опыт работ, наиболее оптимальный состав бригады аэронаблюдателей включает одного штурмана, двух специалистов, одного фотографа.

Штурман работает с картой или отдешифрированной аэрофотосхемой, сигнализирует о пролете над тем или иным заранее пронумерованным ориентиром. Ведущие записи в дневнике фиксируют время пролета над этим ориентиром.

Применение вертолетов, способных совершать внеаэродромные посадки вблизи опорных обнажений или на местах развития современных геологических процессов, заменяет часть наземных маршрутов и значительно ускоряет производство инженерно-геологического картирования.

При рекогносцировочных облетах выявляются пространственные закономерности размещения основных типов ПТК, характер и положение их границ, особенности мезоформ рельефа, характер гидросети и закономерности распределения растительности.

При картировочных аэровизуальных наблюдениях фиксируются следующие данные: 1) об особенностях рельефа, в частности о степени и характере расчленения; о распределении по площади определенных форм рельефа; удается также распознать формы, которые не видны на аэроснимках; 2) о растительном покрове — характере, составе и высоте древостоя, подросте, подлеске; господствующих видах травяно-кустарничкового яруса и напочвенного покрова; о приуроченности тех или иных ассоциаций к определенным формам рельефа, что имеет индикационное значение; 3) о литологическом составе отложений — по выходам на поверхность в естественных обнажениях, у дорог, в выемках и т. д.; по цвету (пески светлые, серые и желтые, моренные суглинки — красно-бурые и т. д.); в закрытых, плохо обнаженных районах поверхностные отложения распознают по формам рельефа, характеру мелкой эрозионной сети, по растительным сообществам — индикаторам и пр.; 4) о проявлении, степени активности и распространении геологических процессов — оползневых смещениях по склонам балок, оврагов, долин, которые почти не дешифрируются по снимкам; о характере морозобойного растрескивания и буграх пучения; 5) о глубине залегания грунтовых вод можно судить по степени заболоченности, по глубине эрозионных врезов, по распределению влаголюбивой растительности (места высачивания грунтовых вод), по развитию наледей и таликовых участков; 6) об особенностях хозяйственного освоения — населенные пункты, состояние (ширина, глубина, выбоины) грунтовых дорог, вырубки и т. д.

Поскольку в процессе полета фиксация наблюдений производится большей частью условными значками и сокращениями, немедленно после облета (во всяком случае в тот же день) осуществляется обработка результатов аэровизуальных наблюдений. Подробно анализируются полетная карта и аэрофотосхемы, расшифровываются сокращения и условные обозначения в дневниках и на картах. Обработка наблюдений и восстановление дополнительных данных по памяти требуют много

времени. Все результаты подробно записываются в журнал аэровизуальных наблюдений. Сюда же заносятся номера кадров и пленки фотопривязки.

Наземные ландшафтно-индикационные исследования

Целью наземных исследований является проверка индикационного значения частных и комплексных ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий, выявление и сбор фактического материала о неизвестных ранее взаимосвязях между внешними физиономичными компонентами ландшафта и элементами инженерно-геологических условий, а также определение дешифровочных признаков.

Наземные ландшафтно-индикационные исследования производятся в комплексе с горно-буровыми и геофизическими работами, изучением обнажений, геологических процессов и явлений и опираются на их результаты.

Полевые работы с применением ландшафтно-индикационных исследований проводятся: на ключевых участках и на опорных маршрутах.

На ключевых участках проводятся следующие работы: 1) маршрутное обследование с целью размещения горных выработок, скважин, точек и линий геофизических наблюдений; 2) ландшафтная привязка горно-буровых, пенетрационных и геофизических работ; 3) полевое дешифрирование аэроснимков; составление ландшафтно-индикационных карт на ключевых участках; 4) составление индикационных схем (таблиц взаимосвязей компонентов ПТК).

При маршрутном обследовании изучается взаиморасположение структурных единиц ПТК, характер границ между ними. Намечается и фиксируется на местности расположение шурфов, скважин, точек геофизического зондирования и профилирования. Намечается последовательность проведения полевых работ на участке.

Ландшафтная привязка буровых скважин, обнажений, шурфов и точек геофизических наблюдений производится следующим образом.

В каждой точке наблюдений определяется принадлежность ее к типу ПТК и его морфологической части, делается детальное описание компонентов ПТК.

Рельеф: 1) положение точки в рельефе, характер его расчленения, крутизна склонов и глубина вреза долины; 2) часть склона, его экспозиция, относительная высота и абсолютные отметки; 3) густота расчленения, поперечный профиль долины и рисунок эрозионной сети в плане; 4) форма проявления современных геологических процессов; их размеры и положение в рельефе; 5) дешифровочные признаки рельефа.

Растительный и почвенный покров: 1) тип растительности, сомкнутость крон древостоя, проективное его покрытие и высота господствующих видов по ярусам; отмечается возраст преобладающих пород, следы пожаров, вырубок и других нарушений; 2) мощность торфянистого горизонта, подтип почвенного покрова; 3) характеристика флористического состава, строения, обилия, характер роста и пр.; 4) описание дешифровочных признаков растительности.

Элементы гидросети: 1) характеристика водотоков — глубина, ширина, паводковый уровень, наличие наледных полян; 2) характеристика озер — генезис, глубина, профиль дна, изрезанность берегов, положение уровня воды. Производится фотографирование объектов ландшафтно-индикационных наблюдений.

Полевое дешифрирование включает: 1) фиксацию точек наземных наблюдений (обнажений, скважин, шурфов, точек и линий геофизических наблюдений, точек ландшафтных наблюдений) на аэрофотоснимке; точки накалываются и нумеруются на оборотной стороне АФС, в полевом дневнике или на перфокарте указываются номер

АФС и адрес точки; 2) нанесение границ ПТК и отдельных частных индикаторов, уточнение, максимальная детализация и исправление данных предварительного дешифрирования; 3) детальное стереоскопическое дешифрирование аэроснимков ключевого участка и прилегающей площади, занятой изучаемым типом ПТК; 4) составление ландшафтно-индикационной карты ключевого участка (на АФС, рубашке АФС или фотоплане). На карте показываются границы ПТК (и четкие и расплывчатые), частные ландшафтные индикаторы инженерно-геологических условий, а также весь фактический материал наземных исследований; 5) составление (уточнение предварительных) индикационных схем — таблиц взаимосвязей компонентов ПТК производится в результате анализа всех полевых материалов, полученных в результате исследований на ключевом участке. В этих таблицах каждый изученный ПТК характеризуется покомпонентно. Приводятся название и таксономический ранг ПТК, дается описание рельефа, растительности, гидросети, указываются принадлежность к стратиграфо-генетическому комплексу отложений, состав горных пород, их талое или мерзлое состояние, мощность многолетнемерзлых толщ, температура пород на глубине нулевых годовых амплитуд, мощность слоя сезонного протаивания — промерзания, положение УГВ, тип и интенсивность современных геологических процессов, криогенная текстура отложений, величина и характер распределения льдистости, величины суммарной влажности и пр.

На опорных маршрутах ландшафтно-индикационные наблюдения проводятся по той же схеме, но основной упор делается на изучение характера сопряженности ПТК, а также расплывчатых, неясных границ между ними.

После окончания наземных ландшафтно-индикационных исследований может выявиться необходимость проведения контрольных наблюдений для целей выборочной проверки дешифрирования, уточнения неясных вопросов, выявления причин и устранения неувязок полевого дешифрирования между отдельными отрядами и пр. Для этой цели могут быть использованы аэровизуальные наблюдения и наземные контрольные маршруты.

Камеральная обработка результатов исследований

Работы камерального периода включают: 1) составление типологической классификации ПТК и их компонентов-индикаторов инженерно-геологических и гидрогеологических условий; 2) оценку достоверности индикационного значения ландшафтных индикаторов инженерно-геологических и гидрогеологических условий; 3) составление сводной индикационной схемы; 4) окончательное дешифрирование аэрофотоматериалов; 5) составление ландшафтно-индикационной карты района работ.

Типологическая классификация ПТК составляется в результате анализа материалов ландшафтно-индикационных исследований на ключевых участках и опорных маршрутах. Сопоставляются характеристики изученных ПТК, унифицируются описания ПТК, выделяются таксономические ранги и генетические ряды ПТК, составляются обобщенные характеристики типов ПТК разных рангов (ландшафты, урочища, фации) и генезиса (первичные и вторичные; морские, ледниковые, вулканогенные), разрабатывается единая нумерация ПТК. Составляются сводные перечни частных ландшафтных индикаторов, имеющих локальное распространение (индикаторов геологических процессов, разрывных тектонических нарушений, выходов подземных вод и т. п.). Эти работы проводятся одновременно с обработкой фактического материала инженерно-геологических исследований — разрезов горно-буровых выработок, геофизических и термометрических наблюдений, лабораторных работ.

Для выделенных типов комплексных и частных индикаторов инженерно-геологических условий проводится подборка фактического материала по генезису, составу и мощности пород, принадлежности к тектоническим структурам, состоянию пород, мощности, температуре и льдистости многолетнемерзлых пород, глубинам сезонного протаивания и промерзания.

Следующий этап камеральных работ имеет своей целью оценку достоверности ландшафтных индикаторов и расчет статистических характеристик элементов инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Оценкой достоверности индикационного значения ландшафтных индикаторов инженерно-геологических и гидрогеологических условий может служить коэффициент взаимной сопряженности Чупрова, вычисляемый для какого-либо наиболее изменчивого компонента инженерно-геологических условий (например, показателя пенетрации, суммарной влажности мерзлых пород и т. д.). Последовательность обработки фактического материала заключается в: 1) подтверждении предполагаемой связи типов ПТК и исследуемых компонентов инженерно-геокриологических условий; 2) определении характера и прочности установленной связи.

Составление сводной индикационной схемы производится на основе типологической классификации ПТК, сводного перечня ландшафтных индикаторов и статистической оценки их достоверности. В окончательном виде сводная индикационная схема представляет собой инженерно-геологическую и гидрогеологическую характеристику всех типов ПТК и частных индикаторов изучаемого района. Сводная индикационная схема ПТК — это таблица, в которой в определенной последовательности излагается унифицированное обобщенное описание типов ПТК, указывается принадлежность данного типа ПТК к ПТК более высокого таксономического ранга, а также к определенному стратиграфо-генетическому комплексу, приводятся дешифровочные признаки ПТК, приводится состав слагающих пород и их мощность, состояние (талое, многолетнемерзлое) и характер распространения многолетнемерзлых пород, их мощность, температура, криогенное строение и льдистость, глубина сезонного оттаивания (промерзания), положение уровня грунтовых вод (и их состав), современные геологические процессы.

Сводный перечень частных ландшафтных индикаторов дополняется характеристикой индицируемых условий (геологическое строение, состояние и состав пород, подземные воды и современные геологические процессы). При составлении сводных индикационных схем сопоставляются статистические показатели инженерно-геологических условий (размах величин показателя, средние значения, дисперсии) по отдельным ключевым участкам и составляется обобщенная (суммарная) статистическая характеристика.

Сводная индикационная схема совместно с окончательной ландшафтно-индикационной картой является основой для составления как аналитических (геологической, геоморфологической, слоя сезонного протаивания — промерзания и др.), так и синтетических (инженерно-геологической и гидрогеологической) карт.

Окончательное дешифрирование аэрофотоматериалов производится с целью уточнения и детализации предварительного дешифрирования по всей исследуемой площади на основе сравнения и обобщения дешифровочных признаков ландшафтных индикаторов, выявленных на разных ключевых участках. Сравнение и обобщение дешифровочных признаков для разных типов ПТК и отдельных частных индикаторов позволяет выбрать для них эталонные аэрофотоснимки с наиболее типичными рисунком, структурой, текстурой и тоном аэрофотоизображения.

Окончательное дешифрирование состоит из сплошного стереоскопического дешифрирования аэрофотоснимков исследуемой территории, выборочного измерительного дешифрирования отдельных объектов и переноса результатов дешифрирования на аэрофотосхемы или фотопланы. Отдешифрированные в поле снимки ключевых участков и опорных маршрутов являются отправными для дешифрирования прилегающей территории.

Выборочное измерительное дешифрирование проводится для неохваченных полевыми наземными работами участков. Объектами измерительного дешифрирования могут быть вертикальные размеры уступов и отдельных форм современных геологических процессов (крупных бугров пучения, карстовых провалов, оврагов и др.), горизонтальные размеры этих форм, площадная пораженность территории каким-либо геологическим процессом. Измерительное дешифрирование применяется при изучении динамики процессов путем сравнения разновременных аэроснимков. Результаты окончательного дешифрирования являются основой для составления ландшафтно-индикационной карты.

Ландшафтно-индикационная карта совместно со сводной индикационной схемой является результирующим документом всего комплекса ландшафтно-индикационных исследований. Ее можно рассматривать как необходимый промежуточный материал от картирования компонентов инженерно-геологических условий в масштабе аэрофотоматериалов (1 : 15 000—1 : 50 000) к картированию в заданном (1 : 100 000—1 : 500 000) масштабе, как картографическую основу для составления отчетных карт. Она составляется обычно на топографической основе рабочего масштаба съемки (1 : 100 000 для съемки м-ба 1 : 200 000; 1 : 200 000 для съемки м-ба 1 : 500 000 и т. д.). Наиболее благоприятной основой ландшафтно-индикационной карты является фотоплан рабочего масштаба съемки.

Исходными материалами для составления карты являются: 1) отдешифрированные фотосхемы; 2) материалы аэровизуальных наблюдений; 3) сводная индикационная схема-таблица ландшафтных индикаторов; 4) ландшафтно-индикационные карты ключевых участков; 5) инженерно-геологические разрезы ключевых участков и опорных маршрутов.

Основное содержание ландшафтно-индикационной карты масштаба 1 : 100 000 составляют природно-территориальные комплексы (ПТК) разного ранга, а также их сочетания. При инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000 основным объектом картирования являются урочища (простые и сложные), при инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 500 000 — комплексы урочищ, местности и их сочетания. Основные единицы картирования показываются цветом. Цвета подбираются таким образом, чтобы выявилась морфологическая структура более крупных ландшафтных единиц, которые показываются лишь границами и индексами. Кроме основных объектов ландшафтно-индикационных исследований (ПТК) внемасштабными знаками показываются отдельные формы рельефа — частные ландшафтные индикаторы современных геологических процессов.

Для горно-складчатой и равнинной территории заметно существенное различие в детальности представляемой информации. Для горно-складчатой области даются более крупные контуры. Более детальная дифференциация урочищ возможна и осуществляется по растительным сообществам на склонах разной высоты, крутизны и экспозиции, что приближает инженера-геолога к решению задач картирования и районирования территории по активности процессов и степени пораженности территории разными физико-геологическими процессами. Представляется, что для горных районов детальность ландшафтно-индикационной карты достаточна для отражения инженерно-геологических условий

района, где хозяйственное освоение охватывает лишь долины рек и предгорные равнины. Напротив, карта для равнинной территории, находящейся в области многолетнемерзлых пород, насыщена информацией. На ней представлены не только крупные по площади ПТК, но и их сочетания, показанные полосами разного цвета. Ширина полос определяется процентным соотношением площадей господствующих урочищ в пределах выделенного контура.

При составлении инженерно-геологической карты на ландшафтно-индикационной основе необходимо учесть, что различные ПТК имеют разное индикационное значение. Одни из них отличаются литологическим строением разреза, другие — наличием торфа на поверхности, третьи — неодинаковой интенсивностью проявления экзогенных процессов и характером гидрогеологических условий. Поэтому перед составлением инженерно-геологической карты для инженерно-геологической интерпретации ландшафтно-индикационных данных необходимо выделить типы ПТК — индикаторы: 1) стратиграфо-генетических комплексов; 2) состава приповерхностных отложений; 3) гидрогеологических условий, современных геологических процессов, сезонноталого (мерзлого) слоя; наличия или отсутствия многолетнемерзлых пород и др.

При переводе ландшафтно-индикационной карты в инженерно-геологическую некоторые границы ПТК трансформируются: 1) либо объединяются в связи со сходством состава отложений для ПТК разных типов; 2) либо преобразуются в геологические границы, границы типов сезонного протаивания (промерзания), различной мощности отложений первого комплекса, контуры распространения геологических процессов и т. д.

ЛАНДШАФТНЫЕ ИНДИКАТОРЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ИХ ДЕШИФРОВОЧНЫЕ ПРИЗНАКИ

Ландшафтные индикаторы геологического строения и геоморфологических условий

Рельеф является наиболее важным индикатором при определении стратиграфо-генетического комплекса пород, так как он формируется в результате сочетания условий осадконакопления и развития эндогенных и экзогенных процессов. Особенно четкими индикационными свойствами обладают аккумулятивные формы рельефа. По ним можно судить о генезисе, составе и границах распространения отложений, геоморфологических условиях и пр. Такие морфогенетические типы рельефа, как плоские зандровые или холмистые моренные, или грядово-увалистые конечно-моренные равнины, свидетельствуют о развитии тех или иных стратиграфо-генетических комплексов отложений. Отдельные формы мезорельефа в этих областях (камы, озы, друмлины, озерно-болотные котловины и др.) позволяют судить о составе пород и в какой-то степени об их свойствах.

Речные террасы и их отдельные формы — прирусловые валы, старичные понижения и косы, а также дюны на морских побережьях, барханы в пустынях, болотные массивы, куэсты и другие формы как мезо-, так и микрорельефа относятся к конкретным индикаторам состава пород.

Комплексы пород, различных по генезису, возрасту и составу, отличаются между собой рисунком аэрофотоизображения комплексных и частных индикаторов. В этой связи комплексные индикаторы имеют, как азональные (форма накопления), так и зональные черты (форма проявления экзогенных процессов, растительности и др.). Ниже приводятся примеры индикаторов.

Индикаторы генетических типов четвертичных отложений. Биогенные (торф) отложения образуются под грядово-

мочажинными и другими болотами (6) *. Аэрофотоизображения типов болот дешифрируются по рисунку, а в некоторых местах по рисунку торфоразработок.

Аллювиальные отложения крупных и средних рек во всех зонах характеризуются закономерно ориентированным крупнопятнистым с полосчатым рисунком аэрофотоизображением, связанным с чередованием рисунков поймы и надпойменных террас. Характерны также зональные дешифровочные признаки: в таежной зоне — типы лесов, болот, в тундровой зоне — типы тундр (53), в аридной зоне — тугайные леса, солончаки, такыры, формы эоловых накоплений.

Для аллювиально-пролювиальных и пролювиальных отложений характерен веерообразный рисунок русел временных водотоков; изменение механического состава от валунно-галечникового к суглинистому соответствует изменению рисунка от крупноструйчатого к полосчатому, неясновыраженному. Хорошо выражена стадийность процессов (1, 2). К зональным дешифровочным признакам относятся: такыры, солончаки, ирригационные системы и орошаемые земли, кяризы (аридная зона); темнохвойные и другие леса, осоковые болота (таежная зона); кочкарная полосчатая, каменисто-полосчатая тундра (тундровая зона). Характерны комплексные индикаторы.

Ледниковые отложения конечных морен горных ледников образуют четко выраженные гирлянды и языки, располагающиеся у выхода долин на межгорную котловину; характерен мелкобугристый шагреневый рисунок (3, 4).

Озерные отложения образуют формы, оконтуривающие береговую линию — береговые валы, террасы, пляжи, приозерные ложбины, заливаемые в период повышения уровня озера (5). Характерны зональные дешифровочные признаки для озер тундровой, таежной и аридной зон.

Морские отложения распознаются по характерному, вытянутому вдоль береговой линии широкополосчатому рисунку, обусловленному чередованием береговых валов и лагун (6).

Индикаторы состава горных пород

Нескальные породы. Преимущественно слоистые, разнообразные по составу породы достаточно уверенно дешифрируются в различных зонах. Степень дешифрируемости их зависит от характера залегания пород, от разнородности и мощности слоев. Тонкое и частое чередование дешифрируется как единое целое, характеризуясь суммарными свойствами. Грубое чередование выражается на аэроснимках полосчатостью.

Глины имеют несколько различные дешифровочные признаки в зависимости от характера залегания и принадлежности к той или иной структурной и ландшафтной зоне. Глинистые толщи аридной зоны, залегающие полого, отличаются дробным, глубоко расчлененным рельефом, интенсивно ветвящейся гидросетью перистого и асимметрично-параллельного рисунка (7). К глинам здесь часто приурочены суффозионно-просадочные явления, а также выходы грунтовых вод из кровли глинистых пачек. В районах с влажным климатом к глинам, слагающим пологие водоразделы, приурочены обычно болота.

Скальные породы подразделяются на осадочные, метаморфические эффузивные и интрузивные.

Осадочные породы. Среди осадочных пород по дешифровочным признакам различаются обломочные, слоистые и карбонатные породы.

---

* Здесь и ниже цифра в скобке соответствует номеру эталонного АФС в прилож. VI.

Конгломераты в пологом залегании уверенно дешифрируются по грядовым дробно расчлененным формам рельефа, плоским водоразделам и крутым склонам. Гидросеть глубоко врезана, резко извилистая, субпараллельная, часто ветвящаяся с многочисленными короткими параллельными притоками, образующая дробный перистый рисунок (8).

Преимущественно слоистые, крепкие, трещиноватые разнообразные по составу породы дешифрируются по характеру сочетания пород, относительной устойчивости к денудации, мощности отдельных прослоев и условиям залегания. Они имеют острогребневые (9) или уплощенные водоразделы и соответственно различную степень расчленения склонов, распознаются по комплексу дешифровочных признаков, характерных для скальных и нескальных пород (9, 10).

Комплекс карбонатных пород распознается во всех зонах по светлому фототону, обусловленному цветом пород, нередко по скалистым «зазубренным» склонам, наличию карстовых форм (даже в залесенных районах), по отчетливо выраженной трещиноватости (в обнаженных районах) и слабо развитой гидросети (11). Среди метаморфических пород различается слабо и сильно метаморфизованные.

Преимущественно неслоистые и неясно слоистые интенсивно дислоцированные, сланцеватые, трещиноватые *слабо метаморфизованные* породы дешифрируются по дробно и глубоко расчлененному рельефу (с острыми гребневидными водоразделами и крутыми склонами) с интенсивно развитой эрозионной сетью перисто-ветвистого и метелкообразного рисунка (12). Гидросетью часто используются системы трещин.

Комплекс *сильно метаморфизованных пород* выделяется наличием интенсивной сланцеватости и многочисленных разломов. В целом дешифровочные признаки аналогичны описанным выше для слабо метаморфизованных пород. В зависимости от степени устойчивости они слагают положительные или отрицательные формы рельефа. Гидросеть интенсивно развитая, неглубоко врезанная, дробно-ветвящаяся, часто использующая системы трещин (13) и зоны тектонических дроблений.

При дешифрировании эффузивных пород по аэрофотоснимкам нередко удается установить относительный возраст потоков и покровов различных лав. Покровы и потоки лав голоцена выделяются шагреневым рисунком фотоизображения, обусловленным течением лав и хорошей сохранностью вулканических конусов. Характерно наличие каменных глыб на буграх (светлый тон) и скопление щебнисто-суглинистого материала в понижениях (темный тон). Более древние лавы выделяются отсутствием шагреневой поверхности течения, плохо сохранившимися конусами вулканов (14, 32).

Интрузивные породы часто слагают эрозионные и эрозионно-денудационные горы, отличаются интенсивной трещиноватостью, образующей сетчатый рисунок фотоизображения, глубоким и дробным расчленением мелкой эрозионной сетью, связанной с системой трещин, отсутствием слоистости, сравнительно однородным фототоном (15, 16).

Ландшафтные индикаторы тектоники

Разрывные нарушения дешифрируются по прямым и косвенным признакам. Прямыми признаками установления разломов могут служить смещения отдельных пластов, резкий переход линейно-полосчатого рисунка в прямую или извилистую линию и т. д. В большинстве случаев разрывы устанавливаются по косвенным признакам — наличию линейно-вытянутых гряд или понижений, аномально-прямолинейным участкам гидросети, смещению гребней водоразделов, резкой смене рисунка фотоизображения по обеим сторонам разлома. В аридной зоне они устанавливаются по прямолинейным полосам растительности, ли-

нейно-вытянутым источникам (33), мочажинам и т. д. Крупные разломы часто приурочены к прямолинейной границе гор с предгорной равниной.

В условиях сплошной залесенности разломы распознаются по наличию линейно-вытянутых перегибов рельефа (седловин). Нередко они сопровождаются дайками, жилами, цепью вулканических конусов (17), а в карбонатных породах и гипсах — карстовыми воронками, вытянутыми в направлении разлома.

Трещинная тектоника легко дешифрируется в интрузивных (15), метаморфических (12, 13) и скальных осадочных породах. В известняках (13) и песчаниках она выявляется по наличию тонких темных параллельных или закономерно пересекающихся полос, создающих параллельно-сетчатый рисунок фотоизображения. В залесенных районах трещиноватость определяется по расположению густой сети мелких притоков гидросети, а также подчеркивается микрорельефом.

Складчатые нарушения. Положительные структуры молодых платформ индицируются гидрографической сетью растекания и обтекания, течением болот, обилием спущенных озер, перехватами рек, резкими сужениями долин рек, интенсивной овражной эрозией. Отрицательные структуры распознаются по слабой расчлененности местности, широкому развитию болот, гидрографической сети стекания и другим признакам.

Дешифрирование складчатых структур в хорошо обнаженных районах осуществляется путем прослеживания отдельных маркирующих горизонтов, пластов или пачек пород, а также по характеру границ между толщами различного состава (18). Наличие пластовых треугольников, а также анализ выходов пластов позволяют установить условия залегания пород (18, 19). «Вписывание» полос и линий в рельеф указывает на горизонтальное залегание пород, а излом этих линий (пластовые треугольники) — на средние углы падения: при крутых падениях пластовые фигуры выражаются в виде прямых линий, секущих рельеф.

Структурные гряды (куэсты) и понижения соответствуют выходам пластов пород различной устойчивости к выветриванию; они часто оконтуривают периклинальные и центроклинальные замыкания складок (18, 19).

Гребни водоразделов приурочены к головам пластов и часто отображаются светлым тоном; к понижениям приурочены долины рек, подчеркнутые темным тоном, обусловленным растительностью. Чередование их образует дугообразно-полосчатый рисунок изображения. Направление пластовых треугольников указывает на антиклинальный или синклинальный характер складчатой структуры (18).

Ландшафтные индикаторы гидрогеологических условий

Частными ландшафтными индикаторами гидрогеологических условий являются главным образом растительные сообщества. По отношению к гидрогеологическим условиям растения могут быть разделены на следующие группы: омброфиты, фреатофиты и трихогидрофиты.

Растительные сообщества с господством фреатофитов служат прямыми индикаторами грунтовых вод при залегании последних на глубине до 5 м (в гумидных областях) и до 25—30 м (в аридных областях). Сообщества с господством фреатофитов наиболее хорошо опознаются летом, так как даже в самое сухое время года имеют сочную зелень, что объясняется постоянством их связи с грунтовыми водами. На летних аэрофотоснимках они по той же причине дают интенсивно темный фототон. Сообщества с господством фреатофитов могут служить прямыми индикаторами глубины залегания и степени минерализации

грунтовых вод. Индикационное значение наиболее распространенных фреатофитов указано в ряде справочников и пособий (Востокова и др., 1962).

Растительные сообщества с господством омброфитов и трихогидрофитов являются лишь косвенными индикаторами гидрогеологических условий; их индикационное значение локально и резко изменяется при переходе из одного района в другой. К частным индикаторам гидрогеологических условий относятся многие антропогенные (колодцы, кяризы, каптированные источники, скважины и т. д.), а также различные естественные водопроявления (источники, мочажины, выходы подземных рек) и частично современные геологические процессы (наледи, карст, оползни и т. д.).

Дешифрирование подземных вод начинается с установления наличия в районе исследования обводненных пород и типов вод. Дальнейшим этапом является определение границы распространения вод и глубины их залегания, направления движения водного потока и заключения об относительной водообильности водоносного горизонта, режиме и химическом составе подземных вод. При дешифрировании грунтовых поровых вод следует учитывать приуроченность их к соответствующему генетическому типу четвертичных отложений (аллювиальному, флювиогляциальному, озерному, морскому, моренному, лёссовому, пролювиальному, эоловому и др.).

В лесной зоне распространение этих вод, как правило, совпадает с границей развития водопроницаемых пород в четвертичных отложениях. В степной и полустепной зонах это совпадение наблюдается далеко не всегда. Для уточнения границ распространения грунтовых вод, а иногда и характера их залегания в толще водовмещающих пород необходимо использовать вышеупомянутые геоботанические и антропогенные индикаторы. Кроме того, при установлении области распространения грунтовых вод также следует учитывать дренированность территории, наличие участков с маломощным четвертичным покровом, залегающим на водопроницаемых дочетвертичных породах (23, 26), а также распространение болот. При этом необходимо помнить, что только те болота указывают на наличие грунтовых вод, которые подстилаются водонасыщенными породами. Определение глубин залегания грунтовых вод в лесной зоне возможно по дешифрированию различных типов лесных ландшафтов (Березин и др., 1969). Например, высокие аллювиальные и морские террасы, возвышенные флювиогляциальные и озерно-ледниковые равнины, сложенные песками и поросшие высокоствольными сосновыми лишайниковыми лесами с песчаными дюнами, указывают глубину залегания грунтовых вод в междюнных понижениях на севере зоны в пределах 3—7 м, а на юге — от 5 до 10 м и более. Эти ландшафты легко дешифрируются по приуроченности к типу рельефа, по развитию лишайниковых сосновых лесов, песчаных отложений и по наличию песчаных дюн. Сосновые лишайниковые леса довольно четко опознаются по крупнозернистой структуре фотоизображения светло-серого фототона; под стереоскопом хорошо видны высокие висящие округлые «пухлые» кроны и светлые пятна земной поверхности между ними. Характерны песчаные дюны, образующие серповидный рисунок. В ряде случаев глубина залегания вод может быть установлена ориентировочно с помощью стереоизмерений. Так, например, на водораздельных пространствах, сложенных однородными породами, она равна относительным превышениям водоразделов над расположением источников, мочажин, действующих оползней и заболоченности по склонам и днищам балок и оврагов, а также над урезами воды в ручьях и озерах. Для полупустынной и пустынной зон в настоящее время разработана довольно точная методика дешифрирования глубин залегания и минерализации вод (Востокова и др., 1962).

В аридных областях важнейшее индикационное значение имеют сообщества фреатофитов. Ландшафтными индикаторами близко залегающих пресных или слабо минерализованных вод могут быть также реки, пресные озера, сухие русла, источники, мочажины с зарослями фреатофитов вокруг них. При определении качества вод в аридных областях нужно учитывать, что наличие солончаков вблизи выходов вод не всегда служит доказательством их высокой минерализации. Отсутствие же здесь солончаков почти всегда указывает на пресные или слабо минерализованные воды. В песчаных равнинах большое значение имеют подтакырные линзы пресных вод, плавающие на сильно минерализованных водах. На крупномасштабных аэроснимках можно отдешифрировать местонахождение подтакырной линзы и ориентировочно определить ее размеры. Индикаторами таких линз являются: следы стока поверхностных вод на такырах, наличие барханных песков вокруг такыров, закрепленных в понижениях фреатофитами (черный саксаул, тамарикс, верблюжья колючка и др.), и отсутствие солончаков.

Определение направления движения вод по аэрофотоматериалам возможно только в самых общих чертах по общему наклону местности (22, 27 и 33), типу четвертичных отложений, частично по пластовым выходам вод, с учетом данных по условиям залегания пород и неотектонических движений. Показателем направления вод также могут служить направления древних сухих русел в пустынях, а в лесной зоне — ложбин стока ледниковых вод. Первые дешифрируются по извилистому рисунку русел, подчеркнутых черным крапом растительности (фреатофитами). Ложбины стока могут распознаваться по понижениям, часто не связанным с современной гидросетью или используемым ею частично, по широким долинам, не соответствующим современным водотокам, поросшим заболоченными лесами или занятым болотами.

Определение относительной водообильности водоносных горизонтов возможно только ориентировочно по гранулометрическому составу водовмещающих пород, генетическому типу четвертичных отложений, наличию и количеству источников и ручьев, мочажин, оползней, ложбин стока грунтовых вод, сухих русел, а также путем установления характера питания грунтовых вод (за счет поверхностных или других).

Дешифрирование пластово-трещинных грунтовых вод в горных районах производится по приуроченности к трещиноватым и пористым разностям осадочных, осадочно-вулканогенных и вулканогенных пород, преимущественно в пределах развития зоны выветривания. Граница распространения и глубина залегания этих вод могут быть отдешифрированы только весьма ориентировочно по наличию выходов источников, мочажин, оползней, влаголюбивой растительности и т. п. При этом необходимо учитывать условия залегания пород, их мощность, глубину и густоту эрозионного расчленения, климатические особенности района и вертикальную зональность. На основании анализа этих данных можно также сделать ориентировочный вывод о составе вод, а в отдельных случаях о направлении движения водного потока. Например, по аэрофотоснимку (26) глубина залегания вод в андезито-базальтовом лавовом потоке дешифрируется по выходу родников на контакте лав с подстилающими водоупорными породами палеогена, а низкая минерализация этих вод — по отсутствию следов засоления у выходов родников. В ряде случаев грунтовые воды трудно отдешифрировать от трещинных вод зон тектонических нарушений (27).

Дешифрирование вод зон разрывных тектонических нарушений производится на основе выявления на аэроснимках линий тектонических нарушений в различных породах и приуроченных к ним выходов трещинных вод в виде источников, реже мочажин. На равнинах обводненные зоны тектонических нарушений, как правило, четко дешифрируются только в аридных областях. Здесь через четвертичные отложе-

ния «просвечивают» линии тектонических нарушений, к которым приурочены выходы родников, дешифрируемых по черному фототону окружающей их растительности (29). Местами эти линии распознаются по вытянутым вдоль них буграм — чукалакам, поросшим влаголюбивой растительностью. В лесном поясе гор с гумидным климатом обводненные зоны тектонических нарушений обычно дешифрируются по приуроченности к ним влаголюбивых лесов и кустарников (31). В горах с сухим климатом они четко видны на аэроснимках в виде тонких линий, на которые насажены черные точки-родники (32, 33). Сравнительно легче можно отдешифрировать лишь крупные восходящие источники по их сосредоточенным выходам (33). Но чаще к тектоническим нарушениям приурочены как сосредоточенные, так и рассредоточенные выходы вод и мочажины (31, 32). На равнинах трещинные воды наиболее точно могут быть отдешифрированы по приуроченности к ним бугров-чукалаков. Бугры достигают высоты 1—5 м и дешифрируются по округлой форме и приуроченности к ним фреатофитов.

Глубина залегания и состав трещинных вод дешифрируются в аридных областях по приуроченности к ним фреатофитов или по отсутствию солончаков у выходов вод. Индикаторами пресных и солоноватых напорных вод могут служить бугры-чукалаки, поросшие тростником и тамариксом. В лесной зоне на равнинах и в лесном поясе гор химизм вод, как правило, не определяется.

Редкий случай возможности дешифрирования минерального восходящего источника в лесном поясе гор приведен на аэроснимке (33).

Методика дешифрирования гидрогеологических условий областей развития многолетнемерзлых пород в настоящее время еще слабо разработана. Основные положения по гидрогеологическому дешифрированию этих областей изложены в работе И. В. Протасьевой (1967). Дешифрируются, как правило, надмерзлотные и подмерзлотные воды. Межмерзлотные воды либо не дешифрируются вообще, либо не могут быть отделены от подмерзлотных вод. Дешифрирование вод деятельного слоя, распространенных почти повсеместно, сводится к определению глубины сезонного протаивания, от которой зависят, как правило, глубина залегания этих вод и их мощность.

В горах Южной Якутии, сложенных песчаниками, аргиллитами и алевролитами, сухие сосново-лиственничные леса в верхних частях склонов и на водоразделах указывают на глубину протаивания 4—5 м, а влажные — на 0,5—1,5 м.

Грунтовые надмерзлотные воды на равнинах обычно приурочены к замкнутым таликовым зонам, часто развитым под озерами и речными долинами, а в горах — к местам развития крупнообломочных накоплений, характеризующихся значительной мощностью деятельного слоя (конусы выноса, солифлюкционные террасы, осыпные валы и т. п.). В днищах спущенных озер (аласах) на наличие таликовых зон указывают бугры-булгунняхи (34), молодые формы которых индицируют крупные таликовые зоны, а старые, разрушенные, говорят о небольшой мощности таликов и их значительном промерзании.

В речных долинах таликовые зоны подчеркиваются обычно развитием густой осоково-разнотравной, кустарниковой растительности и лиственных лесов, а местами и сезонными наледями (35). Развитие на поймах и террасах свежих криогенных форм (морозобойные трещины, полигонально-жильные льды и т. п.) свидетельствует, как правило, об отсутствии таликовых зон. Крупные замкнутые таликовые зоны, а иногда и сквозные талики приурочены к значительным рекам и озерам.

Подмерзлотные воды дешифрируются уверенно лишь в горно-складчатых областях по зонам разрывных тектонических нарушений, подчеркнутых влаголюбивой растительностью, или по приуроченным

к ним наледям (36). Вблизи южной границы распространения многолетнемерзлых пород индикаторами подмерзлотных вод могут служить гидролакколиты, располагающиеся по прямым линиям. Гидролакколиты легко опознаются на аэроснимках по характерной конической форме.

Ландшафтные индикаторы геокриологических условий

По частным ландшафтным индикаторам возможно картирование состояния горных пород (мерзлого или талого), глубины сезонного протаивания (промерзания), типа подземных льдов и криогенных процессов.

Для первых двух элементов наиболее важным индикатором является растительность. Влияние многолетнемерзлых горных пород на растительность и растительности на теплообмен между литосферой и атмосферой является установленным фактом. Многолетнемерзлые породы из-за понижения температуры почв, заболачивания и других факторов ослабляют жизнедеятельность растений. Это ослабление по-разному воспринимается различными растениями. Наибольшее угнетающее воздействие многолетнемерзлые породы оказывают на сосну и кедр, меньшее — на ель и наименьшее — на лиственницу. В свою очередь, растительный покров повышает влажность почвенного слоя, способствующую накоплению в почве органических остатков, транспирирует влагу припочвенного слоя воздуха, изменяет интенсивность прогревания почвы солнечной радиацией, способствует накоплению снежного покрова, т. е. существенно влияет на теплообмен. В целом растительность препятствует охлаждению почвы зимой и прогреванию летом и приводит к понижению температуры на 2—3° С, а в некоторых случаях к повышению ее на 1—2° С в верхних горизонтах многолетнемерзлых пород. Следует заметить, что в разных региональных и зональных условиях один и тот же тип растительности может быть индикатором различного состояния горных пород. Так, например, осоковые болота в районе Игарки являются индикатором таликов, а такие же болота в районе Воркуты могут иметь мерзлые грунты. Некоторые растительные ассоциации-индикаторы являются универсальными. Отмечается, что в нижнем течении Оби, на Вилюе, в верховьях Амура в сходных условиях индикатором наиболее суровых геокриологических условий являются ерниковые заболоченные лиственничники. Эти леса отличаются большой разреженностью, искривленностью, малыми высотой и диаметром стволов, обилием кустарников и сплошным моховым покровом.

Почти повсеместно безлесные бугристые болота — торфяники (на равнинах) являются индикаторами наиболее низких температур мерзлых грунтов и высокой льдистости. Вблизи южной границы криолитозоны торфяники и мари служат индикатором островов мерзлых пород среди талых. Растительность является также ведущим индикатором состава и мощности слоя сезонного протаивания.

В качестве примера можно привести глубины сезонного протаивания под различными растительными сообществами в плакорных условиях лесотундры Западной Сибири: 1) плоско- и выпукло-бугристые торфяники с кустарничково-моховой растительностью (0,4—0,5 м); 2) лиственничные и елово-лиственничные кустарничково-моховые редины (0,8—1,0 м); 3) березово-лиственничные и лиственничные лишайниковые редкостойные леса (до 2,5—3,0 м).

Формы микрорельефа, созданные криогенными и посткриогенными процессами, индицируют как эти процессы, так и состояние горных пород. Очевидно, что различные формы морозного пучения — многолетние и сезонные бугры, гряды, полигонально-валиковые и полигонально-трещинные формы, многолетние наледи, пятна-медальоны, каменные полосы и венки — являются индикаторами многолетне-

мерзлых горных пород. В свою очередь, провальные термокарстовые формы, западинно-бугристый микрорельеф и байджарахи свидетельствуют о современном или древнем протаивании мерзлых толщ. По формам микрорельефа можно судить о размерах, форме, а иногда и генезисе подземных льдов. Так, например, полигональные формы, западинно-бугристый микрорельеф, коленчатые ложбины стока, различные формы блочного рельефа связаны с повторно-жильными льдами; гидролакколиты и термокарстовые провалы — с инъекционными льдами значительной мощности; термокарстовые западины, бугры-могильники и кочкарники — с сегрегационными криогенными образованиями и т. д.

Столь же полезную информацию дают и некоторые формы гидрографической сети — четкообразный дренаж, фестончатые берега озер и морей, линейно-ориентированные озера равнинных районов и пр. Однако наиболее полную информацию о геокриологических условиях можно получить при помощи всего комплекса внешних компонентов ПТК (56).

Ландшафтные индикаторы современных геологических процессов

Индикация современных геологических процессов производится главным образом по тем последствиям, которые они вызывают во внешнем облике ПТК или его отдельных компонентов. Это позволяет определить тип процесса, границы его проявления, по мере возможности причины возникновения, а также различные стадии протекания процессов. Наиболее важными из индикаторов современных геологических процессов являются рельеф, его микро-, мезоформы и растительность. Рассмотрим особенности ландшафтной индикации важнейших геологических процессов.

Обвалы выявляются по наличию крутых склонов с характерными обвальными стенками или нишами и по скоплению обвальных отложений в основании склона в виде завальных плотин, хаотического нагромождения глыб и обломков горных пород. Наличие нависающих глыб и утесов, крупные зияющие трещины, параллельные склону, проседание поверхности откоса служат индикаторами возможных обвальных смещений. Обычно четко дешифрируются бесформенная или натечная форма обвальной массы и зернистая структура крупных глыб. При этом характер рисунка поверхности обвальной массы во многом зависит от состава пород в области отрыва и амплитуды ее смещения; хорошо видны подпруженные озера, имеющие специфические очертания в соответствии с поперечным и продольным профилями долин (37, 38, 39).

Осыпи. Внешним выражением движения и накопления осыпного материала служит форма осыпных тел, среди которых выделяют потоки, треугольники, шлейфы, чехлы и пятна.

Осыпи-потоки свидетельствуют о большой подвижности материала преимущественно крупнообломочного состава и небольшой мощности отложений. Осыпи-треугольники и шлейфы указывают на меньшую подвижность материала по сравнению с осыпями-потоками. Механический состав отложений таких осыпей неоднороден. Характерно увеличение мощности отложений вниз по склону и от краев к центру осыпей, где она может достигать десятков метров. Осыпи-чехлы указывают на слабую подвижность или относительную неподвижность слагающего их материала. Пятна осыпей свидетельствуют о небольших мощностях осыпных отложений.

Растительность на поверхности осыпей в ряде случаев служит индикатором степени их подвижности. К числу наглядно видимых признаков подвижности осыпей относится отсутствие растительности или

наличие подмятых, поваленных или саблевидных деревьев. По мере стабилизации движения материала осыпей наблюдается постепенное их зарастание: сначала появляются луговые фитоценозы, затем кустарники, сменяющиеся лесами. Обычно стабилизировавшиеся осыпи имеют проективное покрытие растительностью более 50%.

Осыпи развиваются как на относительно плоских склонах водоразделов (40), так и на устьях эрозионных воронок. Характерен струйчатый веерообразный рисунок с мелкозернистой структурой у осыпей, развивающихся на водораздельных поверхностях; рисунок изображения здесь отражает форму валов, поперечных уклону поверхности. Осыпи нижних частей склонов имеют выпуклый профиль; характерны борозды — пути движения камнепадов, резкие затененные устья эрозионных воронок, питающих осыпи.

Лавины. Ландшафтными индикаторами лавиноопасных участков являются формы рельефа, связанные с деятельностью лавин: лавиносборы, лотки, конуса выноса, а также лесные «прочесы» и снежники-перелетки у подножия склонов.

К лавиносборам относятся вогнутые формы рельефа, расположенные в верхней части склона, деформированные кары, денудационные воронки, эрозионные врезы, а также крутые нерасчлененные участки склонов. Лотки приурочены к крутым склонам. Они имеют характерную корытообразную форму поперечного профиля. На залесенных участках склонов пути схода лавин отчетливо выявляются по узким вытянутым полосам сведенного леса и лесным прочесам. В основании склонов конусы выноса лавин имеют треугольную форму. В отличие от осыпных конусов на лавинном конусе крупный материал накапливается в его верхней части, которая обычно бывает незадернована. Существенным признаком лавинной опасности могут служить остатки лавинных снежников, сохранившихся в днищах долин.

Оползневые процессы выявляются благодаря специфическим ландшафтным индикаторам, среди которых важнейшую роль играют: морфологическое строение оползневых тел, особенности гидрографической сети, характер растительного покрова. С помощью ландшафтных индикаторов возможно определение приуроченности оползней к определенным стратиграфо-генетическим комплексам, поскольку часто наблюдается тесная связь между морфологией оползней и особенностями геологического строения территории. Достаточно четко выявляются оползни-обвалы в скальных породах, которые встречаются в горных областях. Для них характерны угловатые формы оползневых тел в плане (треугольная, трапециевидная и др.), наличие крупных глыб и блоков, высокие стенки отрыва, служащие четкой верхней границей оползней.

В полускальных породах оползни бывают фронтального типа, образованные сочетанием оползневых гряд и низин, иногда занятых небольшими озерцами и болотами.

Оползни в глинистых породах и лёссах имеют обычно различные формы: циркообразную, глетчерообразную, ложкообразную и др. Оползни сплыва, как правило, имеют циркообразную форму с хорошо различимыми оползневыми откосами и ступенями.

Растительность часто является надежным индикатором степени подвижности и относительного возраста оползневых смещений. Это объясняется тем, что растительный покров чутко реагирует на оползневые процессы. По характерному наклону деревьев («пьяный» лес) и изменениям в их годичных кольцах можно определять относительный возраст оползней и относительные скорости движения сползших блоков. В зависимости от возраста оползня и природных условий его возникновения растительный покров перераспределяется на оползневом рельефе и претерпевает видовые изменения. Так, в растительном по-

крове могут появиться влаголюбивые или засухоустойчивые сообщества, не характерные для окружающей местности или ландшафта в целом.

Очень часто растительность сплошным ковром выстилает оползневые цирки и тем самым подчеркивает их в ландшафте, но нередко растительный покров на оползнях разрежен и дифференцирован в соответствии с условиями обитания и давностью проявления подвижек. Более подробно вопросы индикации оползней по растительному покрову изложены в работах В. И. Турманиной и Т. Е. Чуйкиной. Оползни приурочены как к склонам гор (41), так и к склонам структурно-денудационных равнин (42—45). На аэроснимках хорошо просматриваются стенки отрыва, крупные блоки, бугристость оползневых тел, оползневые цирки и т. д.

Сели приурочены к крутопадающим долинам рек, у которых в верховьях имеются обширный водосбор и подготовленный к сносу обломочный материал. Характерны узкие долины зоны транзита с мощными полосами эрозионных борозд, поставляющих обломочный материал (47). Поверхности оползней в области аккумуляции обычно имеют натечный мелкобугристый рельеф, создающий морщинисто-шагреневый рисунок изображения.

Катастрофические сели (46) четко дешифрируются по наличию на пути их движения ванн выплеснувшихся озер, подпруженных обвальными массами. Характерна также светлая извилистая полоса селевых масс, напоминающая поверхность такыров.

Карст (48, 51) четко дешифрируется в горных районах в связи с ячеистым пятнисто-ноздреватым рисунком изображения, обусловленным многочисленными мелкими карстовыми воронками и более крупными карстовыми ваннами (карбонатный карст). Отмечаются специфические дешифровочные признаки карста в альпийском высокогорье и лесном поясе. На склонах и присклоновых частях структурно-эрозионных плато хорошо дешифрируются стадии развития карста (51). Существенным дешифровочным признаком карста в гипсовых породах являются более мелкие и часто расположенные карстовые воронки, создающие очень мелкопятнистый рисунок изображения, а также светлый тон карстующихся пород.

Частными ландшафтными индикаторами эоловых процессов являются как определенные формы рельефа, так и определенные растительные сообщества. Из геоморфологических индикаторов наибольшее индикационное значение имеют различные типы песков. Грядовые, бугристые, грядово-бугристые, бугристо-ячеистые пески свидетельствуют о значительной их закрепленности, барханные пески — о развеянности. Из отдельных форм рельефа для индикации современных процессов перевевания наиболее важны: 1) котловины выдувания; 2) различные виды незакрепленных песков — одиночные барханы, полисинтетические барханы, группы барханов («чагылы»). Обычно эти две группы частных индикаторов бывают пространственно сопряжены.

Из геоботанических индикаторов наиболее распространенными показателями закрепленности песков являются сообщества серой полыни, различных видов типчака, ковылей, житняка сибирского, белого саксаула, древовидных солянок (черкез, чогон). О развеянности песков свидетельствуют сообщества песчаной акации, селина и кандымов (джузгунов).

Зарождение всех криогенных процессов связано с изменением температурных условий, происходящих в верхней части толщи сезонно- и многолетнемерзлых пород и проявляющихся во внешнем облике ПТК. Наиболее важными ландшафтными индикаторами криогенных процессов являются формы микрорельефа поверхности; меньшее значение имеют растительность, водоемы и водотоки.

Процессы, возникающие в сезонноталоми и сезонномерзлом слоях, в связи с малыми масштабами проявления картируются обычно лишь при наземных исследованиях. Исключение составляют солифлюкция, морозное выветривание и образование курумов, которые могут быть откартированы по аэрофотоснимкам.

Процессы морозного растрескивания и связанные с ними образования повторно-жильных льдов и грунтовых жил распознаются по различного рода полигональным образованиям микрорельефа. Морозное пучение образует различные положительные микроформы — бугры, гряды, вспученные массивы — как на минеральных, так и на биогенных грунтах приповерхностного слоя (54). Наледи распознаются по наледным полянам. И, наконец, большая группа процессов, связанных с многолетним протаиванием верхних горизонтов мерзлых горных пород (термокарст), индицируется разного рода отрицательными формами рельефа и микрорельефа, зачастую заполненными водой. Очертания и размеры этих форм зависят от количества и типа ледяных включений, содержащихся в горных породах. В табл. 14 приводятся основные ландшафтные индикаторы криогенных процессов.

Дешифрирование криогенных процессов тесно связано с дешифрированием микроформ рельефа.

Таблица 14

Наиболее общие ландшафтные индикаторы криогенных процессов, имеющих существенное инженерно-геологическое значение

Процесс	Особенности распространения	Ландшафтные индикаторы		
		рельеф	гидросеть	растительность
Солифлюкция	Преимущественно в горных районах, в нижней части склонов	Натечные террасы, языки, сплывы в наиболее пологой части склона — шлейфы		Лишайники и кустарники располагаются разомкнутыми полосами поперек склона
Морозобойное растрескивание и образование повторно-жильных льдов и грунтовых жил	Равнинные районы со среднегодовой температурой горных пород менее минус 1°	Полигональная сеть морозобойных трещин размером от 10×10 до 80×80 м, иногда с валиками вдоль них	Внутри валиковых полигонов мелкие озерки	Травяно-моховая растительность лишь подчеркивает микрорельеф
Многолетнее морозное пучение	Равнинные районы	Бугры и гряды высотой от 2—5 до 45—70 м	—	—
Термокарст	Преимущественно равнинные районы	Отрицательные формы рельефа: провалы, котловины, западины и др.	Провальные и западинные озера, фестончатые берега озер, четкообразный дренаж, коленчатые русла ручьев по полигональной сети	Заросли леса и кустарников по берегам протаявших озер
Наледи речных и подземных вод	Преимущественно в горных районах	Тело наледи или наледные поляны («мостовые»)		Растительность отсутствует

Полигонально-трещинные образования, с которыми связаны жильные льды, дешифрируются на аэроснимках среднего и крупного масштабов по четкой сетке линий полигонального рисунка. На торфяниках — это темные линии на более светлом общем фоне аэрофотоизображения (52), на горных породах — это светлые линии на более темном фоне. Валиковые полигоны определяются по большей ширине светлых линий (полос), внутри которых четко заметна тонкая темная осевая линия.

Формы многолетнего морозного пучения дешифрируются по округлым или вытянутым светлым пятнам бугров и гряд. Они отличаются стереоскопичностью изображения на аэроснимках среднего и крупного масштабов. Бугры пучения типа гидролакколитов обычно приурочены к линеаментам рельефа и гидросети. Бугры, образованные в результате промерзания замкнутых систем, приурочены преимущественно к озерным котловинам типа «аласов» и «хасыреев», дешифрируемых по четкой линии берегового уступа. Нередко на буграх этих типов наблюдаются более темные термокарстовые просадки и провальные озера.

Крупнобугристые и выпукло-бугристые торфяники дешифрируются по скоплениям четких округлых светлых пятен на общем сером или светло-сером тоне (54, 56). Бугристые торфяники видны и на аэрофотоснимках мелких масштабов (56).

Скопления форм сезонного пучения в слое сезонного протаивания (бугры-могильники, пятна-медальоны и пр.) дешифрируются лишь на аэрофотоснимках крупных масштабов по зернистой или крапчатой структуре аэрофотоизображения.

Термокарстовые образования, связанные с протаиванием повторно-жильных льдов, дешифрируются на аэрофотоснимках среднего масштаба: 1) на торфе — по пятнам-многоугольникам полигонально-ячеистых, полигонально-решетчатых и слитно-полигональных озер; по плоско-бугристым торфяникам, а также по фестончатым очертаниям озер и котловин спущенных озер; 2) на горных породах — по рельефному шахматному изображению «байджарахов» и западинно-бугристому рельефу, хорошо опознаваемому на аэрофотоснимках крупного масштаба; 3) по озерам округло-вытянутой формы, расположенным в котловинах глубиной 3—10 м (53).

Термокарст по крупным пластовым льдам дешифрируется по скоплениям глубоких (до 10 м и более) озерных котловин. Пятна озер состоят из нескольких субконцентрических колец, тон которых изменяется от темно-серого (в центре пятна) до серого и светло-серого (по краям). Эти пятна хорошо видны на аэрофотоснимках мелкого масштаба.

Термокарст по сегрегационным льдам дешифрируется по округлым озерам небольшой глубины и по их дренированным котловинам, имеющим четкий береговой уступ, а также по озерам четкообразной формы (56).

Термокарстово-эрозионные формы, связанные с протаиванием повторно-жильных льдов, дешифрируются на аэроснимках среднего и крупного масштабов по четким темным ломаным линиям коленчатых промоин и ложбин стока на более светлом общем тоне. Эти линии образуют полигональную прерывистую сеть, размеры ячеек которой во много раз больше, чем в полигонах морозобойных трещин.

Наледи дешифрируются по белым ледяным телам и наледным полянам, лишенным растительности. Наледи подземных вод обычно приурочены к тектоническим разломам, выраженным разного рода линеаментами.

Формы морозного выветривания хорошо заметны на аэроснимках среднего и крупного масштабов по линиям уступов нагорных террас и пятнам «тумпов».

Солифлюкционные формы имеют различный рисунок в разных частях склонов. В верхней части склонов натечные терраски, языки, сплывы образуют на аэроснимках среднего и крупного масштабов характерный рисунок разомкнутых темных полос, расположенных поперек склона. «Делли» имеют струйчатый рисунок, а задернованные делювиально-солифлюкционные шлейфы — субконцентрические полосы более темного тона и продольные светлые пятна сплывов, вытянутые вдоль по склону.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 9

1. *Альтер С. П.* Ландшафтный метод дешифрирования аэрофотоснимков. М.—Л., «Наука», 1966. 88 с.

2. *Березин А. М., Вавилов Е. И., Григорьев А. А.* Индикационная роль лесной растительности при дешифрировании почв и четвертичных отложений. Л., «Наука», 1969. 128 с.

3. *Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И.* Полевые методы инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1967. 372 с.

4. *Брюханов В. Н.* Теоретические основы геологического дешифрирования. — В кн.: Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых. Т. I. М., 1964, с. 83—99.

5. *Валях В. М., Кригер Е. Р.* Некоторые результаты применения цветных снимков при инженерно-геологическом картировании в условиях лесной зоны. — «Тр. ВСЕГИНГЕО», 1964, сер. 3, с. 91—105.

6. *Верейский Н. Г., Востокова Е. А.* Справочник-определитель литологического состава поверхностных отложений и глубины залегания подземных вод. М., Сельхозгиз, 1963. 261 с.

7. *Викторов С. В.* Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. М., «Недра», 1966. 197 с.

8. *Виноградов Б. В.* Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. М., «Высшая школа», 1964. 328 с.

9. *Воевода В. М.* и др. Пособие по фотограмметрическим работам при геологическом дешифрировании. М., «Недра», 1967. 103 с.

10. *Востокова Е. А.* Геоботанические исследования в засушливых областях СССР. М., Госгеолтехиздат, 1961. 88 с.

11. *Востокова Е. А., Шавырина А. В., Ларичева С. Г.* Справочник по растениям-индикаторам грунтовых вод и почвогрунтов для южных пустынь СССР. М., Госгеолтехиздат, 1962. 126 с.

12. *Комплексное* дешифрирование аэроснимков. М.—Л., «Наука», 1964. 187 с.

13. *Ландшафтоведение.* Под ред. Н. А. Солнцева. М., Изд-во АН СССР, 1963. 176 с.

14. *Ландшафтные* индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки. М., «Недра», 1974. 132 с. Авт.: Е. С. Мельников, Л. И. Вейсман, Л. Н. Крицук, Н. Г. Москаленко, Л. Н. Тагунова, И. В. Тодосийчук.

15. *Мельников Е. С., Садов А. В.* Аэрометоды в инженерной геологии и гидрогеологии. М., «Недра», 1964. 35 с.

16. *Ландшафтные* методы в гидрогеологии и инженерной геологии. «Бюлл. научно-техн. информ. ВИЭМС. Сер. Гидрогеол. и инж. геол.», 1966, № 1, 79 с.

17. *Мирошниченко В. П.* Современное состояние теории и практики ландшафтного дешифрирования аэроснимков. — В кн.: Теория и практика дешифрирования аэроснимков. М., 1966, 73—94 с.

18. *Нефедов К. Е., Попова Т. А.* Дешифрирование грунтовых вод по аэроснимкам. Л., Гидрометиздат, 1969. 179 с.

19. *Протасьева И. В.* Аэрометоды в геокриологии. М., «Наука», 1967, 196 с.

20. *Скоростные* методы инженерно-геологических исследований для целей массового строительства. М., «Недра», 1964. 291 с.

21. *Скоростные* методы исследований при гидрогеологических и инженерно-геологических съемках. М., «Недра», 1969. 336 с.

Глава 10

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ ПОРОД

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, МЕСТО И СТРУКТУРА ОПРОБОВАНИЯ

Под инженерно-геологическим опробованием следует понимать комплекс последовательных операций по определению состава, состояния и свойств пород. Инженерно-геологическое опробование пород, выполняемое при мелкомасштабном картировании, следует рассматривать как комплексный метод, включающий ряд методов. К числу этих методов принадлежат: 1) проходка горно-буровых выработок, полевые (в основном скоростные) испытания свойств горных пород, методы отбора и консервации образцов; 2) лабораторные методы (преимущественно экспресс-методы); 3) накопление и обработка информации о составе, состоянии и свойствах пород, а также методы моделирования.

В отдельных случаях при инженерно-геологическом опробовании (на первом его этапе) могут использоваться некоторые наземные геофизические методы (ВЭЗ, микросейсмическое профилирование и др.), позволяющие получить относительные характеристики свойств пород, а также ландшафтно-индикационный метод.

Основная цель инженерно-геологического опробования, проводимого в процессе мелкомасштабной инженерно-геологической съемки, заключается в получении необходимого и достаточного объема представительных данных об инженерно-геологических свойствах пород, распространенных на картируемой территории.

В задачи опробования входят: 1) подтверждение правильности выделения границ геологических тел; 2) характеристика пространственной изменчивости показателей состава, состояния и свойств пород в пределах выделенных геологических тел*; 3) определение обобщенных значений показателей свойств пород (в основном классификационных) на ограниченных типичных (ключевых) участках выделенных геологических тел.

Инженерно-геологическое опробование можно разбить на три этапа: рекогносцировочный, детальных работ и расчетов (табл. 15).

Как видно из таблицы, до отбора образцов пород и до проведения полевых испытаний следует установить схему пространственного размещения точек отбора образцов, схему размещения мест полевых испытаний и определить их количество.

С этой целью производят рекогносцировочные работы, к которым можно приступить после того, как по данным других методов, используемых при картировании, будут выделены геологические тела и установлены, хотя бы в первом приближении, главные направления изменчивости свойств пород по классификационным показателям. Под главными направлениями изменчивости показателей свойств пород в общем случае следует понимать направления сноса исходного материала и перпендикулярное первому направление вдоль фронта сноса. Им обычно отвечают максимальные и минимальные значения градиентов показателей свойств пород. Направление сноса материала или главное направление максимальной изменчивости следует обозначать через ξ_1, а направление вдоль фронта сноса (главное направление минимальной изменчивости) — через ξ_2. Рекогносцировочные работы ведутся высоко-

---

* В дальнейшем для краткости используется термин «показатели свойств пород», при этом имеются в виду и показатели, характеризующие состав, состояние и свойства, которые являются классификационными.

Таблица 15

Этапы и содержание работ по инженерно-геологическому опробованию

Этап опробования	Целевое назначение работ	Основное содержание работ
Рекогносцировочный	Установление оптимального расположения в пространстве и количества горно-буровых выработок, мест проведения полевых испытаний и точек отбора образцов	Определение показателей свойств пород на створах, ориентированных по главным направлениям изменчивости, при помощи скоростных методов. Расчеты основных и статистических показателей, характеризующих пространственную изменчивость и анизотропию свойств пород в пределах выделенных геологических тел
Детальных работ	Измерение (определение) показателей свойств пород в условиях естественного залегания или в лабораторных условиях	Проходка горно-буровых выработок, отбор образцов пород, лабораторные (в основном экспрессные) испытания проб, полевые испытания пород скоростными методами; естественно-статистический метод определения некоторых показателей свойств пород
Расчетов	Вычисление обобщенных показателей свойств пород и их статистических характеристик, разработка математических моделей полей показателей свойств и сечений полей по главным направлениям изменчивости	Статистические расчеты, программирование, разработка моделей

производительными полевыми методами (пенетрация, геофизические методы и др.) или применяют экспрессные методы лабораторных работ (рис. 5). И те, и другие должны обеспечивать получение необходимых для расчетов статистических характеристик свойств пород в поле.

Показатели, получаемые скоростными методами (сопротивление пенетрации, величина предельного напряжения сдвига, кажущееся электрическое сопротивление), не являются классификационными. Однако они: 1) связаны с классификационными и, таким образом, определяют характеристики пространственной изменчивости и главные направления ее; 2) могут быть использованы для расчета параметров систем опробования, так как их рассеяние или разброс значительно превышают рассеяние классификационных показателей.

Например, показатели пенетрации (динамический и статический), искиметрии и другие по величине стандартного отклонения сопоставимы с показателями прочности и сжимаемости.

Только после получения соответствующих статистических показателей и проведения необходимых расчетов представляется возможным реализовать полученную расчетом систему опробования, т. е. провести необходимые полевые испытания или отобрать образцы пород для лабораторных испытаний экспрессными методами.

Система опробования (или схема точек измерения показателей свойств пород) есть совокупность определенным образом расположенных в пространстве осей разведочных выработок; мест проведения полевых испытаний свойств пород; точек — центров образцов при точеч-

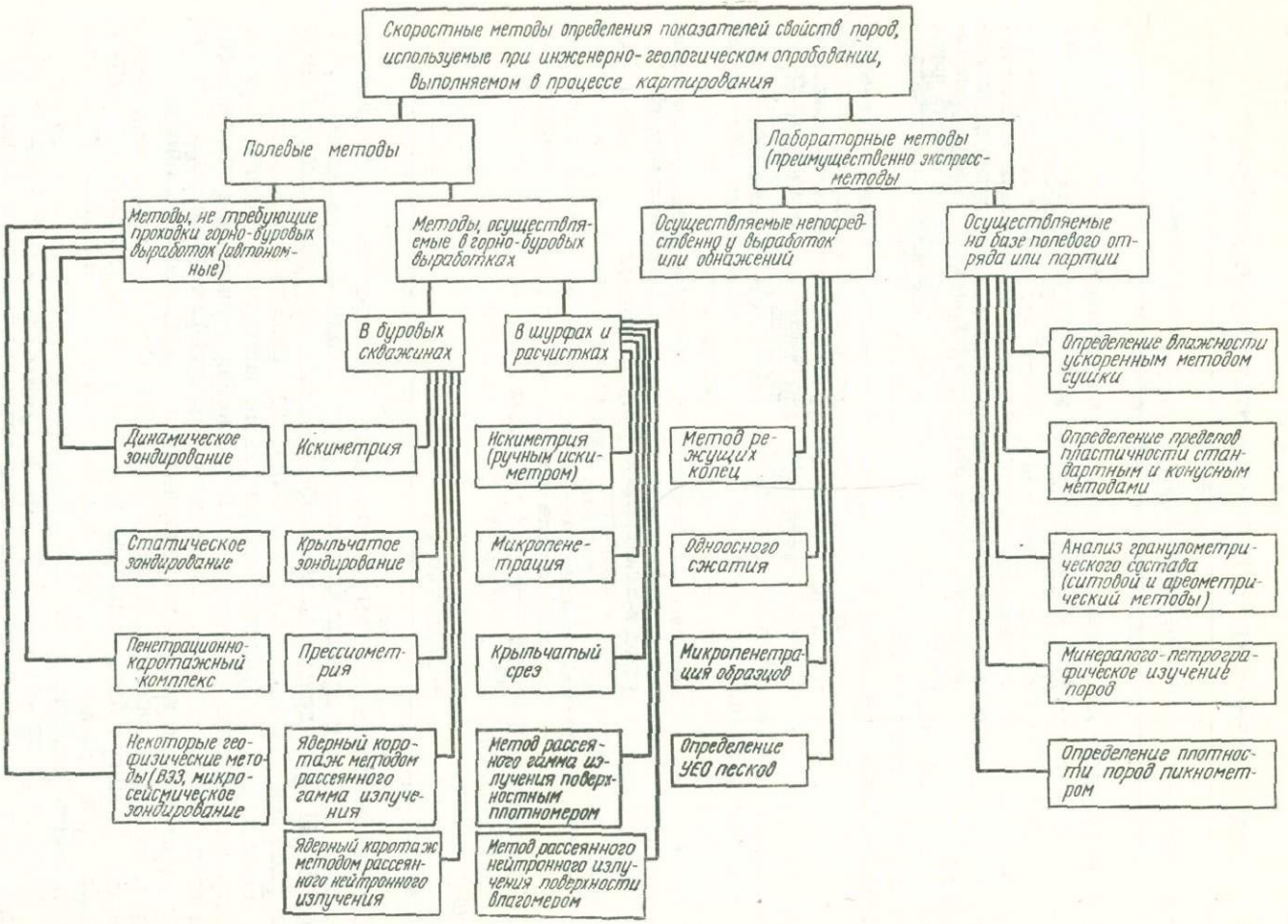


Рис. 5. Скоростные методы определения показателей свойств пород, используемые при инженерно-геологическом опробовании

ном способе опробования или точек — центров валовых проб при валовом опробовании; *осей бороздовых проб при бороздовом способе опробования.*

Пространственные системы опробования различаются по размерности (табл. 16).

Таблица 16

Системы опробования

Размерность системы	Название системы *опробования*	Пример систем опробования
1	Линия-створ	Система точек отбора образцов (полевых испытаний свойств пород в одной выработке, по глубине). Система мест проведения полевых опытов в выработках, расположенных на створе, причем в каждой выработке проводят одно испытание
2	Плоская сетка	Система отбора образцов пород из выработок, расположенных на створе, а также система отбора бороздовых проб в выработках, расположенных на створе (опробование плоскостей разрезов $\xi_1\xi_3$ или $\xi_2\xi_3$)*. Система полевых испытаний в выработках, размещенных по сетке при условии выполнения одного испытания в каждой выработке (опробование плоскости среза $\xi_1\xi_2$)
3	Объемная решетка	Система точек отбора образцов из горно-буровых выработок, расположенных по сетке. Система точек опробования пород динамическим или статическим зондированием при условии расположения зондировочных скважин по сетке

* ξ_3 — направление по мощности и глубине.

Для выбранных систем опробования устанавливают параметры, т. е. расстояние между соседними точками измерения показателей свойств пород.

Для двухмерной системы, расположенной в плоскости $\xi_1\xi_2$, и для трехмерной системы следует устанавливать два шага опробования: 1) по направлению сноса $\Delta\xi_1$, под которым понимают расстояние между соседними точками измерения в главном направлении максимальной изменчивости, и 2) *вдоль фронта сноса* $\Delta\xi_2$ — *расстояние между соседними* точками измерения показателей свойств в главном направлении минимальной изменчивости.

Для систем опробования, ориентированных в плоскости разреза, а также для трехмерных пространственных систем опробования определяют интервал опробования $\Delta\xi_3$ — расстояние между соседними точками отбора образцов или точками проведения полевых опытов по мощности опробуемого геологического тела, т. е. по глубине.

Опробование пород, проводимое в рамках мелкомасштабной инженерно-геологической съемки, сосредоточивают на ключевых участках. Местоположение последних устанавливают путем использования критериев типичности, рассматриваемых ниже. В труднодоступных районах (горные и горно-таежные области, заболоченные и залесенные территории), для которых пока не разработаны скоростные методы, используемые при рекогносцировочных работах, местоположение ключевых участков выбирают на основе анализа данных об инженерно-геологических условиях, получаемых в ходе картирования. Для этого применяется способ последовательного сгущения сети ключевых участков.

Системы опробования пород в пределах выделенных ключевых участков устанавливают исходя из следующих геолого-математических принципов:

1) любые, равные по объему части выделенного геологического тела, статистически однородного* по исследуемому показателю свойств, должны быть охарактеризованы одинаковым числом измерений; 2) системы опробования устанавливают отдельно для каждого, выделенного по принятым критериям, геологического тела, исходя из его изменчивости по исследуемому показателю и из принятого уровня значимости; 3) ориентировка систем опробования должна соответствовать главным направлениям изменчивости; 4) чем больше анизотропия пород, тем значительнее отличия величин параметров систем опробования в трех главных направлениях изменчивости ξ_1, ξ_2, ξ_3.

Как указывалось выше, инженерно-геологическое опробование начинают с проведения рекогносцировочных работ, в результате которых устанавливается оптимальная система опробования, отвечающая пространственной изменчивости пород, заданным точности и уровню значимости. Достижение указанной главной цели рекогносцировочных работ предполагает последовательное решение ряда задач (табл. 17).

Выделение геологических тел проводят в процессе съемочных работ на основании анализа данных, полученных в результате применения

Таблица 17

Содержание рекогносцировочных работ при инженерно-геологическом опробовании

Цель	Задача	Методы
Установление границ систем опробования	Выделение геологических тел	Анализ литературных и архивных материалов. Набор методов, используемых при инженерно-геологической съемке: ландшафтно-индикационный метод; геофизические методы определения свойств пород
Определение ориентировки систем опробования	Установление главных направлений изменчивости	Анализ геологических материалов. Геофизические методы исследования. Скоростные методы исследования состава и свойств пород (предпочтительнее методы, реализуемые без предварительной проходки горно-буровых выработок, такие, как пенетрация)
Расчет отношения параметров систем опробования и их величины	Получение статистических показателей, характеризующих изменчивость исследуемых свойств пород и меры их рассеяния	Скоростные методы определения состава и свойств пород — динамическая и статическая пенетрация, пенетрационно-каротажные методы, прессиометрия, искриметрия. Скоростные методы проходки горно-буровых выработок, экспрессные методы определения состава и свойств пород в поле, в условиях полевой лаборатории

* Статистическая однородность означает отсутствие тенденции в изменении показателя в каком-либо направлении. Об однородности свидетельствуют незначительные различия между средними значениями показателя, подсчитанными для различных участков одного геологического тела.

различных методов, начиная с ландшафтно-индикационного и кончая горно-буровыми работами.

При мелкомасштабной инженерно-геологической съемке нельзя охарактеризовать все породы стратиграфо-генетического комплекса одним средним значением показателя и поэтому необходимо на ключевых участках разделить комплекс на геологические тела более низкой категории, например петрографические типы.

Таким образом, в процессе мелкомасштабных съемочных работ должны быть выделены и опробованы на ключевых участках такие геологические тела, которые можно охарактеризовать едиными показателями свойств. Определяются в основном классификационные, а также и некоторые комплексные показатели (сопротивление резанию, показатели пенетрации, предельное напряжение сдвига и др.). Их используют для характеристики пространственной изменчивости свойств пород и анизотропии выделенных геологических тел по мерам рассеяния показателей свойств. В свою очередь, определение режима пространственной изменчивости свойств пород в главных направлениях и характеристика анизотропии полей показателей свойств нужны для проверки правильности выделения геологических тел другими методами, применяемыми при картировании и для расчета параметров систем опробования.

ОБЩАЯ МЕТОДИКА РАБОТ ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ОПРОБОВАНИЮ ПОРОД

Работы по опробованию начинаются после того, как по данным других методов, выполняемых в рамках инженерно-геологической съемки, выделены геологические тела и на основании анализа геологических материалов намечены главные направления изменчивости свойств пород.

Работы по опробованию сосредоточиваются в пределах выделенных геологических тел на взаимно перпендикулярных створах, ориентированных по главным направлениям изменчивости.

Такие направления для пород делювиального, ледникового, эолового, морского и аллювиального происхождения, имеющих сплошное распространение на больших территориях, устанавливаются на основании анализа геологических данных по истории развития территории. Анализ геологических данных позволяет установить области питания и направления транспортировки материала. Успешному решению этой задачи способствуют составленные для ряда районов мелкомасштабные литологические карты.

Для элювия покровных отложений и образований проблематичного происхождения, а также в случае пестрого залегания пород различного генезиса в виде мелких разобщенных геологических тел установление главных направлений изменчивости может представить определенные трудности.

В этом случае для характеризуемых при инженерно-геологической съемке геологических тел следует попытаться установить направление, в котором классификационный показатель изменяется наиболее интенсивно, т. е. имеет максимальный градиент. Для этого на этапе рекогносцировочных исследований по опробованию потребуется проведение некоторого предусмотренного проектом дополнительного объема работ скоростными методами. Применяют способ «вращения» створа вокруг некоторой точки в центре исследуемого геологического тела. Створ скважин или створ полевых опытных работ (например, створ ВЭЗов или пенетрационных испытаний) поворачивают на 45° относительно первоначального и подсчитывают средние значения градиента исследуемого показателя свойств. Максимальное значение градиента отвечает главному направлению максимальной изменчивости ξ_1.

После установления главных направлений изменчивости работы по опробованию ведут на створах, ориентированных по главным направлениям. В каждой точке створа (в горно-буровой выработке, в пенетрационной скважине или в точке опробования пород каким-либо другим полевым методом) проводят определение исследуемого показателя свойств состава или состояния пород по глубине (по направлению ξ_3).

В том случае, если на территории съемки залегают небольшие по площади и сложные по конфигурации геологические тела, включающие породы разного генезиса, створ может иметь форму ломаной линии, секущей геологические тела по главным для этих тел направлениям изменчивости. После получения данных экспериментальных работ производят обработку результатов испытаний пород в каждой точке створа с целью выделения по глубине границ геологических тел (слоев, линз), в пределах которых изменение исследуемого показателя свойств по мощности является стационарным. Стационарный режим изменчивости свойств пород предполагает по крайней мере постоянство среднего значения показателя и его дисперсии в пределах выделенного геологического тела.

По графику изменения с глубиной исследуемого показателя свойств вида $R=f(\xi_3)$ или $\Sigma R=\Phi(\xi_3)$, где R — показатель свойств пород, а ξ_3 — направление по мощности породы, производят визуальное расчленение разреза на геологические тела (слои, линзы, залежи, в пределах которых значение показателя можно считать постоянным). При этом для каждого выделенного геологического тела рассчитывают средние значения и средние квадратические отклонения; уточняют правильность визуального расчленения пород на геологические тела путем оценки различия дисперсий и средних значений показателя.

Правильность визуального расчленения разреза пород в каждой точке опробуемого створа можно проверить с помощью других статистических критериев (χ^2, критерия $V_к$, предложенного Д. А. Родионовым).

После проведения указанной обработки получают для каждой точки створа формализованные колонки, на которых местоположение границ выделенных геологических тел установлено с принятыми точностью и доверительным уровнем. По колонкам составляют инженерно-геологический разрез, используя метод итераций. Сущность последнего заключается: 1) в составлении инженерно-геологического разреза по формализованным геологическим колонкам обычным полевым способом; 2) в проверке правильности установления границ геологических тел при помощи статистических критериев; 3) в корректировке первоначального разреза на основании проведенного статистического анализа данных и геологических условий.

После получения инженерно-геологических разрезов опробуемых створов, ориентированных по главным направлениям изменчивости, составляют графики изменения вдоль створов средних значений показателей и их стандартов вида $\bar{R}=f(\xi_1$ или $\xi_2)$ и $\sigma_R=f(\xi_1$ или $\xi_2)$ для всех выделенных геологических тел (рис. 6). Эти графики необходимы для установления: 1) режимов пространственной изменчивости показателей свойств пород; 2) ключевых участков—эталонов, на которых исследуемый показатель свойств является типичным.

Если в результате анализа графиков изменения вдоль створов средних значений показателей и их стандартов установлено, что эти характеристики удовлетворяют условию $\bar{R}=(\xi_2$ или $\xi_1)=\text{const}$ и $\sigma_R=(\xi_1$ или $\xi_2)=\text{const}$, то режим изменчивости исследуемого показателя вдоль соответствующего створа можно считать стационарным.

В сомнительных случаях, когда предполагается какая-либо тенденция в пространственной изменчивости показателя, можно использовать

ряд критериев (скачков, знаков, коэффициент ранговой корреляции и др.). Если по главному направлению максимальной изменчивости установлен нестационарный режим изменчивости показателя свойств пород, то исследуемое геологическое тело следует разбить на зоны, внутри которых поле показателя можно считать квазиоднородным (т. е.

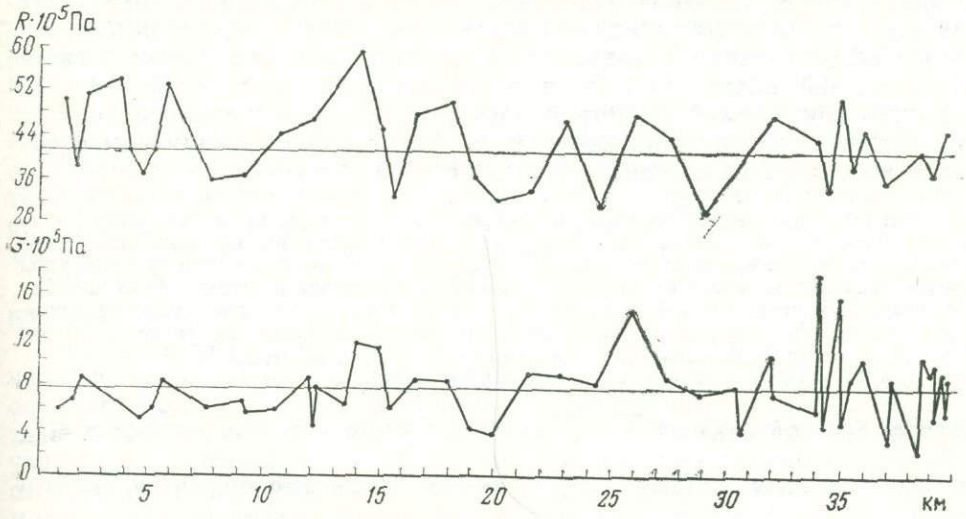


Рис. 6. Измерение средних значений R (удельных динамических сопротивлений пенетрации) и средних квадратических отклонений σ для лёссов верхнего горизонта ташкентской серии

режим изменчивости этого показателя во всех направлениях будет стационарным). Ширину зоны квазиоднородного поля l_ξ получают из выражения

$$l_\xi = \xi \frac{2\sigma_{\bar{R}}}{\bar{R}_n - \bar{R}_0},$$

где ξ — длина створа по направлению ξ_1 в пределах опробуемого геологического тела; $\sigma_{\bar{R}}$ — стандартное отклонение средних по створу значений показателя свойств; $\bar{R}_0$, $\bar{R}_n$ — средние значения показателя свойств породы на начальном и конечном участках исследуемого створа (рис. 7).

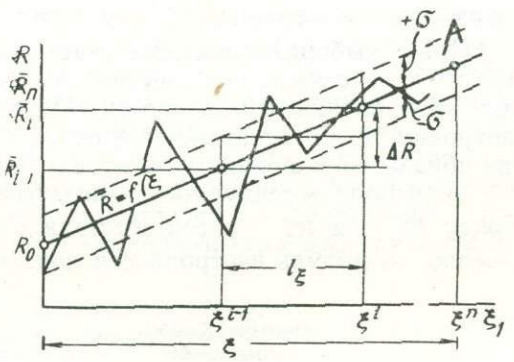


Рис 7. Определение ширины зоны квазиоднородного поля при нестационарной изменчивости показателя

Определив ширину зоны квазиоднородного поля, легко найти число зон, а следовательно, и минимальное число ключевых участков-эталонов, на которых проводится изучение свойств пород и для которых в приложении к карте приводят обобщенные показатели свойств. Если в результате рекогносцировочных работ получены данные об изменении показателей свойств в главных направлениях, с достаточной точностью аппроксимирующие их природную изменчивость в пределах опробуемого геологического тела, то можно вести опробование пород только на одном ключевом участке, но в табличных приложениях следует показать аппроксимирующую функцию и привести обобщенное значение по-

казателя и координаты центра ключевого участка, а также главные направления изменчивости.

По графикам изменения вдоль створов средних значений показателей свойств пород и их дисперсий можно провести визуальную оценку типичности данных об изменчивости показателей, а следовательно, и выбрать местоположение ключевого участка. Величины показателя свойств породы будут типичными в том случае, если в пределах выбранного участка створа: 1) сохраняется характер изменения оценок средних значений показателя; 2) отсутствуют резкие аномалии частных значений показателей свойств пород; 3) амплитуда и частота колебаний частных значений показателей не отличаются от амплитуды и частоты колебаний на соседних участках створа.

Наряду с визуальной оценкой типичности участка створа по исследуемому показателю свойств для выбора положения ключевого участка можно применить более строгие, статистические критерии. В соответствии с этим различие между размахами оценок среднего значения по створу и на выбранном участке должно быть несущественным. При стационарной изменчивости свойств пород в качестве критерия типичности можно использовать условия несущественности различия дисперсий и оценок средних значений показателей на выбранном участке $\overline{R_i}$ и на створе $\overline{R}$.

Анализ существенности различия дисперсий проводят с использованием критерия Фишера. Критерий различия $\overline{R_i}$ и $\overline{R}$ имеет следующее выражение: $\frac{\overline{R_i}-\overline{R}}{S_{\overline{R_i}}} \leqslant t_\alpha$, где t_α — табличная величина, а $S_{\overline{R_i}}$ — оценка стандартного отклонения величины $\overline{R_i}$.

Если подсчитанное значение $t=\frac{\overline{R_i}-\overline{R}}{S_{\overline{R_i}}}<t_{0,5}$, то различие между оценками средних значений показателя несущественно; при $t>t_{0,5}$ гипотезу о несущественности различия оценок средних значений показателя свойств следует отвергнуть применительно к рассматриваемому случаю. Это означает, что участок намечаемого расположения ключевого участка не является типичным относительно исследуемого показателя свойств породы и следует выбрать другой участок в пределах выделенного геологического тела.

Существенность (или несущественность) различия средних значений на створе $\overline{R}$ и в пределах выбранного участка R_i можно также проверить с помощью критерия.

После выбора положения участка определяют анизотропию характеристик рассеяния показателей свойств породы относительно главных направлений изменчивости. Мерой анизотропии является модуль изотропности, представляющий собой отношение характеристик рассеяния показателей в главных направлениях изменчивости.

Если поле исследуемого показателя однородно, т. е. если различие между $\overline{R}_{\xi_1}$ и $\overline{R}_{\xi_2}$ в соответствии с принятыми критериями несущественно, то модуль изотропности подсчитывают по выражению

$$G(R)^{\sigma}{}_{\xi_1/\xi_2}=\frac{\sigma_{R\xi_1}}{\sigma_{R\xi_2}},$$

где $G(R)$ — модуль изотропности показателя свойств R, подсчитанный как отношение стандартных отклонений этого показателя в главных направлениях изменчивости $\sigma_{R\xi_1}$ и $\sigma_{R\xi_2}$.

Если оценки средних значений показателя в главных направлениях отличаются между собой, то модуль изотропности подсчитывают по коэффициентам изменчивости показателя свойств в главных направлениях $V_{R\xi_1}$ и $V_{R\xi_2}$.

$$G(R)^{V}{}_{\xi_1/\xi_2}=\frac{V_{R\xi_1}}{V_{R\xi_2}}.$$

Для расчета модуля изотропности используют меры рассеяния исследуемого показателя свойств пород, полученные в результате обработки данных определения показателей свойств пород на взаимно перпендикулярных створах.

Если рекогносцировочные работы по опробованию на створах провести не удалось (труднодоступные территории) и положение ключевого участка установлено по геологическим соображениям, то для расчета параметров систем опробования нужно получить исходные данные о свойствах пород опробуемого геологического тела. С этой целью на ключевом участке разбивают взаимно перпендикулярные створы, ориентированные по главным направлениям изменчивости, и опробуют их скоростными методами*. Получаемые при этом результаты испытаний свойств пород используют для проверки режима пространственной изменчивости показателя свойств опробуемых пород, а также для подсчета параметров сети опробования.

Расчет параметров сети опробования производят в следующем порядке.

1. Определяют тем или иным способом необходимое число испытаний (полевых опытов по определению свойств пород и лабораторных определений). Для этого используются простейшие модификации метода доверительных пределов, последовательного анализа или другие упрощенные методы. В частности, при нормальном распределении исследуемого показателя свойств пород необходимое число испытаний можно устанавливать, используя таблицу достаточно больших чисел (табл. 9 прилож. V).

В руководствах по математической статистике приводятся также номограммы достаточно больших чисел, составленные для различных доверительных вероятностей. На рис. 8 приведена номограмма для доверительной вероятности 0,9. Для определения числа испытаний по номограмме соединяют прямой линией нужные точки шкал коэффициента изменчивости и показателя точности и по шкале числа испытаний находят необходимый объем выборки.

Для определения числа испытаний по таблицам достаточно больших чисел или номограммам необходимо заранее знать меры рассеяния исследуемого показателя свойств, коэффициент изменчивости или дисперсию. Как указывалось выше, эти статистические характеристики определяют в процессе рекогносцировочных работ на створах (в пределах исследуемого геологического тела или на ключевом участке). Для оценки изменчивости некоторых классификационных показателей можно воспользоваться следующими данными об их изменчивости, полученными на основании обобщения большого объема экспериментальных данных:

Показатель	Коэффициент изменчивости, %
Плотность	До 1,5
Объемная масса скелета грунта	2—5
Естественная влажность	10—15
Показатели пластичности (предел текучести, предел раскатывания)	20—30

* Если главные направления изменчивости установить не удалось, то створы ориентируют по направлениям, отвечающим наибольшему и наименьшему градиентам показателя, т. е. направлениям, в которых наиболее быстро и наиболее медленно изменяется показатель.

Для установления необходимого числа определений свойств пород n можно использовать формулу.

$$n = \frac{t^2_\alpha \sigma^2}{\Delta^2} = \frac{t^2_\alpha V^2}{\rho^2},$$

где t_α — нормированное отклонение (для вероятностей 0,9; 0,95 имеет соответственно значения 1,65; 1,96); σ^2 — дисперсия; V — коэффициент изменчивости; Δ — абсолютная ошибка определения среднего значения показателя; ρ — показатель точности.

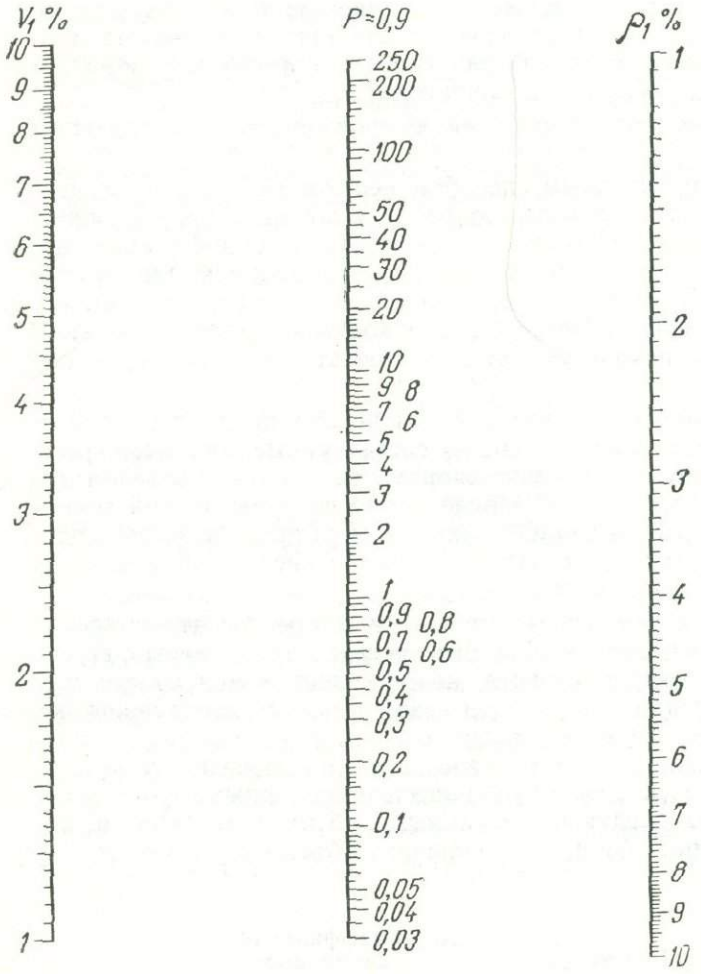


Рис. 8. Номограмма достаточно больших чисел для доверительной вероятности

В ходе испытаний пород (полевыми или лабораторными методами) следует проводить контроль достаточности числа определений с помощью последовательного анализа (Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород, 1968).

2. После установления числа определений рассчитывают параметры двухмерной системы опробования, ориентированной в горизонтальной плоскости ξ_1, ξ_2. Для расчета шага опробования по направлению сноса $\Delta\xi_1$ и шага опробования вдоль фронта сноса $\Delta\xi_2$ используют формулы:

$$\Delta\xi_1 = \frac{L_{\xi_1}}{\sqrt{n}} \frac{1}{G(R)\sigma_{\xi_1/\xi_2}};$$

$$\Delta\xi_2 = \frac{L_{\xi_2}}{\sqrt{n}} G(R)^{\sigma}_{\xi_1/\xi_2},$$

где L_{ξ_1}, L_{ξ_2} — линейные размеры опробуемого геологического тела по главным направлениям изменчивости; n — число испытаний; $G(R)^{\sigma}_{\xi_1/\xi_2}$ — модуль изотропности.

Получив необходимые параметры, разбивают систему опробования на местности, ориентируя ее в соответствии с главными направлениями изменчивости.

Если в разрезе опробуемого участка выделено два, три геологических тела и более, то расчет системы опробования производят для каждого геологического тела, а затем рассчитывают модули изотропности и число испытаний для каждого выделенного геологического тела, после чего анализируют полученные данные, выбирая наиболее неблагоприятные.

Если при проведении детальных работ по опробованию применяют полевые методы, позволяющие практически непрерывно определять показатели свойств пород по глубине (динамическое и статическое зондирование, искиметрия), то до обработки данных полевых испытаний вопрос об интервале опробования не возникает. При использовании методов определения свойств пород по глубине в дискретных точках геологического тела кроме шагов опробования $\Delta\xi_1$ и $\Delta\xi_2$ следует определить интервал опробования $\Delta\xi_3$. Выражения для определения параметров трехмерной системы опробования имеют следующий вид:

$$\Delta\xi_1 = \frac{L_{\xi_1}}{\sqrt[3]{n\,[G(R)^{\sigma}_{\xi_1/\xi_3}]^2\,[G(R)^{\sigma}_{\xi_1/\xi_2}]^2}} \quad \text{или} \quad \Delta\xi_1 = \frac{L_{\xi_1}}{\sqrt[3]{n\dfrac{D^2_{\xi_1}}{D_{\xi_2} D_{\xi_3}}}};$$

$$\Delta\xi_2 = \frac{L_{\xi_2}}{\sqrt[3]{n\,[G(R)^{\sigma}_{\xi_2/\xi_3}]^2 \dfrac{1}{[G(R)^{\sigma}_{\xi_1/\xi_2}]^2}}} \quad \text{или} \quad \Delta\xi_2 = \frac{L_{\xi_2}}{\sqrt[3]{n\dfrac{D^2_{\xi_2}}{D_{\xi_1} D_{\xi_3}}}};$$

$$\Delta\xi_3 = \frac{L_{\xi_3}}{\sqrt[3]{\dfrac{n}{[G(R)^{\sigma}_{\xi_1/\xi_3}]^2\,[G(R)^{\sigma}_{\xi_2/\xi_3}]^2}}} \quad \text{или} \quad \Delta\xi_3 = \frac{L_{\xi_3}}{\sqrt[3]{n\dfrac{D^2_{\xi_3}}{D_{\xi_1} D_{\xi_2}}}},$$

где n — число испытаний; L_{ξ_1}, L_{ξ_2}, L_{ξ_3} — размеры опробуемого геологического тела в характерных направлениях изменчивости; $G(R)^{\sigma}_{\xi_1/\xi_2}$, $G(R)^{\sigma}_{\xi_1/\xi_3}$, $G(R)^{\sigma}_{\xi_2/\xi_3}$ — соответственно модули изотропности показателя R в сечениях геологического тела горизонтальной плоскостью среза ($\xi_1\xi_2$) и вертикальными плоскостями разрезов ($\xi_1\xi_3$ и $\xi_2\xi_3$), ориентированными вдоль главных направлений; D_{ξ_1}, D_{ξ_2}, D_{ξ_3} — дисперсии опробуемого показателя в характерных направлениях изменчивости.

Трехмерную систему опробования применяют для крупных геологических тел, занимающих значительную площадь и имеющих достаточно большую мощность (например, область лёссового плато или сплошной чехол моренных отложений). При дискретном опробовании пород в горно-буровых выработках, лежащих по створу, или в нескольких обнажениях, расположенных вдоль направлений ξ_1 или ξ_2, реализуют двухмерную систему опробования, ориентированную в плоскости вертикального сечения геологического тела, т. е. в плоскостях разрезов (плоскости $\xi_1\xi_3$ и $\xi_2\xi_3$).

Расчет систем опробования при этом следует проводить по формулам двухмерной системы опробования, рассмотренным выше.

Таблица 18

Характеристика скоростных методов определения свойств пород

Горные породы	Скоростные методы	Показатели свойств	Назначение метода
Песчаные и глинистые, в том числе песчано-гравийные и песчано-галечные отложения, а также глинисто-щебнистые породы (не содержащие крупных валунов)	Динамическое зондирование	Удельное динамическое сопротивление σ. Число ударов на 10 см погружения зонда (условное сопротивление пенетрации) N	1. Установление главных направлений изменчивости. 2. Уточнение границ выделенных геологических тел. 3. Расчленение разреза пород на однородные тела. 4. Характеристика изменчивости опробуемой породы по комплексу показателей, связанных с показателями динамической пенетрации (объемная масса, сжимаемость, консистенция). 5. Определение показателей некоторых свойств опробуемых пород: объемной массы песков, сжимаемости песчаных и глинистых пород, консистенции глин (при условии предварительного проведения тарировочных работ)
Немерзлые глинистые породы и песчаные породы рыхлые и средней плотности	Статическое зондирование	Удельное статическое сопротивление пенетрации ω	То же
То же	Комплекс пенетрационно-каротажных методов	Удельное статическое сопротивление пенетрации. Набор параметров, характеризующих интенсивность ядерных излучений (естественных и наведенных)	Пункты 1—4 те же. 5. Определение объемной массы, естественной влажности, содержания глинистых частиц в песчаных породах, некоторых показателей механических свойств пород
Песчаные и глинистые	Искиметрирование буровых скважин, а также стенок шурфов и расчисток	Сопротивление резанию $\tau_{рез}$	1. Расчленение разреза пород на однородные слои по сопротивлению резанию 2. Вычисление параметров прочности глинистых пород (временного сопротивления сжатию по корреляции с прочностью на одноосное сжатие)

Продолжение табл. 18

Горные породы	Скоростные методы	Показатели свойств	Назначение метода
Пластичные и глинистые породы, не содержащие крупнообломочного материала	Крыльчатое зондирование пород в буровых скважинах и на поверхности обнаженных пород (в шурфах и расчистках)	Сопротивление сдвигу τ	1. Определение сопротивления сдвигу τ и параметров сдвига φ и C (только при помощи специальных конструкций крыльчаток, позволяющих создавать различное нормальное давление к поверхности среза). 2. Определение сжимаемости глинистых пород. 3. Определение показателя структурной прочности глинистых пород (α)
Глинистые и песчаные породы, полускальные грунты	Прессиометрия пород в буровых скважинах	Модуль деформации, предельная нагрузка	Определение механических свойств пород
Немерзлые песчаные породы рыхлые и средней плотности, пластичные глинистые породы	Микропенетрация	Относительная характеристика свойств песчаных пород (глубина погружения конуса). Предельное напряжение сдвига глинистых пород	1. Расчленение разреза пород на однородные тела в горных выработках и при опробовании обнажений. 2. Характеристика изменчивости пород по направлению мощности по ξ_3
Песчаные и глинистые породы	Метод рассеянного гамма-излучения (при использовании ручного гамма-плотномера)	Интенсивность рассеянного гамма-излучения	То же, что и микропенетрация (см. п. п. 1 и 2). 3. Определение объемной массы рыхлых пород
То же	Метод рассеянного нейтронного излучения	Интенсивность рассеянного нейтронного излучения	То же, что и микропенетрация (см. п. п. 1 и 2). 3. Определение естественной влажности пород

При опробовании системы обнажений следует руководствоваться следующими требованиями:

1. Для опробования следует выбирать по возможности такие обнажения, совокупность которых образует систему, расположенную вдоль створа, с ориентировкой, близкой к одному из главных направлений изменчивости (ξ_1 или ξ_2).

2. Расстояния между опробуемыми обнажениями должны быть по возможности более или менее одинаковыми.

3. При наличии больших разрывов в системе опробуемых обнажений систему следует дополнить отдельными выработками или кустами горно-буровых выработок (кустами точек проведения скоростных испытаний), расположенными в местах больших разрывов таким образом, чтобы расстояния между соседними обнажениями и кустами выработок (кустами полевых испытаний) были по возможности одинаковыми.

В табл. 18 приведены некоторые данные об условиях применения скоростных полевых методов определения свойств пород при рекогносцировочных работах по опробованию. При наличии технических средств обеспечивающих скоростную проходку горно-буровых выработок при рекогносцировочных работах по опробованию, для определения свойств пород можно применить также экспресс-методы лабораторных испытаний, осуществляемых непосредственно у места отбора образцов (определение объемной массы песчано-глинистых пород, прочности пород на приборе одноосного сжатия и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 10

1. *Бондарик Г. К.* Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. М., «Недра», 1971. 272 с.
2. *Коломенский Н. В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968. 342 с.
3. *Методическое* пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Под ред. Е. М. Сергеева. Т. I. М., Изд-во МГУ, 1968. 347 с.

Глава 11

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Геофизические исследования должны проводиться на всех этапах и стадиях инженерно-геологической съемки, начиная с проектирования и кончая составлением отчета, в тесной увязке с другими видами съемочных работ.

При постановке геофизических работ необходимо руководствоваться положениями, изложенными в методическом руководстве («Методы геофизики...», 1972), а также учитывать следующие обстоятельства: 1) большой интерес при инженерно-геологической съемке представляет изучение петрографического состава и свойств приповерхностных отложений до глубины 15—20 м; это обстоятельство наряду с повышенной вертикальной и горизонтальной изменчивостью указанных параметров предъявляет особые требования к разрешающей способности методов геофизики; 2) повышенная изменчивость состава, состояния и свойств горных пород в плане требует увеличения густоты точек геофизических наблюдений вплоть до перехода к непрерывным измерениям, проводимым в процессе движения измерительных установок; 3) требования к снижению стоимости съемочных работ определяют условия применения полевой геофизики в отношении ее информативности, производительности, трудоемкости и мобильности.

Перечисленные обстоятельства наряду с конкретной геологической и ландшафтной ситуацией района исследований, а также этапом (стадией) съемочных работ определяют выбор как отдельных геофизических методов, так и их комплексов. Наиболее широкий набор геофизических методов используется на предполевом (включая проектирование) этапе съемочных исследований, путем систематизации, анализа и в необходимых случаях переинтерпретации и переосмысливания имеющихся материалов всех видов предшествовавших геофизических работ различного назначения: электроразведки, сейсморазведки, грави- и магниторазведки, а также каротажных работ.

Использование готовых геофизических материалов в сочетании с материалами дешифрования аэрофотоснимков и с общегеологическими и гидрогеологическими данными позволяет строить предварительные карты и разрезы, районировать территорию съемки по условиям при-

менимости тех или иных геофизических методов, предварительно намечать местоположение и число ключевых участков и опорных маршрутов.

При проведении съемки в труднодоступных северных, восточных, а также пустынных районах весьма эффективными и экономичными будут аэрогеофизические работы, которые в той или иной мере должны сочетаться с аэровизуальными ландшафтными исследованиями. Из числа аэрогеофизических методов при инженерно-геологической съемке наиболее перспективны радиоволновые методы исследования, использующие поля удаленных широковещательных станций, а в некоторых случаях и поля специальных автономных радиопередатчиков (Черняк, Мясковский, 1973). Осложняющим обстоятельством является отсутствие серийно выпускаемой аппаратуры. Однако для простейшего из этих методов — радиокип — аппаратура может быть собрана в условиях партий и экспедиций из стандартных блоков.

При выполнении наземных маршрутных исследований основными являются методы электропрофилирования с электроразведочной станцией ПСПВ-А, а в переносном варианте — с автокомпенсатором ЭСК-1 или аппаратурой ИКС-1. В некоторых случаях положительные результаты дает электромагнитное профилирование с аппаратурой ДЭМП. В условиях равнинного ландшафта могут быть использованы наземные методы непрерывного радиоволнового профилирования в движении, обладающие очень высокой производительностью.

Наиболее результативны геофизические исследования на ключевых участках, где с их помощью может проводиться изучение геологического строения, гидрогеологических и геокриологических условий, современных геодинамических процессов и, наконец, физико-механических свойств горных пород в условиях их естественного залегания.

При работах на ключевых участках следует использовать главным образом различные модификации электроразведки методами сопротивления, естественной и вызванной поляризации при постоянном токе (ВЭЗ, ЭП, ВЭЗ, ВП, ЕП и т. п.), а также сейсморазведку на продольных и поперечных волнах (обычно КМПВ) с невзрывными источниками возбуждения упругих колебаний. Эти методы обеспечены серийно выпускаемой аппаратурой, весьма информативны и в то же время достаточно экономичны. Вместе с тем в некоторых благоприятных случаях, например при изучении зон тектонических нарушений, в открытых районах следует использовать магниторазведку. В любых условиях необходимо широко использовать каротаж скважин, в том числе и мелких сухих. При этом наряду со стандартным комплексом (КС и ПС) следует применять сейсмоакустический (сейсмический и ультразвуковой) каротаж.

При выполнении сейсмических работ во всех условиях, где это возможно, следует использовать многоканальные станции с осциллографической записью (серийных станций Поиск-1-24-МОВ-ОВ, Поиск-1-6/12-АСМ-ОВ и т. д.). Применение одноканальной аппаратуры типа ОСУ-1 может быть рекомендовано лишь в труднодоступных районах.

Возбуждение и регистрация продольных волн производятся вертикальными ударами и вертикальными сейсмоприемниками (схема z—z). Возбуждение и регистрация поперечных волн SH осуществляются горизонтальными ударами и горизонтально расположенными сейсмоприемниками (рис. 9) в плоскостях, перпендикулярных линии профиля (схема y—y). Применяется, как правило, продольное профилирование с широким использованием встречных и нагоняющих систем. Густота расстановки сейсмоприемников определяется задачами и глубинностью исследований, но обычно не превосходит 5 м. Основы методики сейсмических работ по КМПВ, а также интерпретация полученных материалов изложены в книге Г. А. Гамбурцева (1952), а особенности методики

и интерпретации данных сейсморазведки при инженерно-геологических исследованиях — в работах Н. Н. Горяинова (1971), А. И. Савича и др. (1969), Ф. М. Ляховицкого (1970).

Для работ методом ВП можно использовать любую серийно выпускаемую аппаратуру, в том числе облегченную типа ВПП-67 и «Енисей».

При выполнении ВЭЗ, электропрофилирования и работ методом естественного поля используется та же аппаратура, что и при маршрутных исследованиях. Необходимость детального изучения верхней части геологического разреза требует некоторого сгущения против обычной схемы разносов ВЭЗ, а именно: AB/2-1; 1,5; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 11; 13; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 90; 110; 150; 225; 340; 500 м и ис-

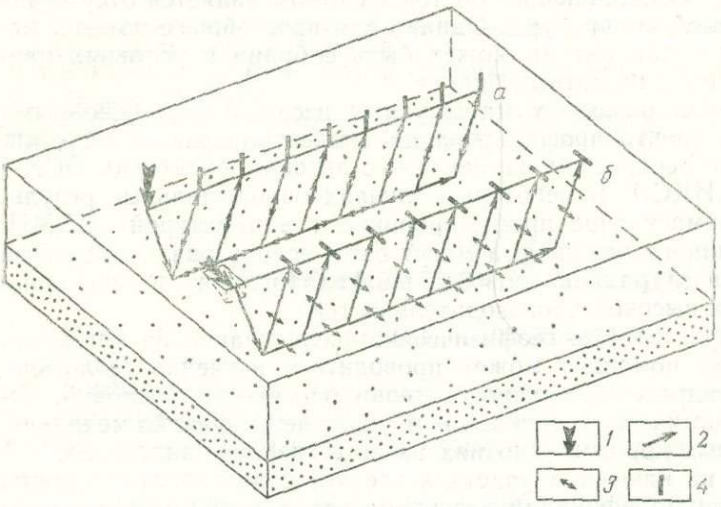


Рис. 9. Схема возбуждения, регистрации и распространения продольных (*а*) и поперечных (*б*) преломленных волн:

Направление: *1* — возбуждения колебаний, *2* — распространения волны, *3* — колебаний; *4* — сейсмоприемник

пользования установки Шлюмберже. При выполнении ВЭЗ ВП следует пользоваться установкой Веннера (MN-1/3 AB) при указанных разносах AB/2.

В последующих параграфах дается краткое описание методики геофизических работ применительно к решению задач, наиболее часто встречающихся при инженерно-геологических съемках. Следует подчеркнуть, что геофизические исследования на любых этапах и стадиях съемочных работ должны тесным образом комплексироваться со всеми другими видами проводимых в данных условиях исследований.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ

В настоящее время по территории СССР накоплены обширные геофизические данные, связанные с региональным геологическим изучением ее, при поисках и разведке нефтяных, угольных и других месторождений, а также при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. Эти материалы должны быть изучены и определенным образом переосмыслены с позиций решаемых задач при инженерно-геологических съемках. Наиболее обширные данные имеются по изучению тектоники и петрографическому расчленению разреза. При этом основное внимание следует уделять условиям и результатам, связанным с изучением приповерхностной части разреза. Известно, что даже при глубинных исследованиях геофизики, как правило, изучают и неглубокие горизонты, поскольку в этих пределах геофизические параметры (и связанные с ними поля) меняются достаточно резко, осложняя глубинный эффект. Таким образом, то, что часто для глубинной

разведки является помехой, может служить очень важным источником информации для инженерно-геологических съемок.

Изучение и использование готовых материалов осуществляется следующим образом. После ознакомления с геологическими, гидрогеологическими, геокриологическими и инженерно-геологическими материалами геофизик приступает к рассмотрению геофизических данных, используя при этом опубликованные и фондовые материалы. Изучаются геоэлектрический разрез, особенности кривых ВЭЗ и графиков электропрофилирования (ЭП) в характерных условиях района, исследуются сейсмогеологические условия, определяется природа гравимагнитных аномалий. Последнее особенно важно при работе в открытых районах, где породы фундамента залегают на небольшой глубине. По данным полевых параметрических наблюдений и результатам лабораторных исследований выявляется характер изменения физических свойств пород в зависимости от их состава, интенсивности выветривания, трещиноватости, обводненности, степени минерализации подземных вод, температуры, рельефа местности, глубины залегания, тектонической активности участка и других природных факторов. Специально рассматривается вопрос о точности и достоверности геофизических построений при решении задач, имеющих отношение к планируемым инженерно-геологическим исследованиям. Основное внимание уделяется каротажу, электро- и сейсморазведке.

Среди собираемых каротажных материалов важнейшими являются диаграммы стандартного каротажа, а в условиях многолетней мерзлоты — и термокаротажа. В обязательном порядке анализируются каротажные диаграммы гидрогеологических скважин. Основное назначение анализа материалов каротажа заключается в расчленении геологического разреза на горизонты различного петрографического состава, выделении массивных и трещиноватых пород, прослеживании водовмещающих и водоупорных толщ, оценке удельного электрического сопротивления ρ для обоснования последующей интерпретации материалов электроразведки. Очень важно провести сравнение величины ρ с минерализацией водовмещающих пород и их коэффициентом фильтрации K_f (или водообильностью). Это позволит в дальнейшем по данным ВЭЗ сделать прогнозную оценку минерализации подземных вод и фильтрационных свойств пород.

Одновременно оформляется план расположения геофизических наблюдений; здесь же следует показать скважины, шурфы и параметрические ВЭЗ на обнажениях. Представляют также интерес сводные карты или разрезы с результатами качественной (разрезы и карты кажущихся сопротивлений, карты продольной проводимости S) и количественной (с отображением гипсометрии важнейших маркирующих горизонтов, особенно когда последние увязываются с гидрогеологическими горизонтами или границами раздела физико-механических свойств горных пород) интерпретацией.

Геоэлектрические и другие свойства пород охарактеризованы в целом ряде изданий (Кобранова, 1962; Справочник геофизика, т. I, 1960; Черняк, 1969; Физические свойства осадочного покрова, 1967; Дортман, 1964; Методы геофизики, 1972; Огильви, 1962 и др.).

При изучении открытых и полуоткрытых районов материалы ранее выполненной здесь электроразведки необходимо использовать для оценки мощности нелитифицированных отложений, изучения состава скального основания и прослеживания зон разломов. Последнее особенно важно проводить в комплексе с сейсмо-, грави- и магниторазведкой.

В ряде случаев при наличии достаточно густой сети ранее проведенных исследований геофизик может самостоятельно составить некоторые сводные карты (или разрезы) по материалам электроразвед-

ки. Помимо названных выше результатов качественной и количественной интерпретации можно осуществить некоторые специализированные построения, которые будут уточняться и детализироваться при последующих полевых работах. Сюда следует отнести карты (разрезы) изменения сопротивления важнейших для проводимых исследований горизонтов, их продольной проводимости S и поперечного сопротивления T ($S=\frac{h}{\rho}$; $T=h\rho$, где h — мощность горизонта, имеющего сопротивление ρ). Оценку геоэлектрических параметров целесообразно вести при фиксированных глубинах (последние могут быть установлены по данным сейсморазведки и геологическим материалам). Это резко повышает точность интерпретации. Как показали исследования последних лет, величина S качественно в первом приближении характеризует водоупорные свойства глинистых пород и водопроводимость трещинно-карстовых пород, а T — водопроводимость песчано-глинистых пород и водоупорные свойства массивных скальных образований.

Из сейсморазведочных материалов целесообразно использовать структурные карты по поверхности неглубоко залегающих маркирующих горизонтов. В ряде случаев по этим материалам могут быть прослежены границы, представляющие интерес для инженерной геологии, но не получившие отражения в результативных геофизических картах. В наибольшей степени это касается хорошо выдержанных горизонтов глин, которые могут служить водоупорами, разделяющими основные водоносные горизонты (или их комплексы). При такой ситуации необходимо произвести сбор сейсмогеологических разрезов, годографов, а иногда и сейсмолент для выявления по площади нужных границ. В аридной зоне особый интерес представляет оценка мощности зоны аэрации. При недостаточном количестве водопунктов ценный материал можно получить с помощью сейсморазведки. Для этого необходимо собрать сведения о мощности зоны малых скоростей (ЗМС). Сейсморазведка дает наиболее достоверные (среди всех остальных геофизических методов) сведения относительно прослеживания разломов в рыхлом покрове, особенно в том случае, когда амплитуда перемещения блоков невелика. Наконец, материалы сейсморазведки позволяют судить о петрографическом составе фундамента и о наличии в нем зон дробления и активных разломов. Для решения этих задач необходимо систематизировать сведения о величине граничных скоростей преломленных волн по поверхности жесткого основания.

Материалы гравимагнитных наблюдений используются главным образом для изучения состава скального основания и прослеживания в нем разломов и зон дробления.

МАРШРУТНЫЕ И ПЛОЩАДНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Первым этапом полевых исследований являются работы, направленные на уточнение данных дешифрирования аэрофотоматериалов и ранее проведенных геофизических работ, а также на выделение геологических тел и окончательный выбор ключевых участков.

Основным методом геофизических работ на этом этапе съемки является электропрофилирование в различных его модификациях (Блох, 1962). При этом в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий могут проходиться либо отдельные электроразведочные профили, пересекающие весь планшет съемки в направлении наибольшей изменчивости тех или иных инженерно-геологических признаков, либо равномерная сеть профилей. Основное назначение ЭП — получение данных об изменениях геоэлектрического разреза при более или менее постоянной глубине исследований.

Результаты этих исследований облегчат в дальнейшем увязку данных, полученных при изучении различных ключевых участков, а также интерполяцию и экстраполяцию этих материалов на территорию вне ключевых участков.

В условиях равнинного ландшафта высокой информативностью и производительностью обладают наземные методы непрерывного электромагнитного профилирования с движущегося транспорта: метод радиоволнового профилирования по способу реакции антенны (РВП) и метод поверхностного импеданса.

Первый из этих методов основан на измерениях сопротивления излучения кольцевой антенны маломощного радиопередатчика, установленного на автомашине (рис. 10). Рабочий диапазон частот — 10—15 мГц. Измеряемым параметром является модуль волнового числа $K_г$ пород, связанный с основными электрическими характеристиками известным соотношением

$$K_г = \frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{\varepsilon^2 + \left(\frac{60\lambda}{\rho}\right)^2},$$

где ε, ρ — соответственно относительная диэлектрическая проницаемость и удельное сопротивление пород; λ — длина волны передатчика в воздухе, выраженная в метрах.

При невысоких значениях сопротивления пород ($\rho<300$ м) с относительной погрешностью, не превышающей 10%, влиянием токов смещения можно пренебречь. В этом случае модуль волнового числа при фиксированной частоте передатчика f однозначно определяется величиной удельного сопротивления пород

$$K_г = \sqrt{\frac{8f}{\rho}}.$$



Рис. 10. Общий вид установки РВП

Ввиду использования весьма высоких частот электромагнитного поля глубинность метода РВП невелика и в зависимости от сопротивления пород колеблется в пределах 1—4 м, что ограничивает область применения метода картированием поверхностного слоя почвогрунтов. Вместе с тем отсутствие непосредственного контакта антенны с грунтом позволяет вести наблюдения в процессе безостановочного движения установки вдоль профиля с автоматической записью показаний на бумажную ленту в выбранном линейном масштабе. При этом скорость движения установки ограничивается лишь дорожными условиями.

На рис. 11 представлен фрагмент типичной диаграммы РВП с примером ее полевой интерпретации по петрографическому составу покровных отложений, а на рис. 12 — составленный из таких фрагментов график показаний РВП, полученных при движении по профилю протяженностью около 40 км. Левый конец этого профиля расположен на водоразделе рек Дона и Большой Сосны, где покровные отложения представлены в основном средне- и тяжелосуглинистыми разностями. По мере приближения к Дону (правый конец профиля) характер покровных отложений изменяется, и в их составе начинают преобладать более легкие породы.

На рис, 13, *а* представлен фрагмент диаграммы РВП, записанной в одном из районов Сарпинской низменности, характеризующейся пестрой засоленностью почвогрунтов. На основании данных метода РВП в комплексе с ландшафтно-индикационными исследованиями здесь была построена карта засоленности первого от поверхности слоя почвогрунтов мощностью 0—1 м (рис. 13, *б*).

Наконец, непрерывность диаграмм РВП позволяет осуществлять статистическую обработку их с целью получения сведений об изменчивости покровных отложений и объективного выбора на этой основе ключевых участков и точек опробования.

Теория метода РВП, методика работ и примеры его использования приведены в работе Г. Я. Черняка и О. М. Мясковского (1973).

Как отмечалось уже ранее, аппаратура РВП пока серийно не выпускается, но в силу своей простоты может быть изготовлена силами экспедиции.

Другой способ непрерывного электромагнитного профилирования в движении основан на использовании аппаратуры для наземных измерений в движении модуля поверхностного импеданса (z) вертикально поляризованной радиоволны удаленной радиостанции. Аппаратура рассчитана на работу в диапазоне частот от 150 до 408 кГц и позволяет осуществлять непрерывную регистрацию на ленте самописца

действующих значений горизонтальных компонент напряженности электрического (E_x) и магнитного H_y полей радиоволны с движущейся по профилю автомашины или вездехода. Синхронное с движением установки перемещение диаграммной ленты самописца осуществляется при помощи цепи передач: трос спидометра — редуктор самописца.

Прием E_x производится при помощи специальной, не связанной гальванически с землей, антенны длиной около 20 м, изготовленной из изолированного каротажного

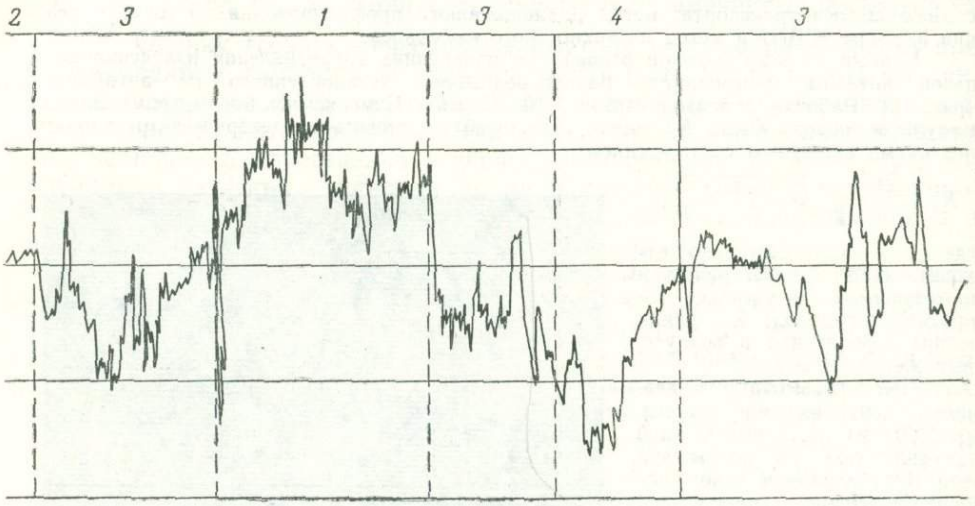


Рис. 11. Фрагмент диаграммы РВП с примером ее полевой интерпретации:
1 — средний суглинок; *2* — легкий суглинок; *3* — супесь; *4* — легкая супесь и песок

кабеля. Антенна крепится сзади автомашины и тянется за ней по поверхности земли.

Прием H_y осуществляется на ферритовую антенну, крепящуюся горизонтально на крыше автомашины так, чтобы ось антенны была перпендикулярна направлению движения.

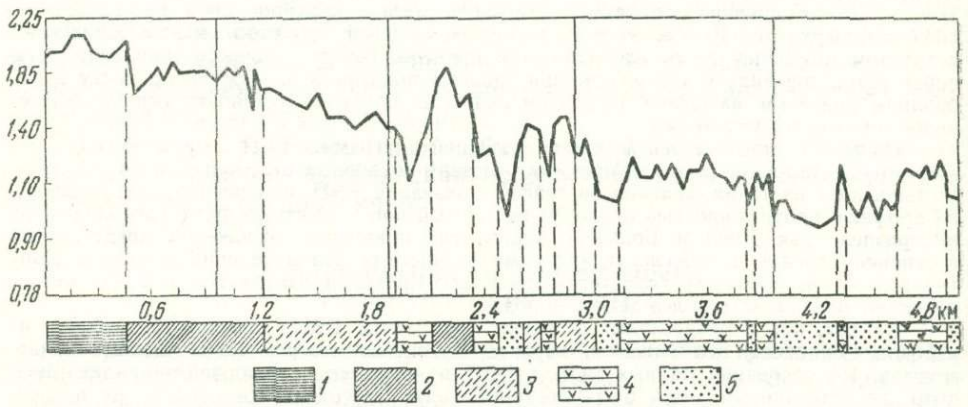


Рис. 12. Профиль покровных отложений междуречья Большой Сосны и Дона (по данным РВП).
Суглинок: *1* — тяжелый; *1* — средний; *3* — легкий; *4* — супесь; *5* — легкая супесь и песок

По результатам измерения E_x и H_y вычисляется модуль поверхностного импеданса

$$|z| = \frac{E_x}{H_y}.$$

Если профиль проходит по участкам, сложенным породами, в которых проводимости на частоте ω используемой радиостанции значительно преобладают над токами

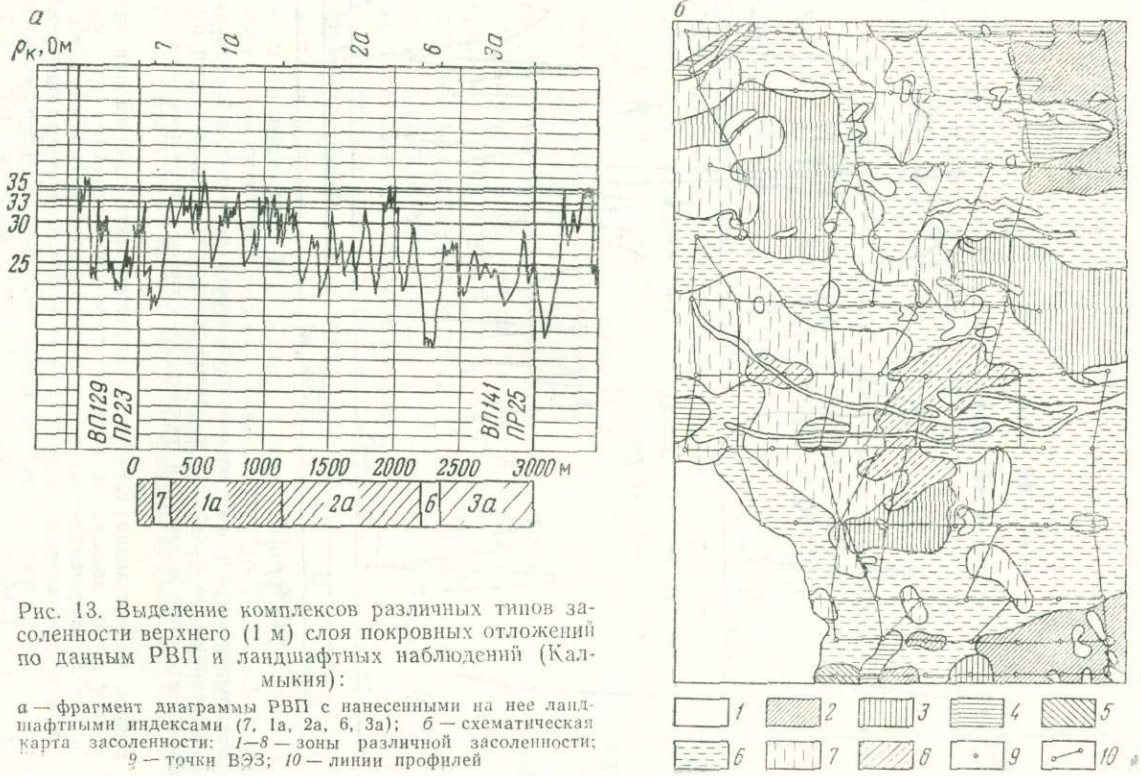


Рис. 13. Выделение комплексов различных типов засоленности верхнего (1 м) слоя покровных отложений по данным РВП и ландшафтных наблюдений (Калмыкия):

а — фрагмент диаграммы РВП с нанесенными на нее ландшафтными индексами (7, 1а, 2а, б, 3а); *б* — схематическая карта засоленности: *1—8* — зоны различной засоленности; *9* — точки ВЭЗ; *10* — линии профилей

смещения, то по значению $|z|$ легко определяется величина эффективного удельного электрического сопротивления среды:

$$\rho_{эф} = \frac{1}{\omega \varepsilon_0} \left| \frac{z}{120\pi} \right|^2,$$

где $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ — диэлектрическая проницаемость свободного пространства.

Значения $\rho_{эф}$, вычисленные по этой формуле, используются обычно при построении отчетных графиков электропрофилирования.

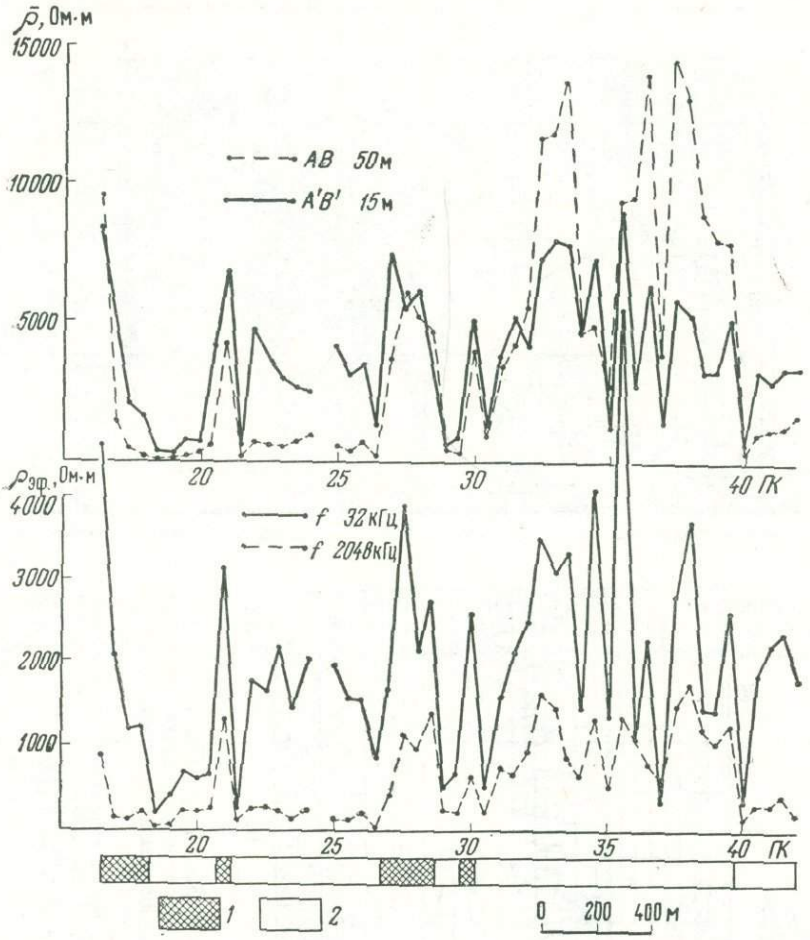


Рис. 14. Сопоставление результатов электропрофилирования методом постоянного тока и методом, основанным на измерении в движении модуля поверхностного импеданса. Участок: *1* — со слабо засоленными грунтами; *2* — с сильно засоленными грунтами

При выборе радиостанции следует руководствоваться следующими соображениями: 1) радиостанция должна обладать достаточной мощностью для уверенного приема E_x и H_y; 2) направление распространения радиоволны должно быть по возможности ближе к направлению профиля, при этом обеспечиваются наилучшие условия измерения $|z|$; 3) частота рабочей радиостанции должна удовлетворять условию получения требуемой глубинности исследований (под последней обычно понимают мощность скин-слоя)

$$H = \frac{C}{\omega} \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}\varepsilon' \left[\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon' \rho} \right)^2} - 1 \right]}},$$

где C — скорость света в свободном пространстве; ε' — относительная диэлектрическая проницаемость пород; ρ — удельное электрическое сопротивление пород.

Расположение профилей и их число выбираются так, чтобы они пересекали все наиболее характерные ландшафтные элементы, представленные на территории съемки.

При выборе маршрутов электропрофилирования следует использовать данные предварительного дешифрирования материалов аэрофотосъемки и результаты аэровизуальных наблюдений.

На рис. 14 приведен пример результатов измерения $|z|$ в движении с автомашины ГАЗ-47 по профилю, пересекающему два участка, резко различающихся по засолению пород зоны аэрации и грунтовых вод (Киргизская ССР, долина р. Чу). Измерения велись на частоте 188 кГц. Помимо графика $\rho_{эф}$, вычисленного по значениям $|z|$, на рисунке в целях сопоставления приведен график $\rho_к$, построенный по результатам симметричного электропрофилирования на постоянном токе с разносом токовых электродов АВ=20 м. Графики $\rho_{эф}$ и $\rho_к$ хорошо коррелируются, на них четко фиксируется на участке профиля 1—1,1 км переход от сравнительно высоких значений $\rho_{эф}$ и $\rho_к$ к более низким значениям $\rho_{эф}$ и $\rho_к$, обусловленным увеличением засоленности почвогрунтов и минерализации грунтовых вод.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКАХ

В зависимости от задачи исследования и геолого-геофизических условий района может несколько меняться и методика геофизических работ на ключевых участках.

Изучение геологического строения. Расчленение геологического разреза по составу рыхлых пород

Расчленение разреза по составу рыхлых пород является весьма сложной задачей, полное решение которой, как правило, нельзя осуществить с помощью одного какого-либо геофизического метода. Наиболее целесообразно для решения этой задачи применение вертикального электрического зондирования постоянным током методами сопротивления и вызванной поляризации (ВЭЗ и ВЭЗ ВП).

Зависимость удельного электрического сопротивления от петрографического состава пород многократно описана в литературе, и в настоящем разделе целесообразно лишь привести осредненные электрические параметры наиболее распространенных петрографических типов нелитифицированных отложений (табл. 19).

В природных условиях наиболее часто встречаются осадочные образования, представленные чередованием песков, супесей, суглинков и глин, насыщенных и ненасыщенных водой.

Невлагонасыщенные, так называемые «сухие» породы, как правило, дифференцированы по электрическим свойствам, что позволяет расчленить их в разрезе с помощью электроразведки методом ВЭЗ, а в плане — методом электропрофилирования. Наиболее четко выделяются галечники и пески от глин и суглинков. При достаточной выдержанности фациального состава пород и густой сети наблюдений обычно удается выделить глины и суглинки среди супесей, песков и галечников. При этом мощность каждого выделяемого пласта h должна быть соизмерима с глубиной H его залегания ($h > \frac{H}{5}$).

Расчленение толщи осадочных отложений, насыщенных водой, является одной из наиболее сложных задач инженерно-геологической съемки. Разрешающая способность методов сопротивления в этом случае значительно снижается. Как правило, удается разделить водонасыщенные пески и глины. Но глины и суглинки, так же как супеси и пески, расчленить не удается. Большие трудности возникают при необходимости литологического расчленения мерзлых пород.

Как и в предыдущем случае, мощность каждого определяемого слоя должна быть соизмерима с глубиной его залегания. Чередование маломощных прослоев песков, суглинков и супесей, залегающих на относительно больших глубинах, отмечается на кривых ВЭЗ в виде одного горизонта.

Таблица 19

Удельное электрическое сопротивление основных петрографических типов нелитифицированных отложений

Породы	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	
	минимальное	максимальное
Песчано-глинистые породы		
А. Зона аэрации		
Пески разнозернистые:		
сухие	600	10 000
слабовлажные	300	1 000
Пески пылеватые:		
сухие	60	150
слабовлажные	50	100
Супесь:		
сухая	30	70
влажная	20	40
Суглинок:		
сухой	20	40
влажный	10	20
Глины влажные	5	30
Б. Водонасыщенные породы		
Пески разнозернистые водонасыщенные		
Минерализация грунтовых вод (г/л):		
до 1	80	300
от 1 до 3	50	100
более 3	5	20
Пески пылеватые, водонасыщенные		
Минерализация грунтовых вод:		
до 1	30	50
от 1 до 3	20	30
более 3	5	15
Супеси водонасыщенные с минерализацией поровой воды (г/л):		
до 1	10	15
от 1 до 3	8	12
более 3	2	7
Суглинки, насыщенные водами с минерализацией (г/л):		
до 1	8	17
от 1 до 3	7	10
более 3	3	6
Гравийно-галечниковые отложения		
А. Зона аэрации		
Крупногравийно-галечниковые и валунно-галечниковые	500	10 000
Среднегравийно-галечниковые	150	300
Мелкогравийно-галечниковые	100	200
Мелкогравийно-галечниковые с суглинистым заполнителем	30	70
Б. Водонасыщенные породы		
Среднегравийно-галечниковые, насыщенные водами с минерализацией до 1 г/л	100	150
Мелкогравийно-галечниковые, насыщенные водами с минерализацией до 1 г/л	40	70
Мелкогравийно-галечниковые с суглинистым заполнителем, насыщенные водами с минерализацией (г/л):		
до 1	30	50
от 1 до 3	15	20
более 3	5	10

Методика работ и аппаратура, применяемая при исследованиях методами ВЭЗ и электрического профилирования, изложена в работах Ю. В. Якубовского и Л. Л. Ляхова (1964); А. А. Огильви (1962), В. К. Хмелевского (1970) и др.

В тех случаях, когда минерализация подземных вод по сумме солей превышает 3 г/л, применение одних лишь методов сопротивления неэффективно. Из электроразведочных методов наилучшие результаты в этих условиях (при минерализации подземных вод от 3 до 10 г/л) дает метод вызванной поляризации (ВП), который основан на изучении вторичных электрических полей, источником которых являются физико-химические процессы, возбуждаемые в породе электрическим током.

Горные породы обладают разной способностью поляризоваться под действием электрического тока. При этом поляризуемость для чистых кварцевых песков практически равна нулю. Увеличение содержания пылевато-глинистого материала в породе влечет за собой сначала рост поляризуемости, а затем понижение ее до нуля (для чистых глин).

При прочих равных условиях поляризуемость уменьшается с увеличением минерализации грунтовых вод, хотя и значительно меньше, чем электрическое сопротивление пород.

В качестве основных параметров ВП используются комплексный параметр $A = \eta^{t=1} - \eta^{t=11}$ и его относительная величина $A^* = \frac{A}{\rho}$.

Ниже приводится сводная табл. 20 со средними значениями параметров ВП для отдельных видов песчано-глинистых пород. В различ-

Таблица 20

Средние значения параметров ВП некоторых видов песчано-глинистых пород

Породы, насыщенные водой с минерализацией до 5 г/л	A, %	$A^* \cdot 10^{-4}$, См/м
Пески	0,1—0,8	0,2—0,8
Супеси легкие	0,3—1,2	0,6—1,2
Суглинки легкие	0,5—1,5	1,0—1,5
Суглинки тяжелые	1,0—2,0	1,5—2,5
Глины сильновлажные	1,5—2,0	2,0—4,0

ных районах параметры ВП могут изменяться по величине. Поэтому перед тем, как приступить к истолкованию результатов полевых работ, необходимо тщательно рассмотреть материалы параметрических измерений, выполненных около опорных скважин, и установить основные поисковые критерии для отдельных разновидностей пород.

Для успешного выделения отдельных литологических разностей пород справедливо условие о соотношении мощности слоя и глубины его залегания.

Работы по методу ВП производятся стандартной аппаратурой (станции ВПП-67, ВПС-63, «Енисей»), позволяющей проводить исследования в режиме длительных однополярных импульсов. Информацию о физических основах и сфере применения метода ВП можно получить в работах В. А. Комарова (1972), Н. Н. Шарапанова и Г. Я. Черняка (1972), А. Э. Липской и В. А. Ряполовой (1969).

Задача расчленения песчано-глинистого разреза в ряде случаев существенно облегчается путем комплексного использования данных об удельном электрическом сопротивлении и поляризационных свойствах отдельных горизонтов, слагающих разрез и полученных в результате количественной интерпретации кривых ВЭЗ ВП.

Большую помощь в этом случае может принести использование для геологической интерпретации эмпирического уравнения

$$\ln \Gamma = -21{,}9 - 0{,}03\,\rho - 14{,}1\,A - 0{,}024\,A + 0{,}74 \ln \rho + \\ + 33{,}1 \ln (A + 1{,}93) + 0{,}69 \ln (A^* + 1{,}85),$$

где Γ — суммарное содержание пылеватых и глинистых частиц (диаметр менее 0,01 мм), %; ρ — удельное электрическое сопротивление, Ом · м; A — комплексный параметр, %; $A = \frac{100A\%}{\rho}$ — относительная величина комплексного параметра, См/м.

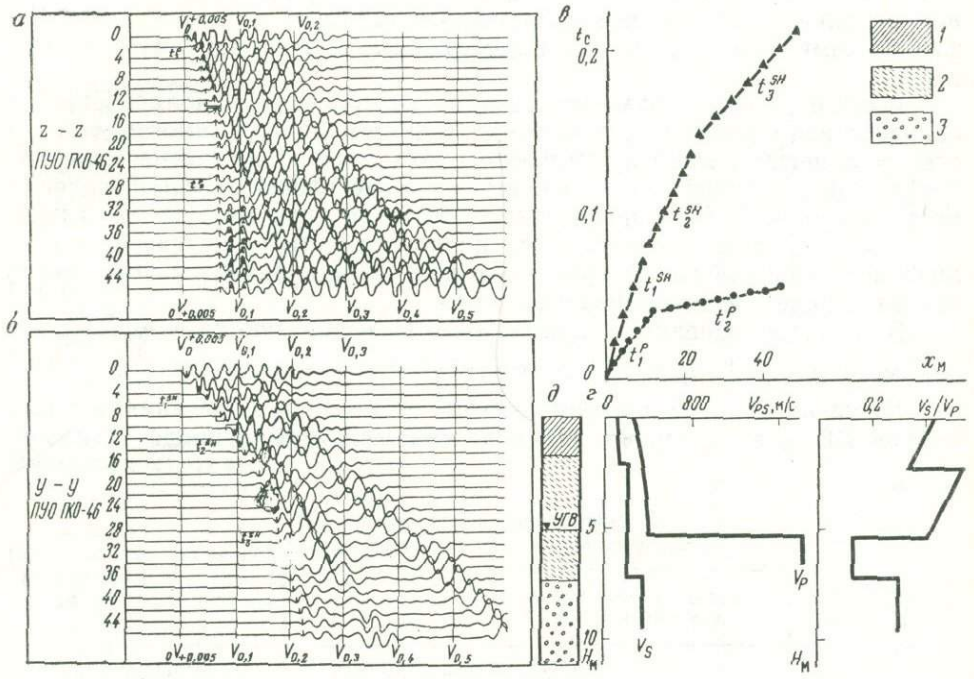


Рис. 15. Расчленение толщи рыхлых пород с помощью сейсморазведки на продольных и поперечных волнах.

а и *б* — сейсмограммы с записью продольных и поперечных волн; *в* — годографы зарегистрированных волн; *г* — скоростной разрез по данным сейсморазведки; *д* — геологический разрез по данным бурения.

t_1^p — продольная рефрагированная волна, связанная с зоной аэрации; t_2^p — продольная преломленная волна, связанная с уровнем грунтовых вод; t_1^{SH} — поперечная рефрагированная волна, связанная со слоем сухих суглинков; t_2^{SH} — поперечная преломленная волна, связанная с границей супесей; t_3^{SH} — поперечная преломленная волна, связанная с границей галечников ниже уровня грунтовых вод.

1 — суглинки; *2* — супеси, *3* — галечники

Это уравнение получено путем статистической обработки по программе множественной корреляции данных 201 параметрического измерения возле скважин и шурфов в различных районах страны (главным образом в ее аридной и полуаридной областях). Коэффициент корреляции R при этом составил 0,848 при среднем квадратическом отклонении от линии регрессии $S = \pm 2\%$.

В ряде случаев расчленение разреза по литологическому составу может быть произведено с помощью сейсморазведки.

Изменение литологического состава не оказывает решающего влияния на скорости продольных и поперечных волн V_p и V_s, которые в большей степени зависят от плотности породы, прочности структурных связей, действующих напряжений и т. д. Однако поскольку изменение литологического состава по разрезу чаще всего сопровождается изменением перечисленных факторов, литологические границы нередко являются и сейсмическими, правда, обычно слабыми. Это обстоятельство требует при попытке их выделения тщательного анализа не только ки-

нематических, но и динамических особенностей записи. Достоверность сейсмических данных значительно повышается при совместном использовании продольных и поперечных волн. В результате этого строятся скоростные разрезы для продольных и поперечных волн (рис. 15). Для зоны аэрации оценка литологического состава пород по разрезу производится по отношению скоростей V_s/V_p для каждого слоя.

Приведем следующие наиболее вероятные значения V_s/V_p для различных типов нелитифицированных пород зоны аэрации:

Галечники	0,55—0,70
Пески	0,50—0,70
Супеси	0,45—0,60
Суглинки	0,30—0,55
Глины	0,10—0,35

Задача выделения литологических границ в зоне водонасыщения является для сейморазведки очень сложной, поскольку водонасыщенные рыхлые породы весьма слабо дифференцированы по скоростям продольных волн. Эти границы в ряде случаев могут быть выделены с помощью поперечных волн (см. рис. 15). Однако оценить литологический состав отдельных слоев в пределах зоны водонасыщения обычно не удается.

Примеры использования сейсморазведки при выделении отдельных литологических границ, а также описание методических приемов при проведении этих исследований можно найти в работе Н. Н. Горяинова (1971).

Изучение скальных и полускальных пород

Важной задачей исследований на ключевых участках является определение глубины залегания и рельефа кровли скальных и полускальных пород под чехлом рыхлых отложений. Обычно эта задача может быть решена с помощью электроразведки методом ВЭЗ. В случае соизмеримости электрических сопротивлений рыхлых и скальных пород* либо при необходимости детального изучения их рельефа под рыхлыми отложениями следует использовать сейсморазведку.

Кровля скальных пород является сильной преломляющей границей и для продольных, и для поперечных волн. Кроме того, с этой границей нередко бывают связаны обменные волны типа *PSP*. Для определения глубины залегания скальных пород могут быть использованы волны любого из этих типов. На практике наблюдения обычно проводятся по схеме *z—z*, которая позволяет одновременно регистрировать продольные и обменные преломленные волны, связанные с искомой границей. При этом граничная скорость продольной преломленной волны составляет от 1300 до 1400 м/с в выветрелых мергелях и известняках и до 5000—6000 м/с в плотных изверженных и метаморфических породах (рис. 16). Граничная скорость обменной волны *PSP* в 1,5—2 раза меньше.

При изучении скальных пород важными задачами являются: выделение и прослеживание зон тектонических нарушений, оценка мощности коры выветривания и степени трещиноватости пород. Эти задачи наиболее успешно решаются с помощью сейсморазведки.

Выделение зон тектонических нарушений под чехлом рыхлых отложений производится на основании изменений в характере записи опорной преломленной волны, связанной с кровлей скальных пород. К таким признакам можно отнести: изменение кажущейся скорости, формы записи, амплитуды волны и т. д. (Берзон, 1957).

---

* Здесь и ниже в данной главе под термином «скальные породы» имеются в виду все литифицированные образования горных пород.

При выделении зон тектонических нарушений обычно используется не только продольное, но и непродольное профилирование.

Сейсмические методы с успехом применяются при изучении коры выветривания скальных пород. Задача решается просто, если мощность рыхлых отложений не превышает 10—15 м. При большей мощности может быть сразу зарегистрирована волна, соответствующая сохранной части массива (случай выпадения слоя). Основным критерием при изучении коры выветривания является непараллельность нагоняющего и нагоняемого годографов, соответствующих выветрелой скальной породе. Подробное изложение всех вопросов, связанных с методикой полевых наблюдений и интерпретации для различных вариантов строения коры выветривания, имеется в опубликованных работах (Ляховицкий, 1970).

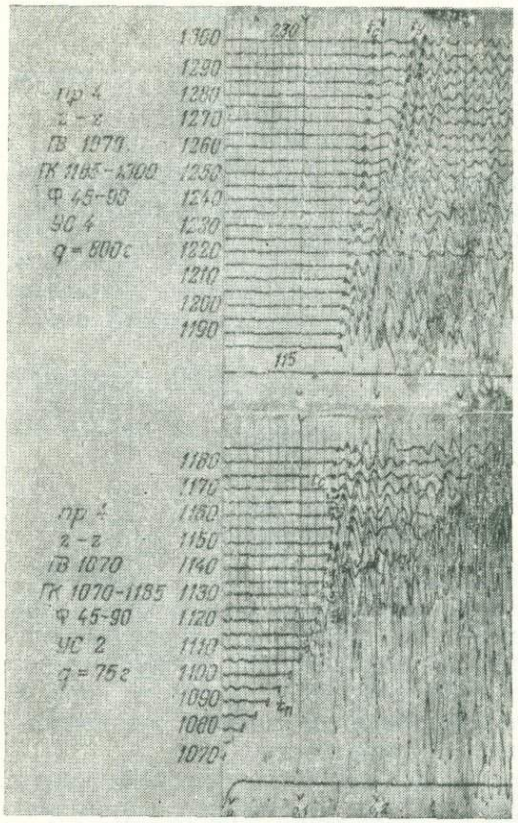


Рис. 16. Определение положения уровня грунтовых вод в рыхлых породах и скального водоупора по данным сейсморазведки:

$t_п$ — продольная прямая волна, связанная с рыхлыми породами зоны аэрации; $t_у$ — продольная преломленная волна, связанная с уровнем грунтовых вод; $t_с$ — продольная преломленная волна, связанная с кровлей скального водоупора

Количественная оценка трещиноватости скальных пород основана на различии скоростей, измеренных в трещиноватом массиве пород и на небольших монолитных образцах той же породы, лишенных видимых трещин. Сведения о скоростях в массиве получают с помощью полевой сейсморазведки, а в монолитной породе — с помощью ультразвуковых наблюдений в скважинах или на образцах. Исходными данными для вычисления коэффициента трещиноватости пород $K_{т.п}$ являются: V — средняя скорость в массиве пород; V_1 — скорость в монолитном образце той же породы; V_2 — скорость в заполнителе трещин (вода, воздух, рыхлый материал).

Расчетная формула выбирается в зависимости от характера трещиноватости. При статистическом распределении трещин (без преобладающего направления) хорошие результаты дает формула среднего времени:

$$\frac{1}{V} = \frac{K_{т.п}}{V_2} + \frac{1 - K_{т.п}}{V_1}.$$

При ориентированной трещиноватости следует использовать формулы, учитывающие эффекты квазианизотропии, обусловленные влиянием трещин (Савич и др., 1969).

Задачи изучения трещиноватости скальных пород, а также выделения и прослеживания зон тектонических нарушений в ряде случаев успешно решаются методами электроразведки. Для решения первой

из перечисленных задач используются круговые профилирование и зондирование.

Круговое профилирование состоит в том, что в одной и той же точке при различных азимутах линии расположения электродов производят повторные измерения $\rho_к$. В результате этого по данным таких измерений строятся круговые диаграммы (рис. 17), на которых по радиу-

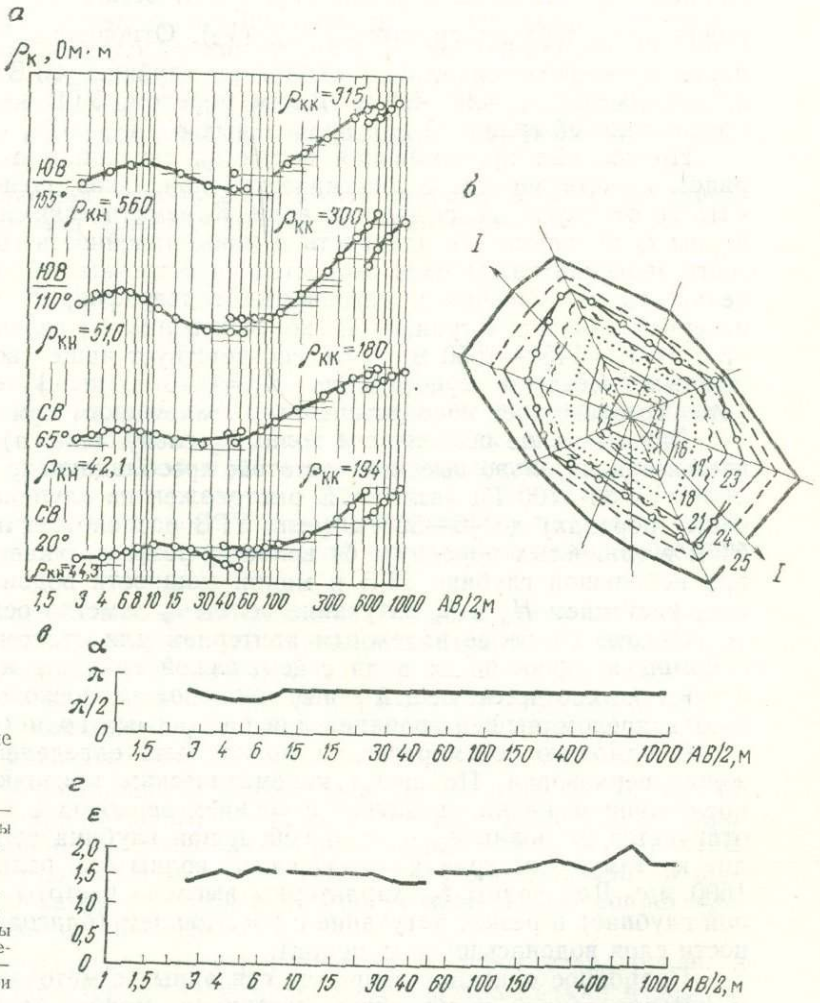


Рис. 17. Круговые ВЭЗ (по А. А. Огильви):

а — кривые ВЭЗ; *б* — круговые диаграммы (*I—I* — направление господствующей трещиноватости); *в* — график изменений азимутов большой оси диаграммы в зависимости от величины разноса; *г* — график анизотропии

сам, проведенным по соответствующим азимутам, откладываются отрезки, пропорциональные $\rho_к$. Концы этих отрезков соединяют прямыми линиями, образующими многоугольник. При наличии анизотропии пород или трещиноватости многоугольник оказывается вытянутым. В этом случае большая ось указывает направление простирания слоев или трещиноватости.

Метод круговых ВЭЗ (КВЭЗ) более трудоемок, но и более информативен, поскольку позволяет изучить распространение трещиноватости на глубину, а также оценить простирание крутопадающих слоев на различной глубине. Более подробные сведения о круговых измерениях имеются в работе А. А. Огильви (1962).

Изучение гидрогеологических условий

Одной из важнейших задач инженерно-геологических исследований является определение глубины залегания уровня грунтовых вод. Решение этой задачи производится с помощью сейсморазведки.

Возможность применения сейсмического метода для определения уровня грунтовых вод (УГВ) в рыхлых породах основана на резком различии скоростей распространения продольных волн в неводонасыщенных породах зоны аэрации (V_1) и полностью водонасыщенных породах ниже зеркала грунтовых вод (V_2). Отношение $\frac{V_1}{V_2}$ в реальных породах колеблется от 0,15—0,45 при глубине УГВ H_y=1—5 м до 0,40—0,70 при H_y=40—50 м. Таким образом, УГВ является сильной преломляющей границей для продольных волн.

Продольная преломленная волна t_y, связанная с УГВ, обладает рядом кинематических и динамических признаков, позволяющих отличить ее от других сейсмических волн. Кинематическими особенностями волны t_y являются: 1) плавность и прямолинейность годографов; близость значений кажущихся скоростей на встречных годографах; параллельность нагоняющих и нагоняемых годографов; 2) незначительный интервал изменения граничной скорости волны t_y; величина $V_г$ изменяется от $V_г$=1450—1550 м/с (что соответствует чаще всего водонасыщенным пескам и супесям при H_y=1—5 м) до $V_г$=2500—2600 м/с (что соответствует водонасыщенным галечникам при H_y=30—50 м).

Динамические особенности волны t_y следующие: а) волна t_y отличается сравнительно высокой частотой; преобладающие частоты колеблются от 80—100 Гц (если УГВ расположен на глубине 1—5 м в песчаных породах) до 40—50 Гц (если УГВ расположен на глубине 30—50 м в глинистых породах); б) волна t_y резко затухает с расстоянием при небольшой глубине УГВ и малой мощности водоносного слоя h_y; с возрастанием H_y и h_y затухание волны t_y заметно ослабляется.

Однако наиболее надежным критерием для отнесения выделенной с помощью продольных волн сейсмической границы к УГВ является отсутствие соответствующей поперечной волны, поскольку УГВ не является преломляющей границей для поперечных волн (см. рис. 15).

С помощью сейсморазведки может быть определено также положение верховодки. По своим кинематическим признакам продольная преломленная волна, связанная с уровнем верховодки $t_{вв}$, обычно мало отличается от волны t_y, однако небольшая глубина верховодки приводит к тому, что граничная скорость волны $t_{вв}$ редко превосходит 1600 м/с. Для волны $t_{вв}$ характерны высокие частоты (благодаря малой глубине) и резкое затухание с расстоянием (благодаря малой мощности слоя водонасыщенных пород).

Подробное описание вопросов, связанных с методикой наблюдений и интерпретацией полученного материала, можно найти в опубликованных работах (Горяинов, 1971). Следует отметить, что в благоприятных случаях глубина залегания уровня грунтовых вод может быть определена и методами ВЭЗ и ВЭЗ ВП, однако с меньшей точностью, чем с помощью сейсморазведки.

Помимо определения положения уровня грунтовых вод важной задачей инженерно-геологических исследований является оценка мощности водонасыщенных пород или, другими словами, определение положения водоупора. С этой целью может быть использована как сейсморазведка, так и электроразведка.

С помощью сейсморазведки уверенно определяется положение скального водоупора, поскольку он является сильной преломляющей границей и для продольных, и для поперечных волн. Положение глинистого водоупора определяется менее уверенно и точно. Глубина до

водоупора устанавливается с помощью способа средних или пластовых скоростей (Ляховицкий, 1970; Горяинов, 1971).

Из электроразведочных методов для решения этих задач применяются ВЭЗ и ВЭЗ ВП. Методика здесь по существу та же, что и при расчленении разреза по составу отложений. Нередко при инженерно-геологических исследованиях на ключевых участках представляет интерес определение минерализации грунтовых вод. В основе этого метода лежит зависимость удельного электрического сопротивления водонасыщенных пород от минерализации воды.

В природных условиях, как правило, между водами разной минерализации не наблюдается резкой границы, а имеется переходная зона, в которой состав воды постепенно изменяется от пресных до минерализованных. Соответственно и удельное электрическое сопротивление пород в этой зоне изменяется постепенно, достигая по своей абсолютной величине максимума.

Связь абсолютной величины градиента сопротивления с минерализацией грунтовых вод может быть описана уравнением

$$\operatorname{grad} \rho = -\frac{1}{\mu^2} \operatorname{grad} \mu.$$

На границе пресных и соленых вод $\operatorname{grad} \mu$ возрастает до максимальных значений. Методом электроразведки легче установить границу между пресными и слабосолоноватыми водами. Как правило, эта граница, соответствующая абсолютной величине максимума градиента сопротивлений, лежит в интервале минерализации 0,7—1,0 г/л. Оценку минерализации грунтовых вод в плане целесообразно проводить методами электрического профилирования на постоянном или переменном токах.

При необходимости получения данных об изменении минерализации вод с глубиной требуется постановка электроразведочных работ методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Для точного определения величины общей минерализации грунтовых вод в каждом районе необходимо выявление зависимости ρ от μ для всех литологических разностей пород.

Нередко минерализация грунтовых вод бывает известна по отдельным скважинам или шурфам, а проба воды для определения сопротивления не отбирается, поскольку горные выработки ликвидированы. В этих случаях над каждой точкой с известной минерализацией производятся ВЭЗ и затем строится зависимость кажущегося сопротивления от минерализации (рис. 18).

Методика выполнения электроразведочных работ стандартная, а густота сети выбирается в зависимости от масштаба съемки и результатов зондирования. Большую помощь при геолого-гидрогеологической интерпретации геофизических данных могут оказать эмпирические корреляционные зависимости, полученные на основе обобщения материалов электроразведочных работ, выполненных в ходе специализированной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки для целей мелиорации орошаемых земель (Шарапанов, Черняк, 1972).

Несмотря на то что общая минерализация подземных вод (μ) оказывает определяющее влияние на величину электрического сопротивления водонасыщенных пород, но вместе с тем характер зависимости $\rho = f(\mu)$ существенным образом зависит от степени глинистости водовмещающих пород. При этом влияние качественного химического состава подземных вод (при $\mu < 20$—30 г/л) незначительно и находится за пределами точности интерпретации.

В ряде случаев, если по геофизическим или иным данным степень глинистости Г водовмещающих пород известна, удовлетворительные результаты дает использование эмпирической корреляционной зависимости

$$\ln(\mu + 1{,}7) = 3{,}63 - 0{,}14\,\rho - 0{,}013\,\Gamma + 0{,}0016\,\rho^2,$$

полученной на основе обработки $N=70$ исходных данных (коэффициент корреляции $R=0{,}904$); среднее квадратическое отклонение от линии регрессии $S=\pm 1{,}5\%$. Учет степени глинистости водовмещающих пород через параметр A^* метода ВП также приводит к положительному результату.

$$\ln(M + 1{,}8) = 4{,}76 - 1{,}08\ln\rho - 0{,}37\ln(A^* + 1{,}0);$$

здесь $A^* = \dfrac{100\,A\,\%}{\rho}$; $R = 0{,}94$ при $N = 175$ и $S = \pm 0{,}8\%$.

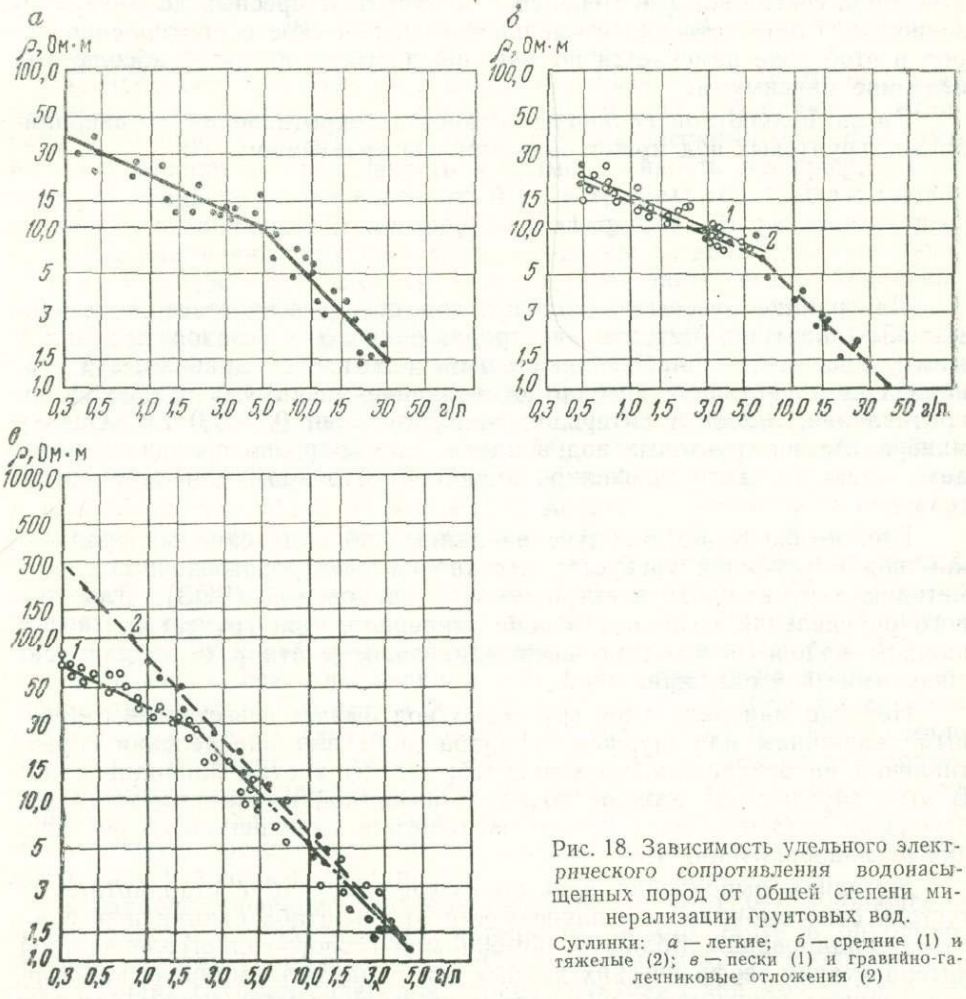


Рис. 18. Зависимость удельного электрического сопротивления водонасыщенных пород от общей степени минерализации грунтовых вод.

Суглинки: *а* — легкие; *б* — средние (1) и тяжелые (2); *в* — пески (1) и гравийно-галечниковые отложения (2)

Наконец, метод ВП в ряде случаев позволяет оценить фильтрационные свойства водоносных горизонтов, представленных песками различной степени зернистости. Для интерпретации можно использовать уравнения парной корреляции (рис. 19)

$$\ln K_\Phi = a - 2{,}3\ln A,$$

где K_Φ — коэффициент фильтрации, м/сут, а свободный член уравнения a изменяется в зависимости от электрического сопротивления водовмещающих пород (примерные пределы изменения a: от 6 при $\rho=2$—5 Ом·м до 2 при $\rho=20$—60 Ом·м).

Может быть также использовано уравнение множественной корреляции

$$\ln(K_\Phi + 1{,}98) = 4{,}63 + 0{,}03\,A^* - 1{,}24\,(A^* + 1{,}5) - 0{,}32\ln\rho.$$

Это уравнение характеризуется коэффициентом корреляции $R=0{,}793$ при $N=40$ и $S=\pm 6{,}2\%$.

Все приведенные эмпирические корреляционные зависимости получены на основе сопоставления результатов количественной интерпретации параметрических кривых ВЭЗ ВП с данными опробования скважин и шурфов, включая откачки с целью определения гидрогеологических показателей ($Г$, $М$, $К_ф$). Естественно, что эмпирический характер этих зависимостей требует проверки их пригодности и в необходимых случаях коррекции в каждом новом районе работ.

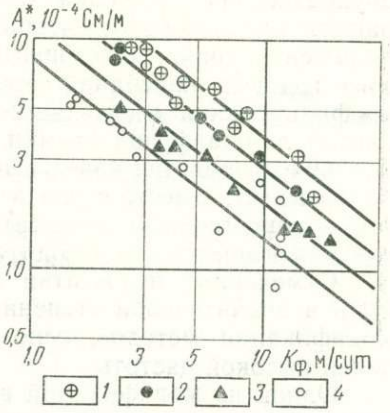


Рис. 19. Зависимость параметра A^* от коэффициента фильтрации $К_ф$ песчаных пород зоны полного водонасыщения при минерализации М подземных вод (г/л):
1 — менее 0,5; *2* — от 0,5 до 1; *3* — от 1 до 3; *4* — от 3 до 5

Изучение геокриологических условий

Основными методами геофизических исследований в районах развития многолетнемерзлых пород являются методы электроразведки, основанные на изучении удельного электрического сопротивления горных пород.

Для районов развития многолетнемерзлых пород характерен очень большой диапазон изменения сопротивления пород ρ мерзлой толщи (от нескольких до 10 млн. Ом·м).

Наибольший диапазон значений ρ характерен для мерзлых рыхлых отложений. Для рыхлых отложений наблюдается максимальное относительное увеличение ρ при промерзании ($\frac{\rho_м}{\rho_т}$ достигает значения 2000).

Более узкий диапазон изменения свойствен мерзлым скальным породам: от нескольких сотен до 4000—5000 Ом·м; относительное увеличение удельного электрического сопротивления при этом не превышает 10.

При постановке электроразведочных работ в районах распространения мерзлых пород необходимо учитывать следующие факторы: 1) для участков многолетнемерзлых пород характерно быстрое пространственное изменение параметров геоэлектрического разреза, обусловленное изменчивостью льдистости и криогенного строения мерзлых рыхлых отложений; 2) в верхней части геоэлектрического разреза (слой сезонных колебаний температуры) наблюдается, как правило, градиентное изменение электропроводности с глубиной вследствие уменьшения льдистости и температуры; 3) в разрезе появляются дополнительные геоэлектрические границы, наличие которых не связано с литологическим строением толщи; 4) структура геоэлектрического разреза неблагоприятна в большинстве случаев для исследования слоев, залегающих ниже подошвы многолетнемерзлых пород, вследствие сильного экранирующего влияния сезонноталого слоя и толщи многолетнемерзлых пород.

Перечисленные выше факторы могут значительно снизить эффективность применения электроразведочных методов. Наиболее распространенными среди них в настоящее время и применяемыми при инженерно-геокриологических исследованиях на ключевых участках являются методы электропрофилирования и ВЭЗ.

Методы электропрофилирования в разнообразных модификациях (симметричное, комбинированное) применяются при картировании в плане границ мерзлой толщи. При помощи этих методов производится оконтуривание талых зон среди многолетнемерзлых пород, осуществляется дифференциация мерзлых пород по величине электросопротивлений, отмечаются участки различных мощностей слоя сезонного протаивания. Методы электропрофилирования с успехом используются так-

же для решения таких частных задач мерзлотных исследований, как картирование подземных льдов, выделение участков с относительно повышенной льдистостью горных пород и т. д.

При проведении электропрофилирования обычно используется двухразносная установка (*AA'M'MNN'B'B*). Разносы при этом выбираются таким образом, чтобы малый разнос характеризовал изменение положения границы сезонноталого слоя, а большой захватывал горизонт годовых колебаний температур. На основании данных электропрофилирования составляется карта изоом, которая сопоставляется с картой ландшафтной съемки. Интерпретация данных электропрофилирования проводится качественно и, как правило, серьезных затруднений не вызывает. Вместе с тем всем методам ЭП на постоянном токе свойствен существенный недостаток, заключающийся в их большой трудоемкости и низкой производительности.

Отмеченные недостатки методов ЭП на постоянном токе могут быть в значительной степени устранены, если использовать некоторые модификации методов, основанных на применении электромагнитных полей высокой частоты.

Одной из модификаций высокочастотных методов ЭП, которая может быть рекомендована для инженерно-геокриологических исследований, является метод дипольного осевого электропрофилирования. Для работы по этому методу в высокочастотном варианте (ДОЭП ВЧ) после некоторых усовершенствований может быть использована серийная аппаратура ДЭМП-3. Усовершенствования заключаются в согласовании сопротивления выхода генератора ДЭМП-3 с входным сопротивлением генераторной электрической антенны, а также в увеличении входного сопротивления приемника ДЭМП-3 с целью обеспечения независимости результатов измерений от изменения входного сопротивления электрической приемной антенны.

Метод ДОЭП ВЧ пригоден для картирования пород, удельное электрическое сопротивление которых может изменяться в весьма широких пределах. Разрешающие способности этого метода и метода постоянного тока сходны между собой.

Масса и габариты аппаратуры, используемой в методе ДОЭП ВЧ, не превосходят аналогичные характеристики аппаратуры методов постоянного тока. Вместе с тем измерительная ВЧ аппаратура обладает реальной чувствительностью на несколько порядков выше чувствительности измерительной аппаратуры, применяемой при производстве ЭП на постоянном токе. Это позволяет использовать для проведения ДОЭП ВЧ антенны малых линейных размеров. При выполнении ДОЭП ВЧ на относительно высоких частотах появляется возможность применения незаземленных гальванических антенн. Все это приводит к увеличению производительности и снижению трудоемкости ЭП.

Методика проведения высокочастотного дипольного осевого электропрофилирования не отличается от соответствующей и общеизвестной методики электропрофилирования на постоянном токе. Однако при интерпретации результатов высокочастотного электропрофилирования следует учитывать возможность влияния на формирование исследуемого поля токов смещения в воздухе и в породах, а также поглощения в породах энергии электромагнитного поля. Если расстояние между генераторным и приемным диполями таково, что произведение модуля волнового числа нижнего полупространства на значение этого расстояния меньше единицы, то влиянием токов смещения в воздухе и поглощением энергии поля в породах можно пренебречь.

На рис. 20 приведены графики величины $\rho_{эф}$, вычисленной по данным ДОЭП ВЧ на частоте 32 и 2048 кГц, а также графики $\rho_к$, вычисленного по данным симметричного электропрофилирования на постоянном токе. Расстояние между центрами генераторной и приемной антенн при высокочастотном ЭП составляло 15 м. Расстояние между токовыми электродами при ЭП на постоянном токе было равно 15 и 50 м. Профиль пересекает участки, занятые многолетнемерзлыми и талыми породами. Место

расположения профиля — один из отрезков трассы газопровода Медвежье—Надым (север Тюменской области).

Многолетнемерзлые породы здесь приурочены к зонам развития низких торфяников, бугров пучения и кочковатых сфагновых лесов и редколесья. Все эти зоны четко выделяются повышенными значениями $\rho_к$ и $\rho_{эф}$. Пересчет данных высокочастотного ЭП в значении I выполнялся по формуле

$$\rho_{эф} = K_у \frac{\Delta V}{I},$$

где $K_у$ — коэффициент установки, зависящий от ее геометрических размеров; ΔV — действующее значение напряжения, снимаемого с приемной антенны; I — действующее значение тока в генераторной антенне.

Результаты электропрофилирования используются для выбора места постановки ВЭЗ.

По данным ВЭЗ могут быть определены мощность рыхлых мерзлых отложений и мощность слоя годовых колебаний температур и многолет-

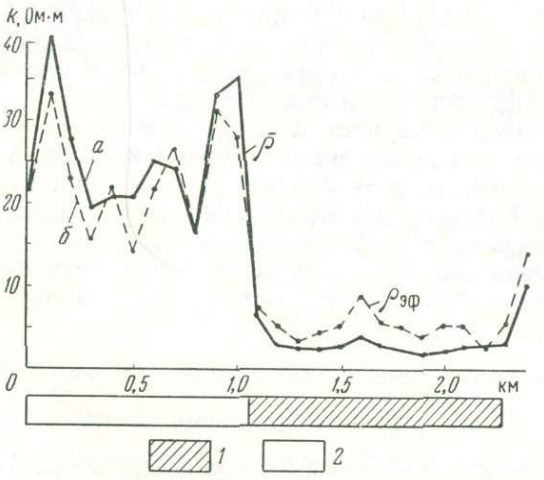


Рис. 20 Сопоставление результатов электропрофилирования:

а — симметричного на постоянном токе; *б* — осевого высокочастотного. *1* — участок талых пород; *2* — участок мерзлых пород

немерзлых пород, а также произведена количественная и качественная геокриологическая интерпретация мерзлотного геоэлектрического разреза: выявлено наличие или отсутствие межмерзлотных таликов и произведена оценка изменения льдистости пород по глубине. На участках развития торфяников обычно залегает мощная толща многолетнемерзлых пород, для которой характерны большие величины отрицательных температур. Верхний горизонт мерзлой толщи вследствие высокой льдистости торфяных отложений имеет высокое сопротивление, мало изменяющееся по вертикали. Ниже этого горизонта идет высокольдистый слой низкотемпературных минеральных грунтов, обладающий значительным вертикальным градиентом льдистости и сопротивления. Ниже слоя годовых колебаний температур, вплоть до кровли талых пород, залегает основная часть мерзлой толщи, характеризующаяся как для положительных форм рельефа, так и для торфяников относительно небольшим градиентом удельного электрического сопротивления или вообще его отсутствием.

В полосах стока весенних вод, в местных депрессиях рельефа, под озерами и руслами рек могут формироваться участки талых пород различной мощности, вплоть до сквозных окон.

Вследствие градиентности сопротивления толщи мерзлых пород интерпретация кривых ВЭЗ, полученных в этих районах, с применением обычных палеток по большей части невозможна, так как эти палетки строились для условий постоянного сопротивления внутри слоя. При интерпретации данных ВЭЗ при этом может быть значительно занижена глубина нижней поверхности мерзлых пород. Поэтому для участков

низкотемпературных мерзлых пород (Акимов, 1959) рекомендуется: 1) интерпретацию кривых ВЭЗ над безградиентной и малоградиентной мерзлой толщей проводить обычным методом интерпретации трехслойных кривых типа K; 2) при интерпретации кривых ВЭЗ, полученных на положительных элементах рельефа, использовать искусственный прием приближенной интерпретации, основанный на представлении геоэлектрического разреза четырехслойным.

Недостаточное знание величин сопротивлений мерзлой толщи делает процесс интерпретации ВЭЗ методом графических построений крайне трудоемким. Практика показала, что использование вспомогательных (*LCQ*; *LCK*; *LCH*) и двухслойных палеток дает не менее точный результат при значительно меньшей затрате времени. Определение состава мерзлых пород и их льдистости является еще более сложной задачей, чем определение мощности мерзлой толщи. Однако при наличии большого числа ВЭЗ и при тщательном сопоставлении результатов их интерпретации с данными бурения, электрокаротажа и ландшафтных наблюдений для каждого района работ могут быть выявлены закономерности, связывающие удельное электрическое сопротивление пород с их составом и льдистостью.

Приемы интерпретации, предполагающие постоянство сопротивления толщи мерзлых пород ниже слоя годовых колебаний температуры (что характерно для эпигенетических толщ мерзлых пород), непригодны для районов, где образование многолетней мерзлоты происходило одновременно с осадконакоплением. Геоэлектрический разрез таких сингенетических толщ мерзлых пород характеризуется большой неоднородностью по глубине. Это создает дополнительные трудности при интерпретации.

Достаточно уверенная интерпретация кривых ВЭЗ в этих случаях возможна лишь при наличии данных электрического и температурного каротажа скважин. Названные выше условия характерны, например, для районов Центральной Якутии.

Большое различие в электропроводности мерзлых, рыхлых и коренных пород создает принципиальную возможность определения мощности мерзлых рыхлых отложений методом ВЭЗ.

Однако быстрое изменение удельного сопротивления мерзлых рыхлых отложений и других параметров разреза от точки к точке при действии принципа эквивалентности по T_2 в широких пределах не позволяют использовать для этой цели данные параметрических ВЭЗ. Для преодоления этой трудности рекомендуется (Якупов, 1968) использование метода дискретных значений удельного электрического сопротивления, успешно примененного в условиях низкотемпературной и высокоомной толщи многолетнемерзлых пород Северо-Востока СССР.

Метод дискретных значений позволяет подойти к определению состава и генетического типа рыхлых отложений. На примерах исследований в районах Магаданской области произведено четкое подразделение рыхлых мерзлых отложений на несколько групп, каждая из которых характеризуется определенным пределом дискретных значений ρ. Дальнейшее разделение пород в пределах каждой группы производится путем использования различных вспомогательных признаков (геоморфологии, мощности рыхлых отложений и др.). Метод вертикального электрического зондирования может быть успешно применен для решения такой задачи, как изучение подозерных таликов. Исследования проводятся по схеме *AMN* ($B \to \infty$).

Сейсморазведка при инженерно-геологических исследованиях мерзлых пород находит пока ограниченное применение. Это связано как с нивелировкой сейсмических свойств различных пород при отрицательных температурах, так и со слабой изученностью самих этих свойств. Кроме того, на производстве сейсмических работ в районах распростра-

нения многолетнемерзлых пород особенно сильно сказывается отсутствие легкой переносной многоканальной аппаратуры, а также мощных и легких невзрывных источников упругих колебаний.

Наиболее просто с помощью сейсморазведки решается задача определения кровли многолетнемерзлых пород. Граница мерзлых пород является сильной преломляющей границей и для продольных, и для поперечных волн. С ней также связана интенсивная обменная волна типа *PSP*. Поэтому для определения глубины залегания мерзлых пород могут быть использованы волны любого из этих типов. На практике наблюдения обычно проводятся по схеме *z—z*, позволяющей одновременно регистрировать и продольные, и обменные волны.

Наличие обменной волны является основным критерием для отличия кровли многолетнемерзлых пород от уровня грунтовых вод — характерной границы в зоне развития талых отложений. Этот и ряд других критериев (повышенные скорость и частота продольной преломленной волны, криволинейность ее годографов) позволяют уверенно отличить кровлю многолетнемерзлых пород от уровня грунтовых вод и на основании этого картировать с помощью сейсморазведки зоны развития талых и многолетнемерзлых пород (Горяинов, 1971).

Имеются отдельные примеры использования сейсморазведки для прямого определения подошвы многолетнемерзлых пород с помощью отраженных волн, а также для косвенной оценки мощности мерзлых пород на основании измерения средней скорости до какой-либо нижележащей отражающей или преломляющей границы. Как об отдельных примерах, можно говорить об использовании сейсморазведки для литологического расчленения толщи многолетнемерзлых пород (наиболее благоприятным является здесь случай, когда глины подстилаются песками). Однако все эти вопросы в настоящее время нельзя считать разработанными.

Изучение современных геологических процессов

Изучение современных геологических процессов на ключевых участках, как и при решении других задач, проводится в более крупном масштабе, чем общий масштаб съемки. При этом перед геофизическими методами ставятся задачи изучения типичных для данного района проявлений современных геологических процессов (карстообразование, оползни и т. п.).

Хорошо разработаны геофизические методы исследования карста. Значительно слабее пока изучены вопросы использования методов геофизики для исследования оползней, а также селей и других геологических процессов.

Исследование карстовых процессов. Наибольшими возможностями при изучении карста обладают геоэлектрические методы, которые с успехом используются как для изучения общих вопросов геологии и гидрогеологии карстовых районов, так и для исследования отдельных карстовых форм и карстовой трещиноватости (Огильви, 1962).

Электроразведочные методы имеют большие возможности для изучения погребенных карстовых форм в кровле карстующихся пород, когда карстовые депрессии перекрыты осадочными отложениями большой мощности и не выражены в рельефе.

Для поисков и картирования погребенных карстовых форм применяется электропрофилирование с различными разносами. Для правильного выбора разносов профилирования на участке работ по редкой сети проводятся вертикальные электрические зондирования. При небольших глубинах исследования при выборе типа установок следует отдавать предпочтение несимметричным их разновидностям, а также комбинированному профилированию. При больших глубинах целесообразно применять двустороннее дипольное профилирование. Следует иметь в виду, что надежное определение местоположения карстовой депрессии

возможно в том случае, если ее диаметр превышает мощность перекрывающих отложений. На границах карстовых полостей при электропрофилировании отмечаются минимумы кажущегося удельного электрического сопротивления.

При прослеживании протяженных карстовых полостей в некоторых случаях применяется метод заряженного тела. В качестве заземления при этом могут быть использованы обсадные трубы скважин, вскрывших карстовую депрессию.

Представляется интересным для практики успешный опыт использования радиокомпарационного метода («радиокип») для поисков неглубокого залегающих карстовых образований.

Электроразведочные методы являются также основными при изучении глубинного карста. Получаемые при этом аномалии электрического поля могут быть систематизированы следующим образом: 1) локализованные карстовые (трещиноватые) зоны выделяются большей частью как участки пониженных сопротивлений; 2) на глубине залегания поверхности подземных вод и подошвы зоны интенсивно закарстованных пород наблюдаются изменения сопротивления, которое зависит от величины пустотности пород; 3) трещиноватые породы электрически анизотропны, т. е. электропроводность их в различных направлениях неодинакова.

При картировании трещиноватых зон применяются электропрофилирование и вертикальное электрозондирование. Направление профилей должно быть перпендикулярным к преобладающему направлению трещиноватости исследуемого участка.

На графиках электропрофилирования трещиноватые зоны выделяются большей частью в виде участков пониженного сопротивления. Однако в засушливых районах крупные трещины и пустоты карстового происхождения в верхней своей части могут быть лучше промыты инфильтрационными водами, чем мелкие трещины, в той или иной мере развитые в пределах всей верхней толщи массива изучаемых пород. Глубже — водообильность большая, а следовательно, электрическое сопротивление ниже, чем в окружающем пространстве. Указанное соотношение геоэлектрических условий в пределах трещиноватых зон приводит к тому, что графики профилирования на малых разносах дают над такими зонами максимумы, а на больших разносах — минимумы.

Изменения удельного сопротивления на уровне верхней границы подземных вод и на уровне границы зоны интенсивно закарстованных пород позволяют применять метод ВЭЗ при изучении глубинного карста. В областях развития карстовых явлений может быть использована и сейсморазведка для выделения участков возможного карстопроявления. Методика решения этой задачи принципиально не отличается от описанной выше для выделения зон повышенной трещиноватости.

Изучение оползней. При проведении исследований в районах распространения оползней геофизические методы применяются как для изучения собственно оползневых тел, так и участков, геологическое строение и гидрогеологические условия которых благоприятны для развития оползней.

Наиболее распространенными методами геофизических исследований являются электроразведочные, ВЭЗ и электропрофилирование, а в последние годы и метод естественного поля.

При изучении оползневых явлений прежде всего необходимо выявить поверхности, по которым происходит смещение. Для этой цели может быть использован метод электрического зондирования. Задача обычно оказывается принципиально разрешимой в том случае, если смещение происходит по коренным породам. Более сложным является выявление поверхности скольжения в однородных отложениях. Для картирования крутонаклонных структур и слоев, благоприятствующих развитию оползневого процесса, особенно эффективно электропрофили-

рование. Направление профилирования выбирается вкрест линии смещения оползня.

За последнее время все более широкое распространение для изучения оползневых явлений начинает приобретать сейсморазведка. Важной и в то же время наиболее просто решаемой с помощью сейсморазведки задачей является определение поверхности скольжения оползневых масс. Предпосылкой использования сейсморазведки для решения данной задачи является разница в упругих свойствах смещенных и несмещенных масс. Это приводит к тому, что поверхность скольжения служит достаточно четкой преломляющей границей между ними. Необходимо, однако, отметить, что нередко в силу различного характера распределения напряжений, а также направления трещиноватости в теле оползня и подстилающих породах главные оси анизотропии упругих свойств пород оказываются различно ориентированными. Это приводит к различной контрастности упругих свойств на границе смещения в зависимости от азимута наблюдений и делает необходимой постановку сейсмических исследований по двум различно ориентированным профилям.

Сейсмические исследования могут быть использованы также для оконтуривания оползней в плане, поскольку сейсмические свойства пород, не нарушенных оползневыми процессами, существенно отличаются от свойств смещающихся пород. Решение этой задачи в принципе сходно с задачей выявления зон тектонических нарушений в скальных массивах.

Наконец, при изучении оползней с помощью сейсморазведки решаются такие задачи, как определение глубины залегания скальных пород, выявление литологических границ в толще оползневых образований, определение положения уровня грунтовых вод и водоупора. Способы решения этих задач не отличаются от рассмотренных выше. Геофизические методы для исследования ряда других геологических процессов находятся в стадии разработки.

Изучение инженерно-геологических свойств горных пород

При проведении инженерно-геологической съемки особенно важное значение приобретают экспресс-методы определения показателей инженерно-геологических свойств горных пород, в том числе геофизические и радиоизотопные. В процессе инженерно-геологической съемки большое значение имеет определение объемной массы и влажности горных пород. До последнего времени это определение производилось в основном довольно трудоемким термостатно-весовым способом. В настоящее время этот способ с успехом заменяется радиоизотопными методами, использующими эффекты взаимодействия гамма- и нейтронного излучения с атомами (ядрами) элементов, слагающих горные породы. В 50—60-х годах как в СССР, так и за рубежом были разработаны физические основы этих методов, создана и выпускается высокоэффективная аппаратура, разработаны методики ее использования.

По сравнению с термостатно-весовым способом радиоизотопные методы измерения объемной массы и влажности горных пород обладают следующими преимуществами: 1) могут быть использованы при инженерно-геологическом изучении любой горной породы (торфа, плывунов, пород, содержащих обломочный материал, мерзлых пород и др.); 2) не требуют отбора проб (образцов) грунта и дают информацию о свойствах его на месте; 3) на их показания не влияют агрегатное состояние (ни консистенция, ни структура, ни текстура горных пород); 4) их показания более объективны и представительны, так как охватывают значительно больший объем горной породы (несколько кубических де-

циметров); 5) их показания воспроизводимы в одной и той же точке наблюдения; 6) измерения свойств по разрезу скважины, обнажению и профилю могут производиться непрерывно; 7) их точность может контролироваться в процессе наблюдения; 8) они обладают высокой производительностью измерений (до 2—3 мин на одно измерение) и экономичностью (в 2—3 раза большей, чем у термостатно-весового способа).

Тем не менее, как и любой другой инструментальный метод, радиоизотопный не лишен некоторых недостатков.

Использование радиоизотопных приборов требует определенной квалификации персонала. Эксплуатация прибора доступна лицам со средним техническим образованием, а при специальной подготовке и лицам со средним образованием. Масса радиоизотопных приборов даже в портативном полевом исполнении составляет несколько килограммов (табл. 21). Ограниченность ресурса питания полевых приборов

Таблица 21

Радиоизотопные методы и приборы для измерения плотности и влажности пород

Тип и марка прибора	Измеряемая величина	Диапазон измерения	Погрешность измерения	Глубина, см	Длина кабеля (глубина исследования), м	Способ индикации	Время первого измерения, мин	Время подготовки прибора к измерению, мин	База измерения, см
Нейтронный измеритель влажности НИВ-2	Объемная влажность, %	5—40	±2,0%	10—25	6	Цифровой	3	30	15
Глубинный гамма-плотномер ГТП-2	Объемная масса, г/см³	1—2,3	±0,1 г/см³	8—15	6	То же	3	30	25
Поверхностный гамма-плотномер НГП-2	То же			8—15		„	3	30	—
Радиоизотопный влагоплотномер УР-70	Объемная влажность, %	3—100	±2,0%	10—25	30	„	1	30	1
	Объемная масса, г/см³	1—2,7	±0,02 г/см³	8—15		Аналоговый	0,5	30	25
Радиоизотопный плотномер РП-60	Объемная масса	1—2,3	±0,08 г/см³	Просвечивание	5	Цифровой и аналоговый	—	—	—

требует определенного запаса батарей или аккумуляторов, а также регулярной подзарядки их. Наличие радиоактивного источника в комплекте прибора требует строгого соблюдения правил эксплуатации и техники безопасности. Несоблюдение этих правил создает потенциальную опасность для обслуживающего персонала и окружающих. В нормальных условиях и режимах эксплуатации, предусмотренных заводской инструкцией, облучение не превышает уровней, допустимых существующими санитарными правилами.

Наибольшее распространение в практике инженерно-геологических исследований нашли следующие радиоизотопные методы: 1) гамма-метод измерения объемной массы горных пород (приборы, основанные на этом методе, получили название гамма-плотномеров); 2) гамма-гамма-метод измерения объемной массы (приборы, реализующие метод — гамма-гамма-плотномеры или гамма-гамма-каротажные устройства); 3) нейтрон-нейтронный метод измерения влажности (соответственно приборы — нейтрон-нейтронные влагомеры); 4) нейтрон-гамма-метод определения влажности (соответственно приборы — нейтрон-гамма-влагомеры).

Для приборов 3-й и 4-й групп широко используется обобщенное наименование — нейтронные влагомеры. При помощи поверхностных приборов измерения осуществляются непосредственно на поверхности раздела порода — воздух. К этой группе приборов относятся штыревые гамма-плотномеры, поверхностные гамма-гамма-плотномеры и поверхностные нейтронные влагомеры. Глубинные приборы используются для проведения измерений в скважинах.

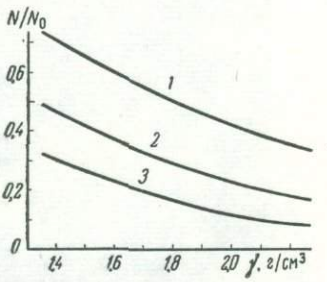


Рис. 21. Градуировочные графики гамма-плотномера ГП-0-50 для слоя грунта (см):
1 — 30; 2 — 40; 3 — 50

В табл. 21 представлены марки радиоизотопных плотномеров и влагомеров. Здесь же приводятся технические данные, необходимые для выбора или для оценки практических возможностей их использования в тех или иных конкретных условиях.

Для реализации радиоизотопных измерений необходимо обеспечить физический доступ датчику (зонду) прибора к исследуемой породе, а именно: 1) для поверхностных (приставных) приборов — доступ к некоторой предварительно выровненной поверхности исследуемой породы (естественные обнажения, горные выработки); 2) для штыревых гамма-плотномеров — введение вручную штыря с источником в породу, что возможно лишь для рыхлых отложений (или использование шнуров того же диаметра); 3) для глубинных приборов — бурение скважин диаметром, соответствующим диаметру зонда с обсадкой или без нее.

Гамма-метод основан на использовании функциональной зависимости между степенью поглощения гамма-излучения и объемной массой горной породы при заданной и фиксированной толщине слоя этой породы. Увеличение объемной массы исследуемой среды вызовет повышение ее поглощающей способности и уменьшение регистрируемой интенсивности гамма-излучения. Само измерение сводится к выявлению интенсивности гамма-излучения, проходящего через некоторый слой горной породы. Значение плотности исследуемой породы определяется либо с помощью аналитических зависимостей (формул), либо по градуировочной характеристике прибора, выполненной в виде графика функции плотность — интенсивность гамма-излучения (рис. 21). Градуировочная зависимость приводится в заводской инструкции. Наибольший интерес для инженерно-геологической съемки представляют портативные штыревые гамма-плотномеры типа ГП-0-50 конструкции ВСЕГИНГЕО (рис. 22).

При помощи гамма-плотномеров измерение объемной массы проводится с дневной поверхности в обнажениях, шурфах и других горных выработках путем введения штыря-наконечника в породу. Толщина слоя исследуемой породы составляет 10—50 см и может изменяться в этих пределах по выбору оператора.

Гамма-гамма-метод основан на использовании функциональной зависимости между интенсивностью отраженного (рассеянного) средой гамма-излучения и ее объемной массой. В используемых в настоящее время приборах эта зависимость носит обратный характер: чем выше объемная масса исследуемой среды, тем ниже интенсивность

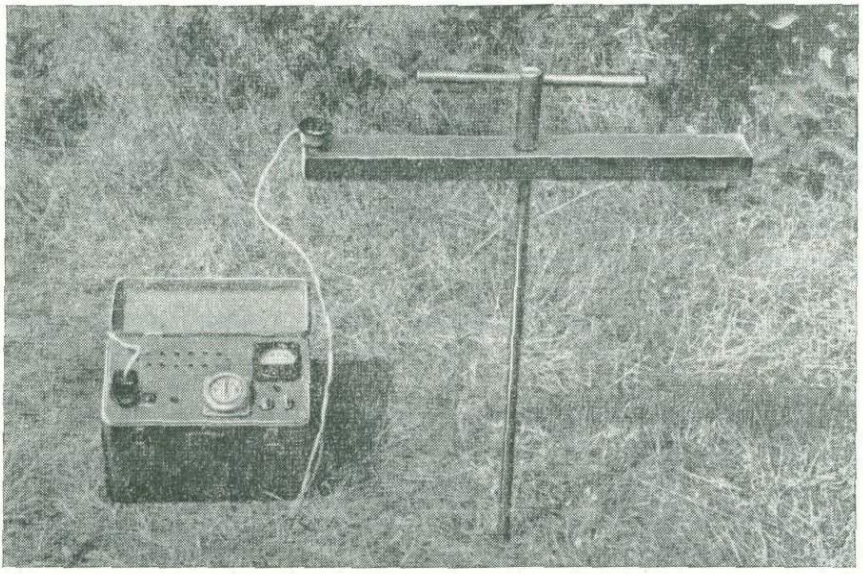


Рис. 22. Штыревой гамма-плотномер ГП-0-50 конструкции ВСЕГИНГЕО

рассеянного гамма-излучения. Измерение объемной массы по гамма-гамма-методу сводится к измерению интенсивности отраженного гамма-излучения и к нормировке (делению) на значение интенсивности, получаемое в контрольном устройстве. Затем, используя градуировочную характеристику прибора (рис. 23) и полученное значение отношения

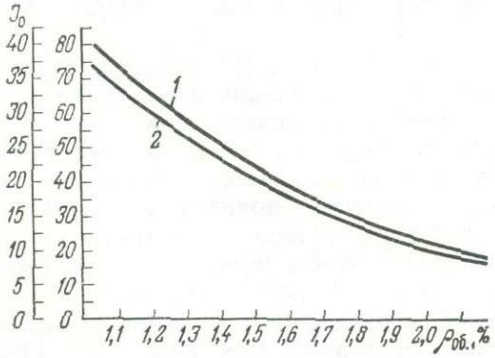


Рис. 23. Градуировочный график по плотности для универсального влагоплотномера УР-70:
1 — без обсадки; 2 — с обсадкой

интенсивностей, определяют искомое значение объемной массы. Градуировочная характеристика обычно прилагается к прибору и представляет собой график зависимости между регистрируемой интенсивностью рассеянного гамма-излучения и объемной массой среды.

Существуют две модификации гамма-гамма-плотномеров: поверхностные (приставные) и глубинные. Первые осуществляют измерения в полупространственной (2π) геометрии и используются для измерений при наличии доступа к поверхности исследуемого объекта (дневная по-

верхность, дно и стенки шурфа, обнажение). Следует учитывать, что эти приборы имеют незначительную глубинность (≈10—15 см) и нелинейно осредняют объемную массу в пределах чувствительного объема *. Перед проведением измерений с их помощью необходимо разравнять поверхность исследуемой породы.

Глубинные приборы с пространственной (4π) геометрией измерения получили наибольшее распространение. Конструктивно они выполняются в виде скважинного зонда (рис. 24), содержащего источник гамма-излучения (кобальт-60 или цезий-137), сцинтилляционный или газоразрядный счетчик рассеянного гамма-излучения, защитный экран из свинца между источником и счетчиком, входные электронные каска-

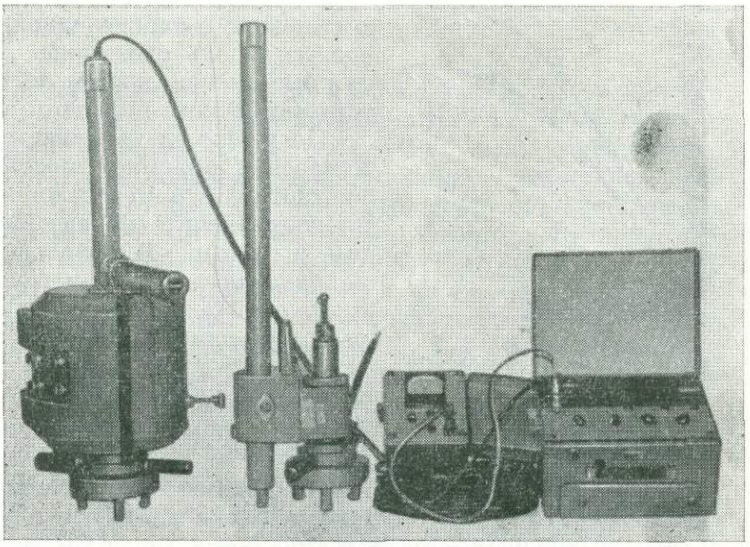


Рис. 24. Радиоизотопный влагоплотномер УР-70

ды (согласующее устройство, предусилитель). Зонд кабелем соединяется с регистрирующим прибором. Для проведения измерений должна быть пройдена скважина, диаметр которой соответствует диаметру зонда. Глубина исследования по разрезу определяется длиной кабеля.

Нейтронные методы измерения влажности основаны на эффекте замедления нейтронов на ядрах водорода, входящего в состав воды, содержащейся в горных породах.

Поскольку замедляющая способность горных пород по отношению к быстрым нейтронам определяется в основном содержанием водорода, имеет место функциональная зависимость между интенсивностью замедленных нейтронов и влажностью. Если при этом измеряется интенсивность медленных нейтронов, то мы имеем дело с нейтрон-нейтронным методом; если же измеряется интенсивность захватного гамма-излучения, возникающего при поглощении медленных нейтронов скелетом породы, то имеет место нейтрон-гамма-метод измерения влажности. Соответственно этому определение влажности сводится к измерению интенсивности замедлившихся нейтронов или захватного гамма-излучения, а также снятию показаний влажности по градуировочному графику (рис. 25).

Основными конструктивными элементами нейтронных влагомеров являются: 1) зонд, состоящий из источника быстрых нейтронов, счет-

* Чувствительным называется объем породы вблизи датчика (зонда) радиоизотопного прибора, в пределах которого осуществляется измерение ее объемной массы или влажности.

чика медленных нейтронов или захватного гамма-излучения, входных электронных каскадов; 2) соединительный кабель; 3) регистрирующий прибор; 4) контрольно-градуировочное устройство (КГУ) для проверки прибора и контроля градуировочной характеристики.

Обычно КГУ выполняет и функцию защитного контейнера. Для проведения измерений глубинным (скважинным) нейтронным влагомером должна быть пройдена и обсажена скважина, внутренний диаметр которой соответствует внешнему диаметру скважинного зонда. Сами измерения могут производиться в дискретном и непрерывном режимах регистрации. В первом случае зонд устанавливается на требуемой глубине и производится измерение интенсивности нейтронного излучения. Во втором случае запись ведется самопишущим потенциометром, *а сам зонд с определенной скоростью* перемещается вдоль скважины. Для этой цели могут быть использованы лебедки с ручным или автоматическим приводом.

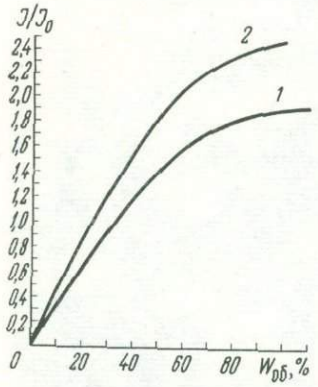


Рис. 25. Градуировочный график прибора УР-70 по влажности:

1 — с обсадной трубой; *2* — без обсадной трубы

Погрешности измерений, возникающие при измерении объемной массы и влажности радиоизотопными методами и приборами, можно подразделить на систематические, случайные и грубые. В свою очередь, эти ошибки *подразделяются на инструментальные* (аппаратурные, технологические), ошибки оператора и погрешности, вытекающие из изменчивости исследуемого свойства. В нашем случае систематические ошибки устраняются благодаря: 1) соответствующему конструктивному и заводскому исполнению приборов; 2) регулярному контролю градуировочной зависимости; 3) нормированию результатов измерения по отношению к значению интенсивности, регистрируемой в контрольно-градуировочном устройстве.

Случайные погрешности возникают за счет: 1) статистической природы распада используемых источников излучения; 2) статистической природы взаимодействия излучения с веществом; 3) случайных вариаций изучаемого свойства в пределах чувствительного объема на участке наблюдения (в разрезе, на профиле, на площадке и т. п.).

Относительная среднеквадратическая статистическая погрешность отдельного радиометрического измерения равна:

$$\delta(I) = \frac{1}{\sqrt{It}} = \frac{1}{\sqrt{N}},$$

где $I = \frac{N}{t}$ — интенсивность регистрируемого излучения; N — число отсчетов за время измерения t. Современные приборы обеспечивают возможность набора $N \geqslant 10$ тыс. имп., и, следовательно, погрешность отдельного радиометрического измерения $\sigma(I) \leqslant 1\%$. Как правило, приходится использовать результат двух радиометрических измерений — *на среде* (I_1) *и в контрольно-градуировочном устройстве* (I_2). *В этом случае* суммарная ошибка радиометрических измерений составит величину

$$\delta_p = \sqrt{\delta^2(I_1) + \delta^2(I_2)},$$

где $\sigma(I_1)$ и $\sigma(I_2)$ определяются по предыдущей формуле. С учетом погрешности градупровки окончательная погрешность отдельного измерения плотности или влажности *оценивается величиной*

$$\delta_\Sigma = \sqrt{\frac{\delta^2}{\mathrm{tg}^2\alpha} + \delta_r^2},$$

где α — угол наклона градуировочного графика, у которого по оси абсцисс отложено значение измеряемой величины, а по оси ординат — отношение I_1/I_2.

При измерениях на каком-то достаточно однородном участке пород (площадка, пласт и т. п.) обычное осреднение и формулы математической статистики позволяют оценивать вклад естественных флуктуаций изучаемого свойства и получать обобщенную оценку достоверности получаемой информации и относительного вклада различных составляющих случайных ошибок.

К грубым погрешностям относятся результаты, отклонение которых превышает ожидаемые отклонения или результаты, связанные с техническими или технологическими неполадками (выход из строя прибора, неустойчивая его работа, истощение источников питания, каверны, зазоры и т. д.). Грубые выбросы после идентификации отбрасываются (отбраковываются).

Опыт показывает (см. табл. 21), что рядовые среднеквадратические погрешности измерения объемной массы составляют $\pm 0{,}02$ г/см^3, а влажности $\pm 2{,}0\%$.

Получение и контроль градуировочной зависимости. В процессе эксплуатации должен производиться контроль сохранности градуировочной зависимости. В том случае, если предполагаются измерения на горных породах с использованием технологии, отличающейся от той, для которой получена первичная градуировочная зависимость (сильно засоленные грунты; смена диаметра, материала и толщины обсадных труб), необходимо заново переградуировать прибор.

Градуировку рекомендуется осуществлять с помощью: 1) специальных многопозиционных контрольно-градуировочных устройств (КГУ), которыми снабжены приборы (например, УР-70, ГП-0-50). Многопозиционное КГУ обеспечивает проверку градуировочной зависимости в нескольких точках в диапазоне измерения без особых усилий и в любое необходимое время; 2) моделей сред с известной объемной массой и влажностью, на базе партии или экспедиции могут быть изготовлены и стационарные емкости, заполненные горной породой; 3) на натурных средах, т. е. на достаточно однородных участках горных пород с параллельным отбором не менее 10—20 проб и определением объемной массы и влажности строго в пределах чувствительного объема данного прибора.

Если отбор проб произведен в меньшем количестве или за пределами объема породы, характеризуемого чувствительным объемом прибора, возможно возникновение погрешностей, которые в последующем скажутся как незафиксированные систематические погрешности. Градуировка на натурных средах наиболее трудоемка и наименее качественна.

Технология измерений на серийно выпускаемых приборах обычно подробно излагается в заводских инструкциях, содержащихся в комплектах приборов.

Примеры. Определение объемной массы прибором ГП-0-50. Измерения производились в августе 1973 г. в Запорожской области на берегу Каховского водохранилища. Грунт — илистый песок. Прибор ГП-0-50 изготовлен в лаборатории ВСЕГИНГЕО. Определения производились с использованием градуировочного графика, представленного на рис. 21.

В табл. 22 приведены результаты измерений на двух площадках.

Определение объемной массы и объемной влажности влагоплотномером УР-70. В табл. 23 и на рис. 26 представлены результаты измерений, проведенных в необсаженной скважине в районе г. Надым. Скважина вскрывала разрез многолетнемерзлых песчано-суглинистых пород. Там же приведены результаты измерений и их обработки. По этим результатам рассчитывались объемная масса скелета и объемная влажность породы.

Для оценки физико-механических свойств горных пород используются сейсмические и однотипные с ними ультразвуковые методы. Основой применения этих методов для решения указанных задач является существование тесных связей между сейсмоакустическими свойствами пород, с одной стороны, и показателями их физико-механических свойств — с другой. При этом под сейсмоакустическими свойствами пород

Таблица 22

Измерения объемной массы пород прибором ГП-0-50

Дата измерения	Индекс площадки	Контрольный отсчет (N_0), имп/мин	Измеренный слой, см	Отсчет (N_1), имп/мин	$\frac{N_1}{N_0}$	Объемная масса, г/см³	Ошибка измерения, г/см³
16.8. 1972 г.	1	24 216	0—30	12 864	0,513	1,781	±0,03
			0—40	8 120	0,285	1,84	±0,03
			0—50	3 968	0,158	1,85	±0,03
28.8. 1972 г.	2	24 160	0—30	13 440	0,539	1,72	±0,03
			0—40	6 976	0,280	1,84	±0,03
			0—50	3 392	0,152	1,87	±0,03

Таблица 23

Определение объемной влажности и объемной массы радиоизотопным влагоплотномером УР-70

H, м	N_0 имп. t=50 с	N_1 имп. t=50 с	$\frac{J_1}{J_0}$	W, %	ΔW, % абс.	N_0 имп. t=50 с	N_1 имп. t=20 с	$\frac{J_1}{J_0}$	ρ, г/см³	$\pm\Delta\rho$, г/см³
0,5	12 410	26 693	2,17	64,5	1,5	16 341	45 634	7,0	1,15	0,011
1,0	12 410	28 393	2,29	73,0	1,5	16 341	45 621	7,0	1,15	0,011
1,5	12 410	19 612	1,58	40,5	2	16 341	23 243	3,0	1,79	0,008
2,5	12 410	17 853	1,44	36,0	2	16 341	16 212	2,54	1,92	0,009
2,0	12 410	17 622	1,42	35,5	2	16 341	17 852	2,71	1,84	0,009
3,0	12 410	16 892	1,36	34,0	2	16 341	16 426	2,56	1,91	0,009
3,5	12 410	18 009	1,45	36,5	2	16 341	16 231	2,54	1,92	0,009
4,0	12 410	19 228	1,55	39,5	2	16 341	17 835	2,71	1,84	0,009
4,5	12 410	19 356	1,56	40,0	2	16 331	17 648	2,75	1,85	0,009
5,0	12 410	19 227	1,55	39,5	2	16 341	18 181	2,79	1,81	0,009
5,5	12 410	19 611	1,58	40,5	2	16 341	14 931	2,29	1,99	0,009
6,0	12 410	19 224	1,55	39,5	2	16 341	21 383	3,28	1,72	0,008
6,5	12 410	24 373	1,99	54,5	1,5	16 341	26 397	4,05	1,57	0,008
7,0	12 410	23 114	1,87	50,0	1,7	16 341	26 389	4,05	1,57	0,008
7,5	12 410	24 071	1,94	52,5	1,6	16 341	22 012	3,38	1,70	0,008
8,0	12 410	22 295	1,82	48,0	1,5	16 341	28 349	4,36	1,52	0,008
8,5	12 410	24 293	1,98	54,0	1,5	16 341	27 651	4,25	1,53	0,008
9,0	12 410	20 827	1,68	43,5	1,8	16 341	20 991	3,22	1,74	0,009
9,5	12 410	23 229	1,90	51,0	1,5	16 341	26 052	4,00	1,58	0,008

понимаются скорости и коэффициенты поглощения продольных и поперечных волн — сейсмических или ультразвуковых.

В результате теоретических и экспериментальных исследований в настоящее время установлены и используются для практических расчетов связи между сейсмоакустическими характеристиками пород и такими их параметрами, как коэффициент трещиноватости, статический модуль упругости, модуль деформации, временное сопротивление сжатию, коэффициент отпора — для скальных пород, дисперсность, плотность скелета (общая пористость), модуль деформации, временное сопротивление сжатию, удельное сцепление — для рыхлых пород (рис. 27). Кроме того, с помощью сейсмических и ультразвуковых методов для любых пород может быть однозначно определен динамический коэффициент Пуассона и произведена оценка динамического модуля Юнга (для точного определения последнего необходимо дополнительно знать величину плотности породы). Эти характеристики очень важны при проведении исследований в сейсмически активных районах.

Разница между сейсмическими и ультразвуковыми методами заключается в различной длине используемых волн и соответственно — в разной масштабности исследований. При этом, если ультразвуковые методы обычно изучают такие же по размерам объемы пород, как те, которые подвергаются стандартному лабораторному инженерно-геологическому опробованию, то сейсмические исследования характеризуют большие объемы пород. Данное обстоятельство делает трудносопоставимыми результаты сейсмических и стандартных лабораторных определений на образцах в случае существенно

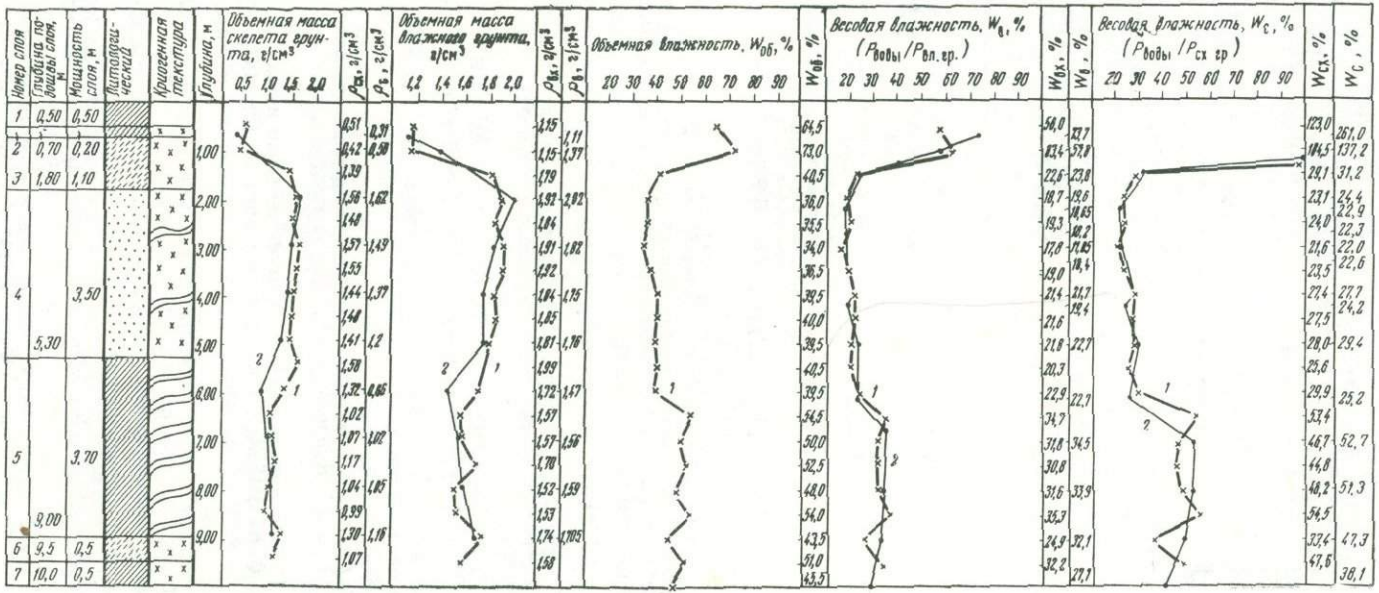


Рис. 26. Результаты измерения плотности и объемной влажности, проведенные прибором УР-70 *(1)* в районе г. Надым, а также результаты расчета объемной массы скелета и весовой влажности пород *(2)*

неоднородных сред, хотя при этом сейсморазведка дает вполне объективную информацию о свойствах изучаемого массива в целом. В том случае, если среды близки к однородным, эти трудности отпадают. Результаты ультразвуковых определений в горных выработках и на образцах всегда могут быть сопоставимы с результатами равномасштабных с ними стандартных лабораторных испытаний. Хотя в задачу рассматриваемых инженерно-геологических съемок не входит определение расчетных инженерно-геологических показателей пород, приближенная их оценка с помощью сейсмических или ультразвуковых методов является весьма важной — как для сравнительной характеристики различных участков, так и в качестве основы для последующих, более детальных исследований.

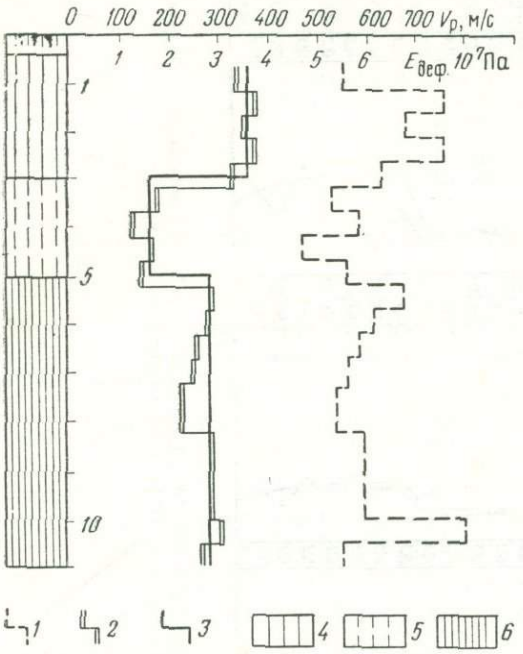


Рис. 27 Определение модуля деформации с помощью методов сейсмоакустики (*по И. Г. Минделю*):

1 — график изменения скорости продольных волн с глубиной; *2* — график изменения модуля деформации с глубиной по данным сейсмоакустики; *3* — средние значения модуля деформации для соответствующих типов пород по данным штампов. Лёссовидный суглинок; *4* — средний, *5* — легкий, *6* — тяжелый

Несмотря на различие методических приемов и расчетных формул, используемых при оценке неодинаковых показателей свойств пород по сейсмическим данным, существует общая методическая основа подобных исследований, предполагающая: 1) совместное использование продольных и поперечных волн; 2) изучение не только их кинематических (скорости), но и динамических (поглощение) характеристик; 3) использование упругих колебаний различных диапазонов частот; 4) наличие некоторого количества опорных стандартных определений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 11

1. *Акимов А. Г.* Результаты мерзлотно-геофизических исследований в восточной части Большеземельской тундры. — «Тр. Ин-та мерзлотоведения АН СССР им. В. А. Обручева», 1959, т. 15, с. 5—46.

2. *Берзон И. С.* Высокочастотная сейсмика. М., Изд-во АН СССР, 1957. 302 с.

3. *Блох И. М.* Электропрофилирование методом сопротивлений. М., Госгеолтехиздат, 1962. 240 с.

4. *Временные* методические указания по производству определений объемной массы и влажности почвогрунтов в зоне аэрации с помощью гамма-лучей и нейтронов. М., 1968. 72 с. (ВСЕГИНГЕО).

5. *Вешев А. В. и др.* Электромагнитное профилирование. Л., «Недра», 1971. 216 с.

6. *Гамбурцев Г. А. и др.* Корреляционный метод преломленных волн. М., Изд-во АН СССР, 1952. 239 с.

7. *Горяинов Н. Н.* Сейсморазведка при инженерно-геологических исследованиях рыхлых пород. — «Тр. ВСЕГИНГЕО». Ротапринтная серия № 172, 1971, 88 с.

8. *Дортман Н. Б.* Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. М., «Недра», 1964. 326 с.

9. *Кобранова В. Н.* Физические свойства горных пород (петрофизика). М., Гостоптехиздат, 1962. 400 с.

10. *Комаров В. А.* Электроразведка методом вызванной поляризации. Л., «Недра», 1972. 344 с.

11. *Липская А. Э., Ряполова В. А.* Методика геофизических исследований при инженерно-геологических изысканиях. — «Тр. ПНИИИС. Методика изысканий», 1969, т. 1, 224 с.

12. *Ляховицкий Ф. М.* Методика и интерпретация данных сейсморазведки при инженерно-геологическом картировании. Обзор ОНТИ ВИЭМС, 1970. 63 с.

13. *Методы* геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии (методическое руководство). М., «Недра», 1972. 296 с.

14. *Методические* указания по измерениям влажности и плотности почвогрунтов радиометрическими влагомерами и плотномерами при почвенных, гидромелиоративных и инженерно-геологических изысканиях. Вып. 1, 2. М., 1966—1967, ВНИИГИМ. 38 с.

15. *Огильви А. А.* Геофизические методы исследований. М., Изд-во МГУ, 1962. 412 с.
16. *Семенов А. С.* Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., «Недра», 1968. 380 с.
17. *Сейсмоакустические* методы изучения массивов скальных пород. М., «Недра», 1969. 239 с. Авт.: А. И. Савич, В. И. Контев, В. Н. Никитин, З. Г. Ященко.
18. *Справочник* геофизика. Т. 1. М., Гостоптехиздат, 1960.
19. *Справочное* руководство по применению ядерных методов в гидрологии и гидрогеологии. М., «Недра», 1971. 256 с.
20. *Физические* свойства осадочного покрова территории СССР. М., «Недра», 1967. 772 с.
20. *Ферронский В. И. и др.* Радиоизотопные методы в инженерной геологии и гидрогеологии. М., Атомиздат, 1968. 303 с.
21. *Хмелевской В. К.* Основной курс электроразведки. Ч. 1. М., Изд-во МГУ, 1970. 245 с.
22. *Черняк Г. Я., Мясковский О. М.* Радиоволновые методы исследований в гидрогеологии и инженерной геологии. М., «Недра», 1973. 176 с.
23. *Шарапанов Н. Н., Черняк Г. Я.* Применение метода вызванной поляризации при гидрогеологических съемках и разведке подземных вод (Методические рекомендации). М., 1972. 76 с. (ВСЕГИНГЕО).
24. *Якубовский Ю. В., Ляхов Л. Л.* Электроразведка. М., «Недра», 1964. 418 с.
25. *Якубовский Ю. Б.* Электроразведка. М., «Недра», 1973. 304 с.
26. *Якупов В. С.* Определение мощности современных рыхлых отложений методом ВЭЗ в районах с низкой температурой многолетнемерзлого слоя. Тр. Ин-та мерзлотоведения АН СССР им. В. А. Обручева, 1959, т. 15, с. 144—183.
27. *Якупов В. С.* Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ. М., «Наука», 1968. 179 с.

Глава 12

ПЕНЕТРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Пенетрация, или зондирование, является полевым методом, позволяющим изучать разрез рыхлых отложений. Метод основан на определении сопротивления породы внедрению в нее зонда. В зависимости от способа погружения зонда в породы (динамической или статической нагрузкой) метод называют динамическим или статическим зондированием. При динамическом зондировании сопротивление пород обычно выражают величиной условного сопротивления пенетрации, а при статическом — основной характеристикой пород является удельное сопротивление внедрению наконечника зонда. Величины условного и удельного динамического и статического сопротивлений породы внедрению зонда зависят от многих переменных: пористости, степени водонасыщения, гранулометрического состава, формы минеральных зерен, сцепления и пр. Поэтому результаты зондирования являются обобщенными показателями, характеризующими породу по совокупности признаков и корреляционно связанными с отдельными показателями состава, состояния и свойств.

Зондирование позволяет значительно сокращать объемы картировочных выработок и с достаточной для практических целей точностью решать следующие задачи: 1) дифференцировать разрез песчано-глинистых пород; 2) получать данные, необходимые для установления режима пространственной изменчивости инженерно-геологических свойств отложений; 3) определять некоторые свойства пород — динамическое или статическое сопротивление пенетрации, объемную массу песчаных образований, пластичность глинистых пород.

Сравнительная простота оборудования и производства работ определяют большую экономичность этого метода. Весьма примечательны в этом отношении сравнительные данные ВСЕГИНГЕО, показавшие, что по скорости динамическая пенетрация в 2—3 раза производитель-

нее бурения. Между точками зондирования в характерных местах изучаемых профилей рационально закладывать буровые скважины или горные выработки других типов. Подобное сочетание зондировочных скважин с горно-буровыми выработками позволяет сократить общий объем работ по расчленению геологического разреза.

Динамическую и статическую пенетрацию при мелко- и среднемасштабной съемке целесообразно применять для установления режима пространственной изменчивости свойств пород. С этой целью профили зондировочных скважин, о которых говорилось выше, располагают в пределах выделенных петрографических типов пород по главным направлениям. Методы оценки режимов пространственной изменчивости свойств, состава и состояния пород по данным пенетрации на профилях, ориентированных по главным направлениям, рассмотрены ниже. Зондирование может быть использовано также для оконтуривания и исследования старичных и других слабых отложений, исследования оползневых явлений и пр. При инженерно-геологической съемке применяются как забивные зонды (динамическое зондирование), так и зонды, погружаемые вдавливанием (статическое зондирование).

Разделяют: 1) установки глубинного зондирования — до глубины нескольких десятков метров; 2) плотномеры и ударники различных систем для мелкого зондирования — до глубины 1,0—1,5 м.

Установки статического зондирования позволяют проводить исследования до глубины 15—30 м, динамического — до 30 м.

Наиболее эффективным является комплексирование зондирования с каротажными методами, в результате которого удается получить целый ряд характеристик состава и свойств пород.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Динамическое зондирование при инженерно-геологических изысканиях применяется в нашей стране более широко, чем статическое, из-за простоты оборудования и сравнительной быстроты получения данных.

Сущность метода динамического зондирования заключается в измерении сопротивления, оказываемого породой внедрению в нее свободно падающего молота зонда с коническим наконечником. Стандартный диаметр конуса 74 мм, угол при вершине 60°.

Конический наконечник насаживают или навинчивают на штангу диаметром 42 мм. Свободно насаженный наконечник при извлечении штанг после зондирования остается в породе. Этим облегчается подъем штанг, так как их диаметр меньше диаметра конуса. Если наконечник навинчен, то его извлекают вместе со штангами. В настоящее время наиболее распространена буровая пенетрационная установка УБП-15 конструкции Гидропроекта. Масса молота этой установки 60 кг, высота подъема 80 см. При забивке конуса определяют число стандартных ударов, необходимых для погружения зонда на определенный интервал, либо глубину погружения зонда от постоянного числа ударов — залога. Сопротивление, оказываемое породой внедрению забивного зонда (динамическое сопротивление пенетрации), складывается из сопротивления породы забивке наконечника и из сил трения между боковой поверхностью зонда и породой. Обычно динамическое сопротивление пенетрации выражают в виде условного сопротивления, измеряемого числом стандартных ударов молота, необходимых для погружения зонда на 1 дм

$$N = 10 \cdot \frac{n}{S_з},$$

где n — число ударов в залоге; $S_з$ — осадка зонда от залога, см; N — динамическое сопротивление пенетрации, уд./дм.

Величина N нуждается в поправках, учитывающих увеличение массы зонда с глубиной в результате наращивания штанг и возрастания трения по боковой поверхности зонда.

В соответствии с положениями ГОСТ 19912—74 результаты динамического зондирования пенетрации выражаются в виде сопротивления грунта наконечнику, приходящегося на единицу площади поперечного сечения его. Оно называется условным динамическим сопротивлением грунтов $P_д$. Его рассчитывают по формуле

$$P_д = \frac{K\,П_0\,Ф_n}{h},$$

где K — коэффициент учета потерь энергии при ударе, определяемый по табл. 24; $П_0$ — показатель удельной кинетической энергии, равный $110 \cdot 10^5$ Па (для УБП-15); Ф — коэффициент учета трения штанг о грунт (определяется экспериментально); n — количество ударов в залоге; h — глубина погружения зонда за залог, см.

Таблица 24

Определение коэффициента учета потерь энергии (K) при ударе

Интервалы глубин зондирования, м	Значения K для установки УБП-15
0,5—1,5	0,65
1,5—4,0	0,62
4—8	0,58
8—12	0,55
12—16	0,52
16—20	0,49

По результатам зондирования строят графики изменения показателя $P_д$ по глубине, а при массовом опробовании пород методом глубинного зондирования составляют также профили и карты.

Графики зондирования строят в масштабе 1 : 100 по оси ординат и $20 \cdot 10^5$ Па в 1 см по оси абсцисс. График дает представления об изменении сопротивления породы внедрению зонда; величину сопротивления ($P_д$) на графике показывают отрезками, параллельными оси абсцисс.

По графикам зондирования производят расчленение разреза на однородные по механическим свойствам слои. Результаты динамического зондирования в большинстве случаев используются для общей оценки плотности — прочности пород исследуемых разрезов, плотности сложения, определения положения кровли скальных пород, оконтуривания старичных отложений, оценки режима пространственной изменчивости состава и свойств пород, интерполяции данных разведочных выработок и др.

В меньшей степени динамическое зондирование может применяться для количественной оценки физико-механических свойств пород — угла внутреннего трения и модуля общей деформации, поскольку это требует предварительного установления корреляционной связи динамического сопротивления пенетрации с показателями физико-механических свойств данных отложений.

Относительная простота оборудования и технологического цикла испытания пород динамическим зондированием позволяет поставить этот метод в ряд экспресс-методов, используемых для получения обобщенных оценок инженерно-геологических свойств пород.

СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Статическое зондирование производится путем вдавливания зонда в породу с одновременной регистрацией общего сопротивления породы наконечнику зонда и трения по боковой поверхности зонда или отдельного его элемента.

Установки статического зондирования в большинстве случаев состоят из следующих узлов: зонда (включающего наконечник и штан-

ги), домкрата или домкратов (винтовых, реечных, гидравлических или др.) для вдавливания зонда, анкерных свай (или балласта) для восприятия реактивного давления, измерительной аппаратуры. Наиболее часто наблюдаемые размеры зонда и штанг следующие: диаметр зонда 35,6 мм, площадь поперечного сечения 10 см², диаметр штанг 33,5 мм, угол заострения конуса 60°.

Широко распространенными в настоящее время являются установки: С-979, разработанная институтом «Фундаментпроект», и С-832 — конструкции БашНИИСтроя.

Статическое зондирование применяют для расчленения разреза рыхлых пород на слои и оценки показателей физико-механических свойств пород. Обычно для этих целей используют значения удельного сопротивления наконечнику зонда P_q (общее сопротивление наконечнику, деленное на площадь его поперечного сечения) и трение по боковой поверхности зонда P_Q.

В соответствии с СНиП 11-15-74 по величине P_q может быть оценен такой показатель, как плотность сложения песков (табл. 25). Кро-

Таблица 25

Классификация плотности сложения песков по данным статического и динамического зондирования (СНиП II 15—74)

Пески	Плотность сложения песков		
	плотные	средней плотности	рыхлые
По сопротивлению погружения конуса (P_q, 10^5 Па) при статическом зондировании			
Крупные и средней крупности, независимо от влажности	$P_q > 150$	$150 \geqslant P_q \geqslant 50$	$P_q < 50$
Мелкие, независимо от влажности	$P_q > 120$	$120 \geqslant P_q \geqslant 40$	$P_q < 40$
Пылеватые:			
маловлажные	$P_q > 100$	$100 \geqslant P_q \geqslant 30$	$P_q < 30$
водонасыщенные	$P_q > 70$	$70 \geqslant P_q \geqslant 20$	$P_q < 20$
По условному динамическому сопротивлению погружения конуса ($P_д$ 10^5 Па) при динамическом зондировании			
Крупные и средней крупности, независимо от влажности	$P_д > 125$	$125 \geqslant P_д \geqslant 35$	$P_д < 35$
Мелкие:			
маловлажные и влажные	$P_д > 110$	$110 \geqslant P_д \geqslant 30$	$P_д < 30$
водонасыщенные	$P_д > 85$	$85 \geqslant P_д \geqslant 20$	$P_д < 20$
Пылеватые маловлажные и влажные	$P_д > 85$	$85 \geqslant P_д \geqslant 20$	$P_д < 20$

ме того, можно оценить консистенцию глинистых и суглинистых пород, модуль деформации и некоторые сдвиговые характеристики песков.

Разработанная классификация позволяет определять консистенцию связных грунтов по результатам статического зондирования.

Приведем следующее соотношение консистенции связных грунтов и результатов статического зондирования (10^5 Па):

Более 100	Твердая
50—100	Полутвердая
20—50	Тугопластичная
Менее 10	Текучепластичная

При мелкомасштабных съемках статическое зондирование целесообразно использовать (при отсутствии пенетрационно-каротажных станций) для исследования разрезов на ключевых участках.

ПЕНЕТРАЦИОННО-КАРОТАЖНЫЕ МЕТОДЫ

Основу пенетрационно-каротажного комплекса составляет совмещение методов статического зондирования и радиоактивного каротажа. В результате этого удается получить сведения о свойстве и составе пород непосредственно в полевых условиях по глубине зондирования.



Рис. 28. Пенетрационно-каротажная станция СПК-Т

Реализация этих методов найдена в созданных и серийно выпускаемых пенетрационно-каротажных станциях СПК и СПК-Т. Станции могут быть использованы для инженерно-геологических исследований в породах до глубины 30 м, поддающихся проходке с усилием вдавливания каротажного зонда 10—20 т. В процессе вдавливания зонда непрерывно выдается комплексная информация о физико-механических свойствах грунтов. Станция СПК состоит из зондирующей установки СПКУ для вдавливания зондов, смонтированной на автомобиле ЗИЛ-157К, и лаборатории СПКЛ с регистрирующей аппаратурой, смонтированной на автобусе ГАЗ-66.

Станция СПК-Т смонтирована на базе одной машины ЗИЛ-131. Как известно, пенетрационно-каротажные станции СПК, СПК-Т (рис. 28) позволяют получать непрерывно по глубине (до 20—30 м) диаграммы изменения объемной влажности $W_{об}$, объемной массы $\gamma_{об}$, естественного гамма-фона J_γ, удельного сопротивления породы наконечнику зонда R, сопротивления породы трению цилиндрического элемента зонда T. Эти показатели дают возможность определить основные свойства пород. Интерпретация результатов работ является наиболее сложным звеном пенетрационно-каротажных работ.

Первым этапом при интерпретации пенетрационно-каротажных диаграмм является установление геологического строения разрезов песчано-глинистых пород. При этом могут быть два случая: 1) при наличии опорных скважин или горных выработок; 2) на основе интерпретации только данных пенетрационно-каротажного комплекса методов.

При наличии разрезов буровых скважин и горных выработок производится прослеживание между выработками или скважинами простирания и выдержанности горных пород, установление однородности ряда свойств слоев каждой породы или более дробное разделение их по каким-либо определенным свойствам.

Работы начинаются с проведения пенетрационно-каротажного зондирования по разряженному профилю с тем, чтобы на первом этапе в общих чертах представить геологическое строение изучаемой территории, выдержанность и расположение структурных элементов в разрезе, а также установить места заложения опорных выработок. Диаграммы всех пунктов зондирования обрабатываются и на них выделяются слои, сложенные породами с однородными или близкими физико-механическими свойствами и соответствующие пластам и линзам. Затем строится профиль распределения слоев с однородными физико-механическими свойствами и на нем выявляются места, наиболее полно представленные всеми характерными породами района, а также участки, корреляция которых по данным пенетрационно-каротажного комплекса по каким-либо причинам затруднительна. В этих местах производится проходка опорных горных выработок или буровых скважин.

Количество опорных выработок определяется сложностью геологического строения исследуемой территории. Опорные выработки располагаются не далее 1 м от точки зондирования. В них осуществляется отбор образцов для лабораторного анализа гранулометрического состава и определения пластичности пород. Глубины их отбора устанавливаются по диаграммам пенетрационного каротажа с таким расчетом, чтобы каждая из проб характеризовала определенный слой породы (или его часть) и не была бы отобрана из приконтактовых разностей или мелких пропластков, прослоев, т. е. породы, отличной от общей массы. Количество опорных выработок может быть сокращено за счет использования пробоотборника, входящего в комплект станции. На основании лабораторных анализов проб производится определение вида горных пород для слоев, выделенных по пенетрационным диаграммам, и устанавливаются для каждого слоя количественные показатели всех параметров комплекса, а также конфигурация индикационных линий. При этом определяются средние значения параметров и разброс их колебаний для каждого слоя.

После этого по исследуемому профилю при необходимости производится сгущение пунктов зондирования. Указанные количественные показатели и конфигурация индикационных линий, характерные для каждого слоя породы, позволяют по всем диаграммам производить выделение маркирующих горизонтов, а затем и всех элементов разреза последующих пунктов зондирования.

При определении геологического строения исследуемого участка без бурения скважин или проходки горных выработок (на основании данных пенетрационно-каротажного комплекса методов) работы выполняются в два этапа. На первом производится установление границ между слоями различных пород, а на втором — определение вида породы, т. е. присвоение ей названия согласно существующим классификациям. Пенетрационно-каротажные диаграммы всех методов комплекса обрабатываются по каждому пункту, после чего осуществляется их интерпретация. Выделение контактов между слоями пород производится по характерным перегибам диаграммных кривых. На диаграммах удельного лобового сопротивления положение контакта определяется путем сопоставления интервала R между концом перегиба с величинами U/R выше- и нижележащих слоев. На диаграммах T контакт фиксируется по началу перегиба кривой. На диаграммах ГГК и ННК эта граница проводится в точке перегиба кривой, величина которой равна 1/3 разности между величиной записи перекрывающего и определяемого сло-

ев (1/3 разности отсчитывается от верхнего слоя породы). При записи объемной массы пород кровля слоя, мощность которого превышает 40 см, фиксируется по началу перегиба диаграммной кривой в ту или иную сторону. Далее производится «сбивка» выделенных контактов по всем диаграммам комплекса каждого пункта зондирования и проверка выделенных слоев на их литологическую однородность по значениям естественной радиоактивности породы и отношению R/T. При наличии плавных переходов для определения положения границ используются методы математической статистики, из которых наиболее применимым является расчет с использованием критерия $V_к$ дискретных замеров значений всех пяти параметров в каждом интервале глубины через 0,5 или 0,25 м.

Выделенные таким образом интервалы по глубине зондирования будут представлять пласты, линзы и слои, сложенные определенной породой. Определение видов пород рекомендуется производить двумя способами: 1) методом сопоставления индикаторов; 2) методом расчета дискриминатора Z_0. Второй метод более точен. При определении вида пород используется целый ряд индикаторов, приведенных ниже. Количественные величины их должны быть получены путем данных пенетрационного каротажа по породам и расклассифицированных по гранулометрическому составу. Ниже приводятся значения индикаторов, полученные по отдельным районам европейской части СССР. Для каждого конкретного района они должны быть проверены и уточнены. В наибольшей степени это относится к лёссовым и лёссовидным породам Средней Азии и Казахстана.

Первоначально анализируется величина естественной гамма-активности пород. Для предварительного определения вида породы используются средние интервальные значения ее (в мк/ч): пески до 4,5; супеси от 4,5 до 7; суглинки от 7 до 11; глины свыше 11. Более точное определение производится по графику зависимости естественной радиоактивности от содержания глинистой фракции в породе, который строится при калибровке ГК для каждого стратиграфо-генетического комплекса.

По диаграммам R и T определяются средние значения удельного лобового сопротивления и удельного трения по боковой поверхности зонда для каждого слоя породы. Отношение R/T позволяет ориентировочно определить виды пород. В общем они колеблются: для глин от 5 до 25, для суглинков от 20 до 45, для супесей от 40 до 70, для песков от 60 до 140.

По сочетанию указанных выше индикаторов удается в большинстве случаев достаточно объективно определить ее название. Для уточнения и контроля следует также использовать дополнительные индикаторы, критерии и закономерности.

1. В зоне аэрации повышенной влажностью обычно обладают глинистые породы. Объемная влажность наиболее часто варьирует в следующих пределах (в %): для глин — 30—50, средняя 40; для супесей 8—35, средняя 19; для суглинков 18—45, средняя 34; для песков — 5—20, средняя 13.

2. Выше уровня грунтовых вод глинистые породы имеют мощную (до нескольких метров) зону капиллярного поднятия, в то время как в песчаных породах она либо отсутствует, либо весьма маломощная (изредка до нескольких десятков сантиметров). Наиболее часто встречающиеся значения высоты капиллярного поднятия следующие (в см): для глин >200, средние 250; для суглинков 90—300, средние 150; для супесей 30—90, средние 60; для песков 2—120, средние 30.

3. В общих случаях объемная масса глинистых пород выше песчаных. Наличие значительного количества гравийно-галечниковых включений увеличивает объемную массу породы. Наиболее часто встречающиеся колебания объемной массы и ее средние значения следующие (в т/м³): для глин 1,60—2,30, средние 1,94; для суглинков 1,40—2,20, средние 1,90; для супесей 1,50—2,00, средние 1,80; для песков 1,55—2,00, средние 1,73.

4. Объемная масса скелета породы (по ГГК и ННК) колеблется от 1,1 до 1,35 г/см³ и характерна для рыхлых глин, а для торфов 0,2—0,4 т/м³.

5. На контакте песков с глинистыми породами часто наблюдается пик — максимум на диаграммах R и T, превышающий по своему значению в 1,5—2 раза средние значения этих параметров для песков.

6. Значения удельного трения по боковой поверхности зонда бывают выше 30 Н/см², при небольших значениях R (до 300 Н/см²) и характерны для вязких пластичных глин и торфов.

7. По удельному лобовому сопротивлению, превышающему 1000—1250 Н/см², выделяются пески, а менее 100—120 Н/см² — глины.

8. Диаграммы R и T для глинистых пород имеют плавную, сглаженную, слегка волнистую индикационную линию, для песков резкую, изрезанную с пиками-максимумами. Гравийно-галечниковые отложения характеризуются пилообразной формой записи. Ориентировочный размах колебаний для R и T по каждому литологическому типу породы приведен ниже (в Н/см²). Для R: для глин 0—100, среднее 50; для суглинков 50—150, среднее 100; для супесей 100—300, среднее 200; для песков 300—700, среднее 500. Для T: для глин 1—3, среднее 2; для суглинков 2—4, среднее 3; для супесей 3—7, среднее 5; для песков 5—15, среднее 10.

Для определения вида породы методом дискриминатора Z_0 рекомендуются следующие индикаторы (признаки): а) величина естественной радиоактивности пород (J_γ, мк/ч); б) отношение удельного лобового сопротивления к удельному трению по боковой поверхности зонда (R/T, H/см²); в) величина удельного лобового сопротивления (R, H/см²); г) объемная масса породы по данным ГГК ($\gamma_{об}$, H/см³); д) размах колебания значений удельного лобового сопротивления (R_p, H/см²) и удельного трения по боковой поверхности зонда для каждого слоя (T_p, H/см²).

Методика проведения «опознания» горных пород требует первоначального определения порогов дискриминатора Z_0 по опорным горным выработкам для следующих пар: глины — суглинки; суглинки — супеси; супеси — пески. Расчет ведется следующим образом: для каждого признака и вида породы рассчитываются выборочные дисперсии σ^2_i

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1},$$

где n — количество замеров; $\bar{x}_i$ — среднее значение признака по опорной выработке; x_i — частные значения признака, и сводные дисперсии S^2_i

$$S_i^2 = \frac{(n_1-1)\,\sigma^2_{1i} + (n_2-1)\,\sigma^2_{2i}}{n_1+n_2-2}.$$

В этом выражении σ^2_{1i} и σ^2_{2i} — соответственно выборочные дисперсии i-го признака для сопоставляемых типов пород; n_1 и n_2 — объем первой и второй выборок. Затем рассчитываются пороги дискриминатора для каждой пары типов пород по формуле

$$L = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m} \frac{(\bar{x}_{1i})^2 - (\bar{x}_{2i})^2}{S_i^2},$$

где $\bar{x}_{1i}$, $\bar{x}_{2i}$ — средние значения признаков по первой и второй выборкам (сравниваемых типов пород); m — число признаков.

Для опознания породы в разрезе подсчитываются и сводятся в таблицу также значения коэффициентов дискриминатора

$$Z_0 - a = \frac{\bar{x}_{1i} - \bar{x}_{2i}}{S_i^2},$$

Практическое опознание породы в дальнейшем сводится к снятию с диаграмм ПКК средних значений признаков по изучаемому слою породы в разрезе и расчету дискриминатора Z_0 по формуле

$$Z_o = \sum_{i=1}^{m} a x_i,$$

где a — значение $\frac{\bar{x}_{1i} - \bar{x}_{2i}}{S^2_i}$ берется из табл. 27; x_i — среднее по изучаемому слою значение признака.

Пример интерпретации диаграмм пенетрационного каротажа рассмотрен ниже. Геологический разрез пункта зондирования представлен на рис. 29, а физические свойства слагающих пород приведены в табл. 26.

Таблица 26

Состав и физико-механические свойства пород по данным пенетрационного каротажа

Породы	Гранулометрический состав, %*				Число* пластичности	Естественная гамма-активность пород по ГК, мк/ч	$\gamma_{об}$ по ГГК, т/м³	$W_{об}$ по ННК, %	$\gamma_{ск}$, т/м³	R, Н/см²	T, Н/см²	R/T	Размах R_p	Размах T_p
	1—0,5	0,5—0,05	0,05—0,005	0,005										
Суглинки тяжелые с линзами глин	2	29—30	43—46	20—23	15	11,5	1,90	33	1,57	400	15	27	10	0,3
Пески мелкие	—	—	—	1	—	2,2	1,77	17	1,60	1000	11	90	15	0,2
Супеси тяжелые крупные	11,1	73—79	6—13	9—10	6	6,0	1,98	33	1,65	700	17	42	50	0,3
Глины пластичные	—	—	—	—	41	14,5	1,90	50	1,40	460	34	14	0	0,3
Выше УГВ							1,67	14	1,53	—	—	—	25	0,7
Пески глинистые с прослоями супесей и суглинков	—	—	—	2—5	—	3,5	—	—	—	1500	27	56	—	—
Ниже УГВ						—	1,92	40	1,52	—	—	—	30	0,8
Глины с желваковыми фосфоритами	—	—	—	—	—	16	2,20	20	2,00	1600	50	32	—	—
Глины пластичные и тугопластичные	—	4—6	25—35	60—69	31—48	12	1,78	45	1,33	450	30	15	15	0,3

* Гранулометрический состав и число пластичности определялись в лаборатории.

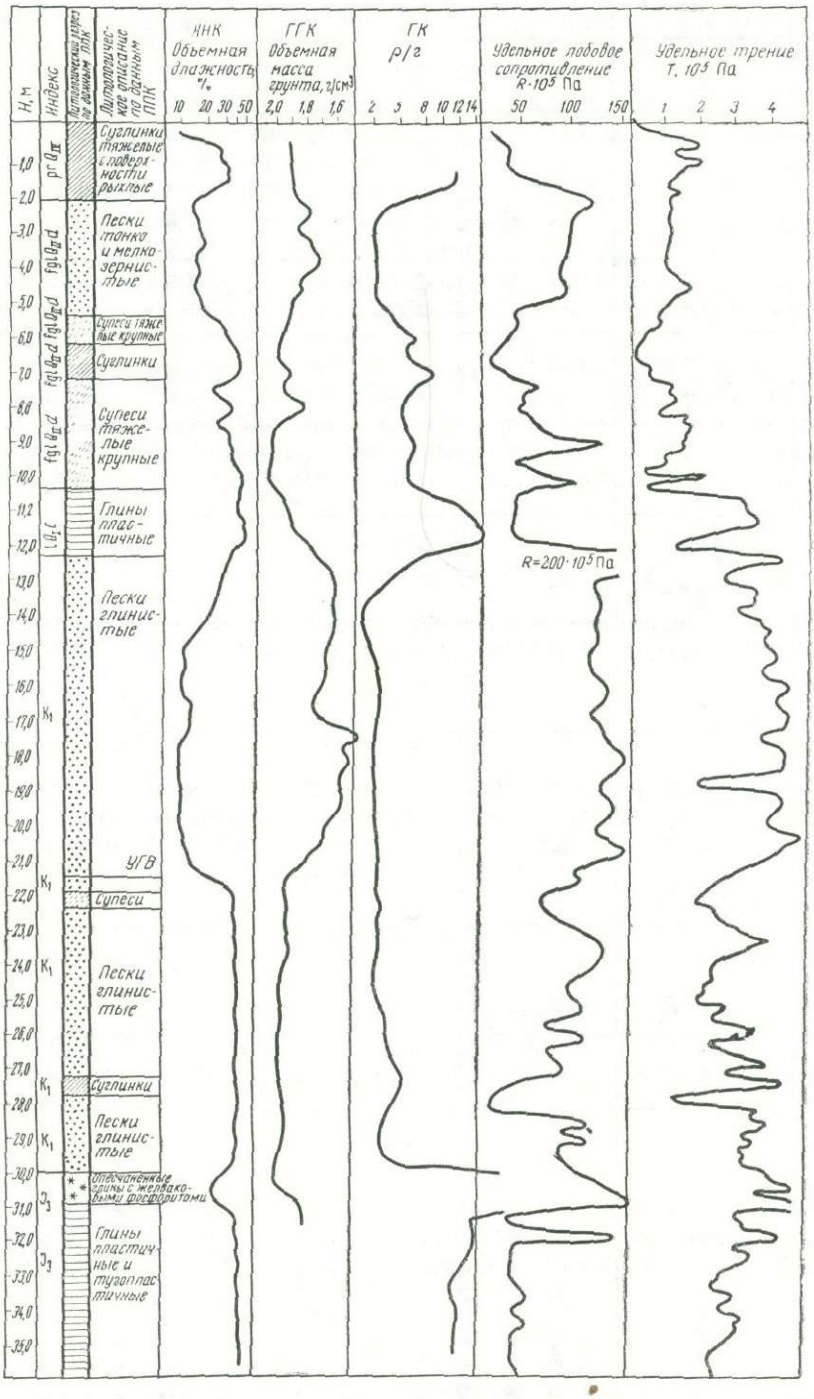


Рис. 29. Геологический разрез и пенетрационно-каротажные диаграммы

Интерпретация результатов пенетрационного каротажа была начата с расшифровки диаграмм объемной массы и влажности пород (ГГК и ННК). На них достаточно четко по резким изменениям величины записи отбиваются границы суглинков и песков, а также фосфоритоносный слой юрских глин. Четвертичные глины не имеют четких границ на этих диаграммах. Пески в верхней части влажные, с глубины 21,5 м водонасыщенные и поэтому верхняя граница между песками и глинами определяется по постепенному снижению $W_{об}$ и $\gamma_{об}$, а нижняя — по фосфоритоносному пласту. Характерные точки перегиба диаграммы ГК четко фиксируют границы песков и глины. Диаграммы R и T также подтверждают проведенное расчленение. Однако границы слоев пород, заключенных между четвертичными песками и ледниковыми глинами, несколько расплывчаты. Для достоверного определения их положения применили метод $V_к$ (критерий Родионова) с 5%-ным уровнем значимости. Границы, установленные по комплексу признаков (ГК, ГГК, ННК, R, T), проходят на глубине 5,0—5,5; 6,5—7,0 и 10,5—11,0 м.

Анализ опознания пород по значениям показателей комплекса пенетрационно-каротажных методов по выделенным интервалам (слоям) показал, что по объемной массе скелета породы можно определить пласты четвертичных и юрских глин ($\gamma_{ск}<1{,}5$ т/м³), а по удельному лобовому сопротивлению (значениям более 100 Н/см²) — четвертичные и меловые пески. По величине гамма-активности пород достаточно четко опознаются пески четвертичные и меловые, супеси флювиогляциальные и юрские глины. Что касается покровных суглинков, то их активность значительно выше предполагаемой. Это объясняется тем, что в тяжелых суглинках встречаются отдельные мелкие линзы и прослои глин, которые не фиксируются на диаграммах комплекса, но в то же время обладают высокой гамма-активностью, повышающей общий γ-фон породы. Величина отношения удельного лобового сопротивления R к удельному трению по боковой поверхности зонда T, вычисленного для каждого слоя, позволяет определить вид пород. Исключение составляют меловые пески, значение R/T которых смещается к зоне супесей. Это объясняется сильной глинистостью песков и наличием в них прослоев супесей и суглинков. Однако, учитывая показания ГК и удельного лобового сопротивления, эти породы были определены как глинистые пески. Песчано-глинистый фосфоритоносный слой в кровле юрских глин однозначно выделяется по всем диаграммам.

Для подтверждения вышеприведенного определения использовался также метод расчета дискриминатора Z_o. Расчет производился по признакам J_γ, R/T, R, $\gamma_{об}$, R_p и $W_{об}$ выше УГВ и по тем же признакам, но без $W_{об}$, в зоне полного водонасыщения. Расчеты дискриминаторов приведены в табл. 27 и результаты нанесены на точечные диаграммы (рис. 30). Величины дискриминаторов Z_o показали точное сходство математического опознания пород с методом визуального сопоставления индикаторов. Гранулометрический анализ подтвердил правильность произведенного расчленения разреза. Кроме того, пески были разделены на разновидности по плотности их сложения. Четвертичные пески отнесены к средней плотности, а меловые — к плотным.

Пенетрационно-каротажный комплекс методов позволяет установить некоторые физико-механические характеристики грунтов непосредственным измерением (удельное лобовое сопротивление внедрению наконечника, удельное трение по боковой поверхности зонда, объемная масса и объемная влажность), на основании которых может быть получен ряд расчетных параметров. Другая часть характеристик определяется при комплексировании данных пенетрационного каротажа и результатов лабораторных анализов образцов, отобранных пробоотборником СПК. Ниже приводится методика установления различных физико-механических характеристик горных пород и определение их просадочности.

1. Объемная масса $\gamma_{об}$ и объемная влажность грунтов ($W_{об}$) устанавливаются непосредственно по результатам ГГК и ННК.

2. Объемная масса скелета грунта ($\gamma_{ск}$) и естественная влажность (W_e) рассчитываются по формулам:

$$\gamma_{ск} = \gamma_{об} - W_{об}\gamma_в;$$

$$W_e = \frac{W_{об}\gamma_в}{\gamma_{об} - W_{об}\gamma_в},$$

где $\gamma_{об}$ — объемная масса грунта по данным ГГК, т/см³; $W_{об}$ — объемная влажность по данным ННК, доли единицы; $\gamma_в$ — плотность воды, равная 1 т/м³.

Таблица 27

Расчет дискриминаторов при интерпретации результатов *пенетрационного* каротажа

Номер *слоя*	*Название породы*, определенное по гранулометрическому составу	Номер группировки*	Значение $\frac{X_{1i}-X_{2i}}{S^2_i}\cdot X_i$							Z_0	Значения *порогов* L	Название породы, *определенное* по расчету
			J_γ	R/T	R	$\gamma_{об}$	*размах* R	*размах* T	$W_{об}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Суглинки *тяжелые* с линзами глин	1	6,1	—10,5	—2,4	3,8	—0,65	—0,6	3,6	0,65	2,2	Суглинки
		2	10,8	—5,9	—1,2	6,3	—0,51	—0,6	10,4	19,21	9,3	
		3	21,9	—3,8	—1,6	6,6	—0,38	—0,3	6,7	29,09	2,6	
2	Пески крупные	1	1,1	—35	—6	3,5	—0,6	—0,4	1,9	—35,5	2,2	Пески
		2	2,1	—19,8	—3	5,8	—0,5	—0,4	5,3	—10,5	9,8	
		3	4,2	—12,8	—4	6,1	—0,6	—0,2	3,4	—3,9	2,6	
3	Супеси тяжелые крупные	1	3,2	—16,0	—4,2	3,9	—3,3	—0,6	3,6	—13,4	2,2	Супеси
		2	5,7	—9,1	—2,1	6,5	—2,6	—0,6	10,4	8,2	9,3	
		3	11,2	—5,8	—2,8	6,9	—1,9	—0,3	7,3	14,6	2,6	
4	Глины пластичные	1	7,7	—5,3	—2,7	3,8	0	—0,6	5,4	8,3	2,2	Глины
		2	13,6	—3,0	—1,4	6,3	0	—0,6	15,6	30,5	9,3	
		3	27,7	—1,9	—1,9	6,6	0	—0,3	11,0	31,4	2,6	
5	Пески глинистые с прослоями суглинков и супесей. *Выше* УГВ	1	1,8	—21,6	—9,0	3,3	—1,6	—1,4	1,5	—25,8	2,2	Пески
		2	3,3	—12,2	—4,5	5,5	—1,3	—1,4	4,4	—6,2	9,3	
		3	6,7	—7,8	—6,0	5,8	—0,9	—0,8	2,2	—0,8	2,6	
6	Пески глинистые с прослоями супесей и суглинков. *Ниже* УГВ	1	1,8	—21,6	—9,0	3,87	—1,9	—1,6	—	—28,5	—2,0	Пески
		2	3,3	—12,2	—4,5	6,3	—1,5	—1,6	—	—10,2	0,9	
		3	6,7	—7,8	—6,0	6,7	—1,1	—0,9	—	—2,4	—0,6	
7	Глины пластичные	1	6,4	—5,8	—2,7	3,6	—0,6	—0,6	—	0,3	—2,0	Глины
		2	10,7	—3,3	—1,3	5,9	—0,5	—0,6	—	10,9	0,9	
		3	22,7	—2,1	—1,8	6,3	—0,6	—0,3	—	24,2	—0,6	

* Номер группировки указывает *рассматриваемые* сочетания литологических типов пород: 1 — глины — суглинки; 2 — *суглинки* — супеси; 3 — супеси — пески.

3. Пористость (n), коэффициент пористости (ε), коэффициент водонасыщения (G) и полная влагоемкость (W_n) рассчитываются по формулам:

$$n = \left(1 - \frac{\gamma_{об} - W_{об}\gamma_в}{\gamma_{уд}}\right) \cdot 100,$$

при полном водонасыщении $n = W_{об}$;

$$\varepsilon = \frac{\gamma_{уд} - \gamma_{об} + W_{об}\gamma_в}{\gamma_{об} - W_{об}\gamma_в},$$

при полном водонасыщении $\varepsilon = \frac{W_{об}}{1 - W_{об}}$;

$$G = \frac{W_{об}\gamma_{уд}}{(\gamma_{уд} - \gamma_{об} + W_{об}\gamma_в)}; \quad W_n = \frac{1}{\gamma_{об} + W_{об}} - \frac{1}{\gamma_{уд}},$$

где $\gamma_в$ — плотность воды, равная 1 т/м³; $\gamma_{уд}$ — плотность грунта, определяемая либо путем лабораторного анализа проб, отобранных пробоотборником СПК, либо на основании статистического анализа ранее проведенных работ.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах. Для массовых определений, не требующих большой точности, рекомендуется использование соответствующих номограмм, значительно упрощающих вычисления указанных параметров.

Качественный анализ просадочности лёссовых пород производится по ряду косвенных критериев, приведенных в
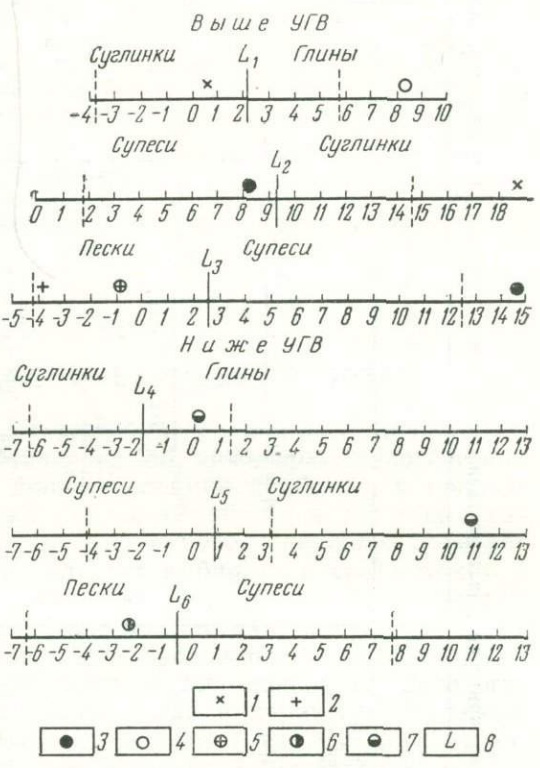


Рис. 30. Точечные диаграммы распределения дискриминаторов: *1—7* — слои пород; *8* — эталонный порог

методических рекомендациях ПНИИИС Госстроя СССР, КазГИИЗ, а также в СНиП П—Б. К таким критериям относятся величины объемной массы ($\gamma_{об}$), пористости (n), естественной влажности (W_e), степени влажности показателя уплотнения K, критической влажности ($W_{кр}$), уплотняемости (K_d) и значения $\frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_т}{1 - \varepsilon_0}$ (табл. 28).

Подводя итог вышесказанному и принимая во внимание опыт производственных организаций, можно рекомендовать при проведении съемки м-ба 1 : 200 000 замену пенетрационным каротажем — картировочных скважин — шурфов (дудок). Объемы выработок, подлежащих замене, определяются в зависимости от целей съемки и сложности геологического строения исследуемого района. В данном случае этот вопрос смыкается с вопросом выбора оптимального комплекса съемки.

В настоящее время оптимальным набором являются: 1) ландшафтно-индикационные исследования, позволяющие выделить геологические тела с поверхности изучаемой территории; 2) геофизические работы,

Таблица 28

Косвенные критерии для качественного анализа просадочности *лёссовых пород*

Критерий	Признак просадочности	Формулы для расчетов	Методы определения
Объемная масса	$\gamma_{об} < 1{,}50$ г/см³		ГГК
Пористость	$n > 42\%$	$n = \left(1 - \frac{\gamma_{об} - W_{об}\gamma_в}{\gamma_{уд}}\right) 100 > 42$	ГГК, ННК
Естественная влажность	$W_e < 18 - 20\%$	$W_e = \frac{W_{об}\gamma_в}{\gamma_{об} - W_{об}\gamma_в}\ 100 < 18-20\%$	ГГК, ННК
Степень влажности	$G \leqslant 0{,}6$	$G = \frac{W_e\ \gamma_{уд}}{\varepsilon_0\ \gamma_в} = \frac{W_{об}\gamma_{уд}}{(\gamma_{уд} - \gamma_{об} + W_{об}\gamma_в)} \leqslant 0{,}6$	ГГК, ННК $\gamma_{уд}$ — лабораторным
	$\frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_т}{1 + \varepsilon_0} \geqslant 0{,}1$	$\varepsilon_0 = \frac{\gamma_{уд} - \gamma_{об} + W_{об}\gamma_в}{\gamma_{об} - W_{об}\gamma_в};\ \varepsilon_т = \frac{W_т\gamma_{уд}}{100\gamma_в}$	ГГК, ННК $\gamma_{уд}$ и $W_т$ — лабораторным
Показатель уплотнения	$K < 1$	$\frac{\varepsilon_т}{\varepsilon_0} = \frac{W_т\ \gamma_{уд}\ (\gamma_{об} - W_{об}\ \gamma_в)}{\varepsilon_0\ 100\ (\gamma_{уд} - \gamma_{об} + W_{об}\ \gamma_в)}$	ГГК, ННК $\gamma_{уд}$ и $W_т$ — лабораторным
Показатель критической влажности	$W_в \leqslant W_{кр}$	$\frac{W_{об}}{\gamma_{об} - W_{об}\gamma_в} \leqslant 0{,}65\ \frac{n - 30}{1 - 0{,}01n}$	ГГК, ННК $\gamma_{уд}$ — лабораторным
Показатель уплотненности	$K_d > 0$	$K_d = \frac{W_т - W_0}{M_р} = \left[W_т - \frac{\gamma_{уд} - \gamma_{об} + W_{об}\gamma_в}{\gamma_{уд}(\gamma_{об} - W_{об}\gamma_в)}\right] : M_р > 0 \gamma_{уд},\ W_т,\ M_р$ — лабораторным	

$G = 0{,}6-0{,}85$
$G = 0{,}7-0{,}75$

позволяющие уточнить границы типов разрезов пород, их комплексов и проследить выдержанность в пространстве; 3) пенетрационно-каротажные работы, позволяющие расчленить комплексы пород до видов, а также установить и проследить по профилям выдержанность состава, состояния и свойств пород; 4) традиционные методы (контрольные шурфы и скважины, а также лабораторные анализы) для контроля за получаемой информацией и проведением определений свойств пород, не устанавливаемых перечисленными выше методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 12

1. *Бондарик Г. К.* Динамическое и статическое зондирование грунтов в инженерной геологии. М., «Недра», 1964. 104 с. с ил.
2. *Грязнов Т. А., Юркштович Ю. А., Мельникова Л. А.* Сопоставительная оценка результатов пенетрационно-каротажных исследований свойств грунтов и расчленения рыхлых отложений. — В кн.: Материалы семинара по пенетрационно-каротажным методам, применяемым в инженерной геологии. М., 1969, с. 50—60.
3. *Демина М. Е., Калинин О. М.* О происхождении обломочных минеральных ассоциаций в апт-сеноманских отложениях Юго-Западного Приуралья и Примугоджарья. — В кн.: Вопросы математической геологии. Л., «Недра», 1968, с. 68—89.
4. *Инструкция* по испытанию грунтов статическим зондированием. РСН-33—70. М., 1970. 17 с.
5. *Родионов Д. А.* К вопросу о статической теории однородности геологических совокупностей. — «Геохимия», 1965, № 4, с. 466—473.
6. *Ферронский В. И.* Пенетрационно-каротажные методы инженерно-геологических исследований (теория и практика применения). М., «Недра», 1969, с. 240.

Глава 13

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 проходке так называемых картировочных горных выработок и буровых скважин. Каждый тип горной выработки или буровой скважины отвечает определенным целям. Поэтому их следует выбирать в соответствии с поставленными инженерно-геологическими задачами, геологическим строением и особенностями данного типа выработки.

С помощью картировочных выработок решаются следующие задачи: 1) установление стратиграфического состава пород, их литологических особенностей, условий залегания, типа и характера современных геологических процессов, положения уровня грунтовых вод; 2) инженерно-геологической типизации горных пород; 3) проведение опробования пород с целью определения их классификационных и косвенно-расчетных показателей инженерно-геологических свойств, необходимых для инженерно-геологической типизации пород; 4) отбор проб воды для определения ее агрессивности.

Все это определяет тип, глубину и наиболее рациональные режимы проходки горных выработок и буровых скважин.

При определении количества и мест расположения выработок следует руководствоваться конкретными геологическими условиями и требованиями к изучению компонентов инженерно-геологических условий в зависимости от режима их изменчивости.

ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

При инженерно-геологических съемках применяются почти все типы горных выработок. Проходятся выработки с помощью того же технического оборудования, которое вообще применяется в геологоразве-

дочном деле. Однако 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-геологической съемки, определяющей тип и режим проходки горных выработок, является необходимость: 1) выделения в разрезе таких мелких элементов, как, например, тонких ослабленных прослоев глин, которые оказывают существенное влияние на оценку инженерно-геологических условий; 2) изучения состояния и свойств пород, что связано с применением особой аппаратуры непосредственно в горной выработке либо с отбором проб воды и пород с естественной структурой и влажностью с помощью грунтоносов различных систем; 3) проведения в горных выработках инженерно-геологических и гидрогеологических наблюдений.

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, канавы 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 проекта 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, а для отбора проб слабых пород с ненарушенной структурой и естественной влажностью приходится уменьшать давление на забой, сокращать число оборотов бурового снаряда, ограничивать и даже 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 при производстве инженерно-геологической съемки.

Закопушки проходят с целью вскрытия тонкого почвенного слоя, делювиальных и других отложений, для установления литологии пород, залегающих под этими слоями, и для прослеживания контактов коренных пород. Из закопушек отбирают образцы для составления геологического разреза и определения классификационных показателей свойств пород (гранулометрического состава, показателей пластичности и пр.).

Канавы (трапецеидальные открытые выработки) проходят независимо от рельефа местности для вскрытия пластов с крутым падением. Задают их обычно вкрест простирания пластов и врезаются в них на 0,2—0,5 м. 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. Нередко расчистками снимают и выветрелый слой коренных пород.

Расчистки удобны тем, что они не требуют большого объема земляных работ и позволяют изучать породу в выветрелом состоянии.

Иногда их делают ступенчатыми. 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, если 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. В шурфах и дудках можно не только производить описание пород, их зарисовку и фотографирование, но и опробовать каждый пласт с помощью пенетрометра 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. Следует иметь в виду, что шурфование является наиболее трудоемким видом работ. Лишь в последнее время появились специальные шурфокопательные машины, позволяющие проходить шурфы круглого сечения диаметром до 1,3 м и глубиной до 30 м (КШК-30, ШКМ-1 и др.).

БУРОВЫЕ СКВАЖИНЫ

Проводить 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 является более дорогостоящей, чем бурение скважин, и нередко представляет большие технические трудности. 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 керны хорошей сохранности.

Колонковое бурение наиболее часто применяется при инженерно-геологических исследованиях. Оно позволяет получать керн с сохранившейся структурой и влажностью. Не следует применять колонковое бурение при проходке скважин в рыхлых несвязных отложениях (песках, галечниках и т. п.) и в породах, разрушенных выветриванием, так как в этом случае нельзя получить керн хорошей сохранности. Опыт показал также, что при обычных скоростях вращения и при бурении с промывкой супесчаных, суглинистых и глинистых пород, содержащих слабые прослои, 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 отказываются от промывки.

К сожалению, в настоящее время еще не разработаны режимы бурения, обеспечивающие сохранность естественной структуры и влажности пород применительно к различным типам пород и к их физическому состоянию. Обычно применяют режимы бурения, оправдавшие себя в данном районе.

Для проходки скважин при инженерно-геологических исследованиях в рыхлых породах нередко применяют вибрационный метод бурения. Виброметодом можно проходить скважины в рыхлых породах на глубину 20—30 м, примерно по 2 м за рейс — в песках и супесях, а также 0,3—0,4 м в плотных и вязких глинах. Следует отметить, что при проходке скважин с помощью вибрации трудно фиксировать уровни подземных вод. Шнековое бурение скважин применимо только в рыхлых породах. Этот метод отличается большой скоростью проходки выработок, но имеет ряд существенных недостатков: 1) при проходке

трудно определять границы различных пород: 2) сложно, а иногда и 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.

Наиболее производительно шнековое бурение в мягких и рыхлых породах, где скорости проходки достигают 1,5 м/мин и более. В вязких и плотных глинистых породах шнековое бурение малопроизводительно из-за налипания грунтов на шнеки и плохой их транспортабельности с забоя на дневную поверхность.

Для бурения в породах, содержащих галечник и щебень, следует включить в компоновку снаряда от одного до трех шнеков. Геологическая документация при шнековом бурении ведется по образцам пород: 1) транспортируемых шнеками на дневную поверхность; 2) отбираемых с винтовой спирали шнеков при их подъеме; 3) отбираемых с помощью грунтоносов и магазинных шнеков.

При отборе образцов (у устья скважины из-под вращающегося шнека) следует учесть, что для подъема грунта с забоя на дневную поверхность требуется определенное время. Корректировка глубины отбора пробы производится по формуле

$$H = H_{\text{п}} K,$$

где H — глубина залегания отбираемой пробы, м; $H_{\text{п}}$ — глубина скважины в момент отбора пробы на дневной поверхности, м; K — корреляционный коэффициент, значения которого приведены в табл. 29.

Таблица 29

Значения коэффициента K

Порода	Для шнеков диаметром, мм	
	180	135
Глина	0,87	0,82
Суглинок	0,91	0,86
Лёссовидный суглинок	0,87	0,95
Песчано-гравийно-галечниковые отложения	0,85	0,89
Супесь, средне- и мелкозернистый песок	0,77	0,76

Привязку отбираемых образцов к глубине скважины можно производить путем применения так называемой поинтервальной углубки, т. е. бурения определенного интервала (обычно один шнек) и последующего удаления выбуренной породы вращением шнеков без их углубки. Выдаваемая шнеками с забоя порода в зависимости от физико-механических свойств и консистенции может быть представлена в виде комков, полулент угловатых частиц или жидкой грунтовой массы. Для более точного определения типа пород комки и полуленты следует разламывать и очищать от корки породы (до 2 мм), обволакивающей образец в результате его трения о породы стенок скважины. Указанные образцы позволяют определять тип, гранулометрический состав и естественную влажность породы. Объемная масса и структурные особенности по этим образцам установить с необходимой точностью нельзя. Сравнительная характеристика отдельных способов бурения приводится в табл. 30.

СПОСОБЫ ОТБОРА ПРОБ ПОРОД

При отборе проб из открытых горных выработок применяются в основном два способа. Один из них заключается в следующем: 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, рыхлосвязных, полускальных и скальных. Обычно из породы с помощью 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.

При другом способе используются режущие кольца. Этот способ применим только для рыхлых пород.

Оба эти способа позволяют отбирать монолиты необходимых размеров с высокой степенью сохранности естественной структуры и влажности, так как оператор может постоянно контролировать состояние монолита и соизмерять свои усилия с прочностью породы. Для отбора проб пород из буровых скважин применяются снаряды различной конструкции, называемые грунтоносами. Различают несколько способов отбора проб пород из буровых скважин в зависимости от условий погружения снаряда: задавливания, забивной, вращательный, обуривающий, вибрационный.

При отборе проб пород способом задавливания используется грунтонос, который равномерно погружается в породу с помощью статической нагрузки. Такой грунтонос представляет собой тонкостенную трубу (корпус) с навинченным 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-паук, 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

$$\frac{d_{обр}}{d_{гр}} \geqslant 0{,}85 - 0{,}9,$$

где $d_{обр}$ — диаметр образца; $d_{гр}$ — наружный диаметр грунтоноса.

Этот способ широко применяется как в нашей стране, так и за рубежом для отбора проб пластичных и полутекучих пород.

При отборе проб способом забивки тонкостенный цилиндр, оснащенный заостренным башмаком, погружается в породу ударами «бабы». При данном способе отбора проб происходит значительное нарушение структуры породы из-за сотрясений, обусловленных динамической нагрузкой. Вращательным способом отбираются пробы пород с помощью колонкового, шнекового и ручного бурения. В наиболее простом случае грунтонос представляет собой трубу (корпус) с разъемным или неразъемным внутренним тонкостенным стаканом. В верхней части корпуса имеется клапан, а на нижней части — коронка. Вращение от бурового станка передается на корпус, коронка вырезает керн, который входит во вращающийся вокруг него стакан.

Таблица 30

Характеристика различных способов бурения

Способ бурения	Марки применяемых буровых установок	Преимущества	Недостатки	Рекомендации по применению
Вращательный кольцевым забоем: с промывкой	Д-1-30, ЗИВ-150А, БК-150, ЗИФ-300М, СБУМД-150-ЗИВ, СБУЭ-150-ЗИВ	Возможность бурения в породах разной твердости на различную глубину. Простота конструкций скважин Высокая точность отбивки границ	Относительно большая масса буровых установок. Необходимость снабжения водой Трудности организации буровых работ в зимнее время и при отрицательных температурах	При бурении скважин в породах различной твердости до глубины более 50—100 м
всухую	Те же марки установок	Отсутствие необходимости применять промывку или продувку	Возможность бурения до глубины 10—15 м лишь в мягких и рыхлых породах. Большая масса буровых установок и расход мощности	При необходимости отбора проб с ненарушенной структурой и естественной влажностью
с продувкой воздухом	Те же марки установок и компрессоры типа ЗИФ-55, ДК-9 и др.	Те же, но еще более высокие (на 20—30%) скорости бурения, меньший износ инструмента. Отсутствие необходимости снабжения установок водой; успешное бурение в разрезах, где наблюдается поглощение промывочной жидкости, в многолетнемерзлых породах	Трудности бурения в разрезах с водопритоком. Возможности бурения лишь в устойчивых против обрушения породах. Необходимость применения многоколонных конструкций скважин для перекрытия водоносных горизонтов при частом их чередовании	При бурении скважин глубиной более 50—100 м в устойчивых против обрушения породах и при водопритоках не более $2 \cdot 10^{-3}$ м³/с. При бурении в многолетнемерзлых породах, в разрезах с поглощением промывочной жидкости, при отсутствии частого переслаивания водоносных горизонтов
Ударный медленно-вращательный	УБР-1, РБУ-50АС МРБ-75, БУК-75 БУ-80	Возможность производить бурение без применения промывки, успешное бурение в сложных геологических разрезах. Высокая точность отбивки границ	Относительно невысокая производительность бурения. Лишь в мягких и средних по твердости породах	При бурении в мягких и средних по твердости породах, в сложных геологических разрезах, до глубины 50—70 м

Вращательное шнековое: сплошным забоем	Д-10, МП-1, ПВС-ЛГТ, ВС-СГТ, ПВБСМ-15, УПБ-25, УГБ-50А *, УГБ-50М *, ЛБУ-50 *, УРБ-1В, УРБ-1С, ШАК-4	Высокая производительность бурения в мягких и средних по твердости породах. Отсутствие необходимости промывки	Возможность бурения лишь в мягких и средних по твердости породах. Более низкая, чем при вращательном колонковом и ударном кольцевом забое, степень расчленения разреза и изучения инженерно-геологических свойств пород. Невысокая точность отбивки границ	При бурении скважин в мягких и рыхлых породах как в талом, так и в мерзлом состоянии
кольцевым забоем	МП-1, ПВС-ЛГТ, ВС-СГТ, ПВБСМ-15, УПБ-25, Д-10, УГБ-50А, УГБ-50М	Те же, но производительность значительно ниже, чем при вращательном шнековом бурении сплошным забоем	Трудности бурения в вязких и липких глинистых породах. Возможность бурения лишь в мягких и средних по твердости породах	То же
кольцевым забоем с бросаемыми грунтоносами	УПБ-25 **, УГБ-50А, УГБ-50М, ШАК-4	Отсутствие необходимости промывки, совмещение процесса углубки скважины с отбором керна бросаемыми грунтоносами	То же	,,
Ударное кольцевым забоем	Д-6-15, Д-5-25, БУКС-ЛГТ, УБП-15, БУВ-1А, УБП-30	Простота конструкции буровых установок, отсутствие необходимости промывки. Высокая точность отбивки границ	Возможность успешного бурения лишь в мягких и рыхлых породах Трудности бурения вязких и липких глинистых пород	При бурении в мягких и рыхлых породах до глубины 20—30 м
Вибрационное	ВБУ-ГАЗ-63, АВБ-1М, СВУ-55	Высокие скорости бурения в мягких и рыхлых породах, высокая точность отбивки границ	Возможность бурения скважин в мягких и рыхлых породах	То же
Комбинированное	БУЛИЗ-15	Возможность применять способы бурения, которые обеспечивают наилучшие результаты	Более сложная конструкция и большая масса буровых установок	При бурении в сложных и разнообразных геологических разрезах

* Установки позволяют бурить и ударно-канатным способом.
** Установка может бурить вращательным способом с промывкой.

Опыт показывает, что наибольшую сохранность пробы обеспечивают грунтоносы с внутренним диаметром 130—160 мм, при числе оборотов шпинделя 50—60 и при минимальном давлении снаряда на забой (бурение на весу). При колонковом бурении нарушение структуры и естественной влажности пробы вызывается применением промывки и вибрацией снаряда, которая возрастает при увеличении числа оборотов снаряда, и трением, возникающим между стенками снаряда и керном. Поэтому при инженерно-геологических работах отбор проб часто осуществляется при бурении всухую. Однако при сухом способе проходки глин часто происходит скручивание и растягивание керна, процент выхода керна достигает 125.

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 не пригодны для опробования глин, песков и песчано-глинистых пород, насыщенных водой.

Основная идея способа обуривания 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 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. 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. Сущность вибрационного способа заключается в том, что грунтоносу посредством вибратора через штанги сообщаются импульсы (1200—1500 имп/мин).

Мнение большинства исследователей сводится к тому, что вибрационный способ дает удовлетворительные результаты при отборе проб песчано-глинистых пород. Однако успех 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 проб и требующие дальнейшей разработки.

КОНСЕРВИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ ПРОБ ГОРНЫХ ПОРОД

При инженерно-геологической съемке отбирают образцы с естественной структурой и влажностью (монолиты).

Наиболее легко поддаются консервированию, хранению и транспортировке такие образцы, которые не требуют сохранения естественной структуры и влажности. 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 раство-

риться при намачивании. Такие образцы отбирают в непромокаемые мешочки или упаковывают в ящики с проложенными водонепроницаемыми материалами. Для сохранения естественной структуры и влажности монолитов применяются следующие способы: 1) хранение монолитов в герметически закрытых цилиндрах, плотно прилегающих к поверхности образца; 2) создание вокруг монолитов оболочек, не проницаемых 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. 31.

Таблица 31

Составы наиболее употребительных мастик и замазок для консервирования монолитов горных пород (по данным А. А. Полуботко)

Составные части	ВТУ-54	ЛОР-56	Ф-60	ГЭЦ			ВСЕГИНГЕО		Замазки	
				56	56а	56б	61а	61б	„Океан"	менделеевская
Парафин	600	720—600	700	333	800	750	500	667	400	—
Воск	250	200—250	—	667	—	—	—	—	400	375
Канифоль	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. Масса составных частей указана в граммах.

Монолиты транспортируют в ящиках общей массой до 50 кг. Зазоры между монолитами и стенками ящика заполняют древесными опилками, стружкой, соломой, очесами хлопка и другими материалами, способными амортизировать удары при транспортировке и погрузке 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. В помещениях с обычной комнатной температурой глинистые породы, находящиеся в текучем и пластичном состоянии, можно хранить 1,5 мес, а полутвердые глинистые породы — до 6 мес. При длительном хранении порода может измениться и стать непригодной для лабораторного изучения. Поэтому необходимо периодически проверять ее состояние, вскрывать контрольные монолиты для определения свойств пород и сравнивать их с показателями, полученными непосредственно при извлечении монолитов из горно-буровых выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 13

1. *Коломенский Н. В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968. 335 с.
2. *Ребрик Б. М.* Бурение скважин при инженерно-геологических изысканиях. Изд. 2-е. М., «Недра», 1973. 260 с.
3. *ГОСТ 12071—72. Грунты.* Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. 4 с.

Глава 14

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ 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 совершенствуются, появляются новые способы выявления признаков, по которым дается оценка инженерно-геологических условий.

Часть необходимой инженерно-геологической информации обычно получают путем описания местности и пород в естественных обнажениях или образцов, полученных из горных и буровых выработок на ключевых участках и опорных маршрутах. Описание горных пород как в естественных обнажениях, так и в горных выработках имеет некоторые специфические особенности, определяемые конечными целями инженерно-геологической съемки. При описании местности в инженерно-геологических целях должны быть охарактеризованы: ландшафтные условия, условия залегания горных пород, наблюдаемые современные геологические явления, гидрогеологические условия и водопроявления (источники, заболоченность и т. д.). Выделяются стратиграфо-генетические комплексы горных пород на основании установления стратиграфической принадлежности и генезиса пород, осуществляемого обычными при геологическом описании способами. Для этого используется ряд признаков: фауна, последовательность напластования, взаимоотношение пород, характер контактов, минеральный и гранулометрический состав, характер цементации, состав цемента и пр.

Целями инженерно-геологического описания горных пород являются:

1. Составление разрезов по ключевым участкам и опорным маршрутам, по данным описания горных пород. При инженерно-геологической съемке приходится учитывать такие элементы разреза, которым обычно не уделяется внимания при составлении геологических разрезов для других целей. В связи с этим необходимо тщательно описывать разрез пород, чтобы в дальнейшем, учитывая характер их возможного взаимодействия с сооружением, можно было определить роль каждого из геологических элементов в комплексе инженерно-геологических условий. Кроме того, при построении геологических разрезов для инженерно-геологических целей на них 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 учитываются их генезис, минеральный состав, текстура, структура, показатели инженерно-геологических свойств, включая результаты пенетрации и наблюде-

ний, 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 инженерно-геологических свойств выделенных типов горных пород. Описание горных пород производится в процессе изучения обнажений при проведении горно-буровых и опытных инженерно-геологических работ, а также при исследовании их в лаборатории.

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

С целью унификации и ускорения работы часто при описании пород используют бланки, заготовленные заранее вручную или типографским способом, а иногда перфокарты.

Прежде чем приступить к описанию пород в стенках выработки или в керне, следует очистить их от натеков свалившейся сверху породы и счистить корочку подсушенной породы. Несколько образцов рекомендуется разложить на мелкие кусочки, чтобы изучить состав породы и возможные включения. Следует иметь в виду, что извлекаемый из буровых скважин керн бывает покрыт с поверхности слоем шлама и 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.

Порядок описания может быть любой, но для сохранения времени и удобства обобщения материалов следует это описание унифицировать. Приведем общепринятый порядок описания горной породы: название, цвет (сухой, влажный); минеральный и гранулометрический 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, ориентировочная качественная оценка общей прочности массива и прочности породы в отдельных кусках; степень размокаемости; характер изменения породы и ее свойств по простиранию и разрезу; характер контактов в кровле и подошве.

Особое внимание при описании следует уделить слабым прослоям (например, даже тонким прослоям пластичных глин), контактам и трещинам, поскольку 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 легко обнаружить в горных выработках большого сечения (например, в шурфах), а также в естественных обнажениях.

При изучении разрезов правильному выделению слабых прослоев помогает опробование пород микропенетрометром. Этот способ опробования неприменим в естественных обнажениях, где породы уже высохли, подверглись выветриванию и, естественно, изменили свою природную плотность, поэтому необходимо проводить зачистку обнажений. Наиболее ценные данные для инженерно-геологических выводов дает сопоставление описания выветрелых и невыветрелых образцов одних и тех же пород.

Как отмечалось выше, при описании горных пород дается и характеристика состояния их, для чего используются простейшие приемы, известные из курса грунтоведения. Трещиноватость горных пород изучается в основном при их полевом описании, в процессе которого необходимо фиксировать: 1) элементы ориентировки трещин; 2) их длину и глубину; 3) степень раскрытости, ширину и частоту; 4) характер трещин; 5) состав и свойства заполнителя.

По степени раскрытости или ширине целесообразно различать трещины: 1) закрытые, слабо видные, иногда едва заметные; 2) открытые (капиллярные шириной не более 0,25 мм, некапиллярные шириной более 0,25 мм).

Наличие закрытых, или волосных, трещин определяется путем разламывания кусков породы, постукивания по куску ее молотком или прокрашиванием в лабораторных условиях. Для открытых трещин необходимо измерять ширину и проверять ее изменение по протяженности. Глубину трещин установить обычно бывает очень трудно, особенно в тех случаях, когда трещина непрямолинейна или заполнена каким-либо материалом. В свежих прямолинейных трещинах измерение глубины не представляет особого труда и может быть выполнено путем погружения стальной рулетки, тонкого металлического прута и т. п. При этом может быть измерена лишь глубина некоторой части скважины, так как измерительный предмет проникает в трещину на глубину, ограниченную шириной ее или наличием в нижней части какого-либо заполнителя. Г. И. Тер-Степанян (1948) предлагает в таких случаях ограничиваться измерением так называемой эффективной глубины трещины, т. е. глубины наиболее открытой ее части, что может представлять интерес при инженерно-геологической оценке пород.

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

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

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 можно использовать следующие:

1. Модуль трещиноватости, под которым понимается количество трещин, приходящихся на 1 пог. м разреза породы.

2. Удельное растяжение — отношение объема открытых трещин ко всему объему породы (в %).

3. Удельную густоту трещин, определяемую выражением

$$q = U_{\text{нр}}\, t_{\text{ср}},$$

где $U_{\text{пр}}$ — 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); $t_{ср}$ — средняя ширина трещин.

4. Коэффициент трещинной пустотности, т. е. отношение площади трещин к площади породы, в %.

Зная величину коэффициента фильтрации для какого-либо участка и используя предполагаемый ею коэффициент трещинной пустотности, можно с некоторым приближением оценивать водопроницаемость трещиноватых пород любого другого участка по соотношению

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{K_{тр_1} W_1^2}{K_{тр_2} W_2^2},$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты фильтрации пород соответственно на первом и втором участках; $K_{тр_1}$ и $K_{тр_2}$ — коэффициенты трещинной пустотности соответствующих участков; W_1 и W_2 — ширина трещин соответственно на первом и втором участках, мм.

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 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 нередко в процессе бурения керн разрушается, частично истирается, извлекается в виде окатанных кусков и признаки наличия трещин исчезают. Кроме того, иногда бывает очень трудно определить направление трещин.

6. Процент выхода керна. В этом случае измеряют длину извлеченного из скважины керна, для чего отдельные куски его аккуратно складывают и сопоставляют с длиной рейса. Отношение длины керна к длине рейса, выраженное в процентах, принимается за количественную характеристику трещиноватости пород и наносится в виде графика на разрезе 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 жидкости) или при проведении специальных опытов по нагнетанию воды в скважины. Этот показатель также наносят на разрез скважины.

В результате инженерно-геологического опробования следует получить для выделенных в ходе картировочных работ геологических тел наиболее низких категорий обобщенные значения классификационных показателей и их статистические характеристики. Последние необходимы для оценки надежности полученных показателей и степени их рассеяния.

Перечень основных показателей и методы их определения даны в табл. 32.

Таблица 32

Основные классификационные показатели состава, состояния, свойств пород. Методы их определения *

Показатели	Глинистые (связные) породы	Песчаные (мелкообломочные несцементированные) породы	Крупнообломочные несцементированные породы
Гранулометрический состав	Ареометрический метод пипетки (л)	Ситовый (л)	Грохочения (п), ситовый (л) для песчаных фракций, ареометрический (л) для пылевато-глинистых фракций
Объемная масса пород с ненарушенным сложением при естественной влажности	Рассеянного гамма-излучения (п); режущих колец (э), гидростатического взвешивания (л)	Рассеянного гамма-излучения (п), динамического и статического зондирования (п), режущих колец (э)	Валовой пробы (п), рассеянного гамма-излучения (п), режущих колец (э) для песчано-глинистого заполнителя
Плотность	Пикнометрический (л)		
Естественная влажность	Рассеянного нейтронного излучения (п), ускоренной сушки при $t=250°$ С (для пород, не содержащих органики) (э), термостатно-весовой (л)	Рассеянного нейтронного излучения (п), электроемкостный (п), ускоренной сушки при $t=250°$ С (для песков, не содержащих органики), термостатно-весовой (л)	Рассеянного нейтронного излучения (э), ускоренной сушки при $t=250°$ С (э), термостатно-весовой (л)
Предел раскатывания, предел текучести	Конусный (э), стандартный (раскатывания в шнур), балансирный (л)	—	Конусный (э), стандартный метод (л) для характеристики глинистого заполнителя

* Полевые (п), экспресс-методы лабораторных испытаний (э), лабораторные (л).

Данные, помещенные в таблице, показывают, что в ходе детальных работ по опробованию пород следует определить ряд показателей состава и свойств пород, являющихся классификационными, а также показателей, нужных для расчета классификационных показателей.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Гидрогеологические исследования при инженерно-геологической съемке предусматриваются в дополнение и развитие ранее выполненных работ. Для этого в предполевой период на основании изучения опубликованных и фондовых материалов производятся систематизация и составление каталогов всех известных водопунктов, составляются геолого-гидрогеологические разрезы, изучаются материалы режимных наблюдений и производится предварительное гидрогеологическое районирование территории.

Полевые гидрогеологические работы выполняются в составе маршрутных исследований в комплексе с гидрогеологическими наблюдениями в скважинах и колодцах, опытно-фильтрационными исследованиями на ключевых участках. В результате этих работ должны быть по-

лучены гидрогеологические характеристики всех комплексов пород на глубину ожидаемого воздействия на природные условия инженерных сооружений.

При проведении опорных маршрутов и на ключевых участках основное внимание уделяется естественным и искусственным выходам подземных вод (родники, кяризы, буровые скважины, действующие и заброшенные горные выработки). В большинстве водопунктов отбираются пробы воды, при этом сокращенный химический анализ ее производится непосредственно в полевых условиях с помощью стандартной полевой лаборатории ПЛАВ-1. Часть проб воды (10—15%) анализируется в стационарных лабораториях, где осуществляются контрольные сокращенные и полные химические анализы.

Гидрогеологические наблюдения в процессе проходки разведочных выработок включают замеры уровней, косвенную оценку водообильности пласта, отбор проб воды на сокращенный химический анализ и на определение углекислой агрессивности. Наблюдения за водоносностью пород при бурении производятся регулярно и включают установление появления воды в скважине и систематические измерения глубины уровня воды в скважине при бурении. Изменение глубины уровня воды свидетельствует о том, что вскрыт новый горизонт, водоносный горизонт изолирован обсадной колонной или вскрыт поглощающий горизонт.

Измерения уровня воды в скважине при вскрытии водоносного горизонта должны быть выполнены после определенного перерыва в бурении. Для мелкозернистых и пылеватых песков необходимо сначала производить откачку воды из скважины желонкой.

Целесообразно осуществлять наблюдения за интенсивностью восстановления уровня, так как этот показатель характеризует косвенным образом водообильность пласта. Если при бурении важно опробовать ряд водоносных горизонтов, например, с различной водообильностью и минерализацией или изучить минерализацию по разрезу водоносного горизонта, то в ряде случаев углубление скважины производится без подлива посторонней воды в скважину. Минерализация водоносного горизонта может быть установлена путем отбора пробы жидкости из желонки и исследования ее с помощью солемера или резистивиметра, а также проведения сокращенного полевого химического анализа.

При вскрытии самоизливающихся вод производится определение напора водоносного горизонта путем наращивания обсадной колонны, измерения высоты фонтана скважины или с помощью манометра. Определяется также дебит самоизливающих скважин. Наблюдения за водоносностью при вращательном способе бурения с глинистым раствором основываются обычно на ряде косвенных признаков. Непосредственные наблюдения за статическим уровнем воды при бурении невозможны из-за наличия в скважине столба промывочной жидкости. Одним из признаков вскрытия водоносного горизонта при бурении является нарушение режима промывки скважины, что сказывается прежде всего на поглощении промывочной жидкости. Последнее свидетельствует о бо́льшей проницаемости пласта и его незначительном напоре. Вскрытие водоносного горизонта может быть отмечено и по изменению параметров промывочной жидкости. К числу таких параметров, за которыми необходим регулярный контроль, относятся плотность, вязкость, содержание песка, водоотдача. Исследование зон поглощения промывочной жидкости при бурении целесообразно производить с помощью скважинных расходомеров, которые позволяют установить интервалы и интенсивность поглощения ее. При бурении в районах распространения соленых вод, а также залегания соленосных толщ производятся наблюдения за изменением общей минерализации путем экспресс-исследова-

ния проб жидкости, отбираемых у устья скважины с помощью солемера ВСЕГИНГЕО, резистивиметра типа РА-3 и РП-1.

При шнековом бурении для фиксации маломощных водоносных горизонтов (верховодок) следует наблюдать за характером выдаваемого шнеками на дневную поверхность грунта. Бурение в грунтах с повышенной естественной влажностью характеризуется резким увеличением диаметра комков и появлением керна в виде лент.

В процессе проходки разведочных скважин, а также шурфов в аридной зоне, расположенных в различных геоморфологических и гидрогеологических условиях, производится отбор проб пород на водные и солянокислые вытяжки. Пробы пород при концентрации солей в верхней части зоны аэрации и близком залегании грунтовых вод отбираются сплошной колонкой в виде усредненных квартованием образцов из интервалов: 0,0—0,1; 0,1—0,3; 0,3—0,5; 0,5—0,7; 0,7—1,0; 1,0—1,5; 1,5—2,0 и далее через один метр до глубины 10 м при однородном строении толщи пород. Дополнительно отбираются образцы пород из каждой литологической разности. На склонах водоразделов и террасах с глубоким залеганием грунтовых вод (свыше 5 м), где происходят процесс выщелачивания и увеличение солей в нижней части разреза, образцы пород отбираются с интервалом 0,5 м до глубины 1 м, 1 м — до глубины 5 м и 3—5 м — глубже 5 м. Образцы на водные вытяжки следует отбирать только из скважин, пробуренных без промывки водой или глинистым раствором. Для определения влажности грунтов следует применять термостатно-весовой или радиометрический метод (плотномеры и влагомеры).

Фильтрационные свойства пород изучаются лабораторными определениями на монолитах путем наливов в шурфы и скважины, по действующим скважинам, а также путем проведения одиночных откачек из отдельных водоносных горизонтов или опережающего опробования по методике ВСЕГИНГЕО.

Наливы в шурфы и скважины, а также лабораторные методы могут применяться только для определения фильтрационных характеристик не полностью насыщенных пород, т. е. коэффициента фильтрации, недостатка насыщения и капиллярного вакуума. Рассматриваемые методы должны дополнять друг друга, так как только комплексное их применение дает возможность получать достоверную информацию о фильтрационных свойствах ненасыщенных пород.

Лабораторные исследования на монолитах проводятся для выявления качественной характеристики проницаемости отдельных литологических разностей. С их помощью можно точно определить соотношение между проницаемостями различных пород, составляющих рассматриваемый инженерно-геологический комплекс, но трудно дать достоверную фильтрационную характеристику отдельной литологической разности с помощью лабораторного метода. Это объясняется тем, что в монолитах не может найти полное отражение неоднородность исследуемого массива пород.

Наливы в шурфы являются наиболее массовым способом оценки водопроницаемости ненасыщенных отложений. Определение фильтрационных свойств грунтов с помощью наливов из-за технических трудностей возможно производить только до известных пределов. Практически для определения гидрогеологических параметров толщи пород, находящихся уже на глубине более 5 м, приходится переходить на наливы в скважины. Наливы в шурфы нельзя применять в тех случаях, когда зеркало грунтовых вод находится от дна шурфа на глубине менее суммы возможной мощности зоны промачивания и высоты капиллярного поднятия.

В песчаных и крупнообломочных породах наливы проводятся методом А. К. Болдырева, а в супесчано-суглинистых — по методике

Н. С. Нестерова. Послойное опробование пластов наливом в скважины осуществляется по методу Н. Н. Веригина.

Сопоставляя результаты определений фильтрационных характеристик одних и тех же пород, полученных полевым методом, с аналогичными определениями в лабораторных условиях, между ними следует найти корреляционную связь с тем, чтобы можно было пересчитать результаты определений фильтрации, полученных лабораторным путем. При определении коэффициентов фильтрации по данным действующих скважин возможны следующие случаи: 1) расчет параметров выполняется по данным опытных откачек, проведенных перед пуском скважины в эксплуатацию; 2) определение параметров осуществляется по данным фактической эксплуатации скважины, когда имеется возможность определить величину эксплуатационного дебита и понижения в ней; 3) расчет параметров проводится по результатам опытов при остановке действующих скважин. В первых двух случаях определение коэффициента фильтрации (и водопроводимости) проводится по формулам установившегося, а в третьем — неустановившегося движения.

Для расчета коэффициента фильтрации и водопроводимости по действующим скважинам необходимо получить данные о разрезе скважины, ее конструкции, режиме работы, положении фильтра, мощности водоносного горизонта, положении статического уровня и данным опробования перед пуском скважины в эксплуатацию. Если возможно, то следует произвести замеры дебита и динамического уровня. В тех случаях, когда статический уровень водоносного горизонта неизвестен и данные опытных работ отсутствуют, а также для более точного определения коэффициента фильтрации и водопроводимости целесообразно провести опыты по наблюдениям за восстановлением уровня при остановке действующих скважин.

На участках, где имеющихся материалов для оценки коэффициентов фильтрации и водопроводимости пород недостаточно, целесообразно произвести откачки, которые должны проводиться с одним максимальным понижением уровня при наличии наблюдательной скважины. Только в тех случаях, когда существует опасение, что из-за технических условий откачка с одним понижением дала неправильные результаты, рекомендуется провести откачку еще при одном понижении. Продолжительность должна составлять 1—2 сут для напорных и 2—3 сут для безнапорных водоносных горизонтов.

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

На основе выделения стратиграфо-генетических комплексов пород и ПТК в процессе инженерно-геологической съемки проводится изучение состава, криогенного строения, льдистости, литологических типов пород, условий залегания и распространения сезонно- и многолетнемерзлых толщ, а также определение их основных характеристик.

Состав, криогенное строение, льдистость, условия залегания и распространения сезонно- и многолетнемерзлых пород изучаются в полевых условиях в естественных обнажениях, шурфах, штольнях, шахтах и в скважинах (по извлеченному керну). При документации горных выработок указывается принадлежность пород к той или иной литологической разновидности (глины, суглинки, супеси, пески и т. д.), характеризуются их состояние, консистенция, характер льдистости, влажность талых или протаявших пород. Мерзлое или талое состояние пород лучше всего фиксируется путем визуальных наблюдений в обнажениях или открытых горных выработках, а также по керну, извлекаемому из буровых скважин, проходимых всухую. Наличие мерзлых пород устанавливается по появлению в образце кристаллов и прослоек льда, а также по прочности по-

роды, ее цвету (мерзлые породы несколько светлее, чем талые) и изменению этих признаков при таянии.

При проведении термометрических измерений в скважинах, полностью прошедших мерзлую толщу, граница последней определяется по изотерме 0° С. При наличии соленых вод граница мерзлых и талых пород может не совпадать с геоизотермой 0° С. В скважинах, не прошедших полностью мерзлую зону, мощность мерзлых пород может определяться по температурному градиенту путем экстраполяции с учетом всего комплекса геологических, гидрогеологических и мерзлотных факторов. Границы мерзлых и талых пород достаточно хорошо фиксируются по кривым ВЭЗ в случае значительной разницы в их удельных сопротивлениях. При проведении в скважинах БКЗ и резистивиметрии при благоприятных условиях довольно хорошо фиксируются линзы и слои талых водоносных пород в мерзлой толще и нижняя граница последней.

Наиболее достоверные данные по условиям залегания и мощности криолитозоны могут быть получены только путем комплексного применения указанных выше методов, а распространение этих данных по площади можно проводить с учетом геологических, геоморфологических и гидрогеологических факторов на основе геоструктурного районирования и ландшафтной дифференциации территории.

При изучении разрезов горных пород следует особенно тщательно выявлять такие их особенности, которые можно наблюдать только в естественном залегании; сложение породы, ее текстурные и структурные различия, характер и содержание органических веществ, обломочного материала, заполнителя, степень выветрелости и пр.

Описание мерзлых отложений производят послойно, сверху вниз, выделяя слои, относительно однородные по своему составу и криогенной текстуре.

Для каждого слоя пород определяют: 1) мощность слоя и характер его распространения по площади; 2) состав пород с указанием в них различных включений (их количество в %, характер залегания, соотношение с основной массой породы); 3) цвет, оторфованность, оглеенность, ожелезненность, наличие в ней выцветов солей и т. д.; 4) первичные текстурные особенности породы (слоистость, сланцеватость, пятнистость, пористость, кавернозность, сложение) и т. д.; 5) наличие в породе крупных ледяных тел, их форма, размер, условия залегания, соотношение с вмещающими породами, текстурные и структурные признаки; 6) криогенная текстура пород (характер, форма, размер, условия залегания ледяных включений, цвет льда, его загрязненность органическими и минеральными примесями, наличие пузырьков воздуха и рассолов, структура, химический состав и т. д.).

При описании криогенной текстуры помимо указанного отмечаются особенности распределения шлиров льда по всему разрезу и их положение относительно фронта промерзания. Зарисовываются и фотографируются системы ледяных включений различных генетических горизонтов, отмечается их соотношение с первичной отдельностью и т. д.

Состав и свойства слоя сезонного промерзания и протаивания существенно зависят от типа почв. Для характеристики почвенного разреза описываются изменчивость структурности и цвета почвы, характер ожелезненности, оглеенности, гумусированности сверху вниз по изученному слою. При наличии болотных почв необходимо тщательное описание торфа, его цвета, физических свойств, особенностей сложения и видимых растительных остатков. По этим признакам устанавливаются его ботанический состав и степень разложения органического вещества, определяющие теплофизические и водные свойства торфяной залежи.

Средняя годовая температура и годовая амплитуда колебаний температур на поверхности почвы под растительным и снежным покровами определяются расчетным путем при помощи данных наблюдений в полевых условиях за характером распределения и мощности снежного покрова, получаемых при проведении снегомерной съемки, а также определения теплоизолирующего влияния растительного покрова. Для определения влияния растительного покрова на формирование температур пород и на сокращение годовых амплитуд температур проводятся наблюдения на специальных температурных площадках, закладываемых в пределах каждого выделяемого в масштабе съемки растительного сообщества.

Температуропроводность наземного растительного покрова определяется по наблюдениям за суточным ходом температур под растительным слоем. Для этой цели на поверхности растительного покрова и под ним устанавливаются максимальные и минимальные термометры и производятся одновременные отсчеты температур не реже чем трое суток подряд.

По результатам этих наблюдений, имея данные о соотношении суточных амплитуд температурных колебаний на поверхности растительного слоя ($A_{сут}$) и под ним ($A_{о.сут}$), можно определить отношение значений годовых амплитуд температур на этих поверхностях (минуя вычисления коэффициента термопроводности) на основе следующей зависимости:

$$\ln \frac{A_{год}}{A_{о.год}} = \frac{1}{19} \ln \frac{A_{сут}}{A_{о.сут}},$$

где в $A_{раст.год}$ учитывается теплоизолирующее влияние снега ($A_{раст.год} = A_{возд} - \Delta t_{сн}$).

Наблюдения можно считать законченными, если в течение 3 дней разница отношения $\frac{A_{о.раст.сут}}{A_{о.сут}}$ не превышает 0,5—1,0.

Среднегодовая температура на подошве слоя сезонного промерзания и протаивания и на подошве слоя годовых колебаний температуры пород определяется в полевых условиях с помощью геотермических наблюдений и расчетных методов.

Изучение температурного режима горных пород, вообще, и для указанных целей, в частности, производится главным образом в буровых скважинах, реже в глубоких шурфах, штольнях и шахтах. При этом в стенках горных выработок должны буриться шпуры, в которых производятся температурные измерения. Для проведения температурных наблюдений скважины оборудуются кондукторами или колонной наблюдательных труб, которые изолируются от попадания в них воды. Естественный температурный режим пород вокруг скважин, нарушенный в процессе бурения, должен быть восстановлен; температуры в скважине должны соответствовать температурам пород. Время выстойки скважин зависит от многих причин, главным образом от способа и времени бурения их. Приблизительные значения времени восстановления температурного режима в скважинах приведены в табл. 33. Измерения температур в скважинах проводятся ртутными инерционными термометрами, термометрами сопротивления или термисторами (табл. 34). Температурные измерения должны осуществляться во всех скважинах, пригодных для этой цели. В скважинах, пробуренных в наиболее типичных условиях, производятся режимные наблюдения. Рекомендуемые интервалы глубин измерения температур в скважинах приведены в табл. 35.

Вблизи нижней границы мерзлой толщи, на контактах различных по составу пород и на отрезках, где в результате первого цикла изме-

Таблица 33

Ориентировочное время выстаивания скважин (по В. С. Мелентьеву)

Тип толщи многолетнемерзлых пород	Температура пород до бурения, °С	Методы бурения	Температура воздуха в момент бурения, °С	Время выстойки скважин после бурения (в долях от продолжительности бурения)
Сильнольдистая, нескальная	Ниже —4	Ударно-канатное и колонковое с продувкой	От +5 до —5	0,5
			От +10 до +25	
		То же	От —10 до —25	1,0
		Колонковое с промывкой	От +5 до —5	
			От —10 до —25	1,0
		То же	От +10 до +25	1,5—2,0
Слабольдистая нескальная, скальная	То же	Ударно-канатное и колонковое с продувкой	От +5 до —5	1,0
			От +10 до +25	
			От —10 до —25	
		Колонковое с промывкой	От +5 до —5	
			От —10 до —25	2,0—2,5
		То же	От +10 до +25	3,5—4,0
Сильнольдистая, нескальная	Ниже 0, но выше —4	Ударно-канатное и колонковое бурение с продувкой	От +5 до —5	1,0
			От +10 до +25	
			От —10 до —25	1,0—1,5
		То же	От +5 до —5	
		Колонковое с промывкой	От —10 до —25	2,0—2,5
			От +10 до +25	2,5—3,5
Слабольдистая нескальная, скальная	Ниже 0, но выше —4	Ударно-канатное и колонковое с продувкой	От +5 до —5	1,0—1,5
			От +10 до +25	
			От —10 до —25	2,0—2,5
		Колонковое с промывкой	От +5 до —5	
			От —10 до —25	3,0—3,5
		То же	От +10 до +25	5,0—6,0

рений выявлены температурные аномалии, интервал измерений сгущается до необходимой величины (обычно до 1 м). Приблизительный способ определения температуры на подошве слоя годовых колебаний (t_0) по единовременным измерениям в скважинах основан на следующей формуле:

$$z = \sqrt{\frac{k\,T}{\pi}} \ln \frac{t_0}{0{,}1},$$

где z — глубина распространения годовых колебаний температур, отсчитываемая от подошвы слоя сезонного промерзания или протаивания. Зная коэффициент температуропроводности грунтов и подставляя в формулу последовательно значения z и t_0 по температурной кривой, построенной на основании единовременных измерений температуры в скважине, можно получить равенство левой и правой частей уравнения. В этом случае взятое значение температуры будет соответствовать величине t_0.

Коэффициент температуропроводности верхних горизонтов почвы (мохового и торфяного покровов, дернового слоя и т. д.) можно определить методом «температурной волны», поставив наблюдения за распространением суточных колебаний температур в поверхностных слоях пород при помощи максимального и минимального термометров. Наблюдения проводятся в течение 3 сут. Коэффициент температуропроводности рассчитывается по формуле

Таблица 34

Характеристика приборов для измерения температуры горных пород в скважинах (по Л. Н. Крицук)

Приборы	Преимущества	Недостатки	Аппаратура
Ртутные заленивленные термометры	Простота конструкции, точность замера	Громоздки, требуют осторожного обращения, продолжительного выдерживания в скважинах и обязательного подъема на поверхность для снятия замера	—
Термоэлектрические термометры (термопары, ТЭТ)	Не требуют питания током, тепловая инерция ничтожна, измерения проводятся дистанционно	Из-за «старения» необходима периодическая градуировка, применимы главным образом при стационарных исследованиях	Гальванометры или потенциометр
Электротермометры сопротивления	Высокая точность измерения, небольшая тепловая инерция, измерения проводятся дистанционно	Изменение характеристик питающего тока и его утечки могут привести к погрешности в измерениях, оборудование тяжеловесно при измерениях на больших глубинах	Мост сопротивления
Полупроводниковые термометры (термисторы, ПТС)	Высокая точность измерения, стабильность во времени, малая инерционность во времени	Сложность градуировки и монтажа гирлянд	То же

$$K = \frac{\pi z^2}{\tau (\ln A_0 - \ln A_z)^2},$$

где K — коэффициент температуропроводности, м²/с; z — мощность слоя почвы, на кровле и подошве которого измеряется суточная амплитуда температурных колебаний, м; τ — время прохождения суточных колебаний — сутки, с; A_0 — амплитуда суточных колебаний температуры на поверхности исследуемого слоя почвы, °С; A_z — амплитуда суточных колебаний температуры на подошве исследуемого слоя почвы, °С.

Таблица 35

Интервалы измерения температуры пород в скважинах

Интервал глубин от устья скважины, м	Интервал между точками измерения температур, м
0—5	0,5
5—10	1
10—25	2,5
25—50	5
50—100	10
>100	20

Глубины сезонного промерзания пород в полевых условиях определяются путем непосредственных измерений глубин и температур пород в шурфах и зондировочных скважинах, а также геофизическими и расчетными методами. При проходке шурфов помимо глубины протаивания на момент проходки иногда удается фиксировать максимальную глубину протаивания по льдистости породы. Как правило, на границе многолетнемерзлых пород наблюдается максимальная льдистость слоя сезонного протаивания.

При определении глубин протаивания, не превышающих 1,0—1,2 м, можно использовать стальной щуп диаметром 6—8 мм. Обычно он не углубляется в мерзлые породы более чем на 1—2 см, а звук удара о мерзлые породы отличается от удара о каменистые включения.

Для определения мощности сезонноталого слоя могут быть использованы данные вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), необходимость проведения которых возникает при обводненности сезонноталого слоя или мощности его более 1 м.

Глубины, наблюдаемые в течение всего полевого периода в различных природных условиях, следует приводить к максимальным значениям за год (на момент полного промерзания и протаивания пород). С этой целью на отдельных ключевых участках организуются режимные наблюдения за ходом сезонного промерзания или протаивания пород, по данным которых строятся термоизоплеты (кривые изменения температур во времени). Глубина проникновения нулевой изолинии приблизительно характеризует глубину сезонного протаивания (промерзания) пород. На основании полученных данных по времени строятся кривые интенсивности протаивания (промерзания) для типичных ПТК (рис. 31). По этим кривым определяемые в поле глубины приводятся к значениям, соответствующим полному протаиванию (промерзанию), согласно зависимости

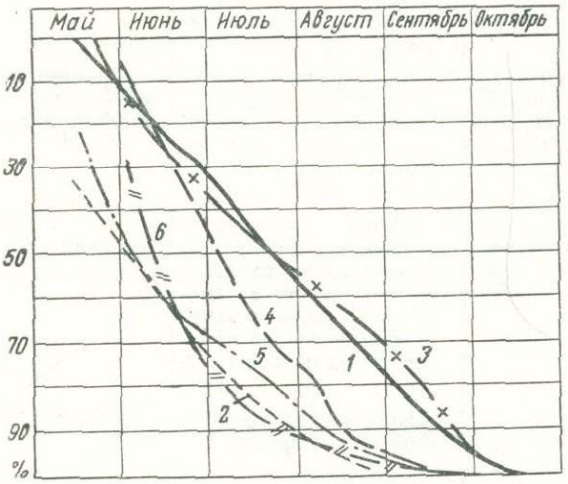


Рис. 31. Среднемноголетние темпы протаивания пород по:
1 — Салехарду; *2* — Якутску; *3* — Игарке; *4* — Норильску; *5* — Зырянке; *6* — Средне-Колымску

$$\varepsilon_{max} = \frac{\zeta}{n} \cdot 100,$$

где ε_{max} — максимальная глубина протаивания; ζ — глубина протаивания (промерзания) на момент исследования; n — процент протаивания (промерзания) на момент исследования (значения берутся по кривой интенсивности оттаивания).

При обработке полевых материалов следует увязать данные, полученные расчетным путем, с материалами натурных наблюдений.

Определение макрольдистости мерзлых пород на участках распространения повторно-жильных льдов (с характерными для различных стадий развития формами криогенного рельефа) производится путем непосредственного изучения льдов в обнажениях и шурфах. Распространение их дополнительно изучается по материалам аэрофотосъемки. Необходимыми исходными данными при этом являются сведения о густоте полигональной решетки и о распространении повторно-жильного льда на исследуемом участке территории, а также размеры жил (ширина по верху, высота, глубина залегания).

Объемную ($I_{о.мл}$) и площадную ($I_{п.мл}$) макрольдистость можно определить путем простейших расчетов:

$$I_{о.мл} = \frac{V_л \cdot 100\%}{V_{пор}},$$

где $V_л$ — объем льда; $V_{пор}$ — объем породы в заданных пределах (обычно в расчеты включают толщу до глубины залегания нижних границ первого яруса ледяных жил).

$$I_{п.мл} = \frac{S_л \cdot 100\%}{S_{уч}},$$

где $S_л$ — площадь, занятая льдом на интересующем нас уровне; $S_{уч}$ — площадь всего участка.

При мелко- и среднемасштабных съемках следует определять средние размеры исходных для расчета данных (средние размеры полигональной решетки на исследуемом участке, средние размеры жил). В тех районах, где ледяные жилы переживают стадию консервации или развиты пластовые или погребенные залежи льда, не выраженные на поверхности, картирование последних следует производить с помощью геофизических методов, а определение их мощностей — с помощью горно-буровых работ.

Определение шлировой льдистости (за счет ледяных шлиров) мерзлых пород со слоистой криогенной текстурой (при расстоянии между соседними шлирами льда около 1 см) производится в полевых условиях путем непосредственного (визуального) подсчета суммарной мощности шлиров льда, приходящихся на 1 пог. м вертикального разреза. Подсчет объемной льдистости производится с трехкратной повторностью.

В случае крупносетчатой текстуры такой подсчет производят по глубине и по простиранию слоя и вычисляют величину средней суммарной толщины ледяных шлиров на 1 м² слоя породы. Шлировая льдистость устанавливается также расчетом по формуле

$$Л_ш = \frac{100\Delta\,(W_с - W_{м.п})}{90 + 9{,}8\Delta\,(W_{м.п} - 0{,}1\,W_н)},$$

где $W_с$ — суммарная влажность, % к массе сухой породы; $W_{м.п}$ — влажность минеральных прослоек, % к массе сухой породы; $W_н$ — влажность за счет незамерзшей воды, % к массе сухой породы; Δ — плотность скелета породы, Т/м³.

Определение цементационной льдистости (за счет льда — цемента) производится расчетным путем по формуле

$$Л_ц = \frac{100\Delta\,(W_{мп} - W_н)}{90 + \Delta\,(W_с - 0{,}1\,W_н)},$$

а в лабораторных условиях — калориметрическим способом.

Для определения дифференцированной льдистости ($Л_ш$ и $Л_ц$) мерзлых пород расчетом по указанным формулам необходимы данные о суммарной влажности, влажности минеральных прослоек и влажности за счет незамерзшей воды. Первые две величины определяются полевыми методами, а количество незамерзшей воды — по формуле СНиП II—18—76 (см. прилож. II).

Для определения суммарной влажности ($W_с$) необходима величина влажности за счет льда-цемента ($W_ц$), шлиров льда ($W_ш$) и незамерзшей воды при данной температуре ($W_н$):

$$W_с = W_ц + W_н + W_ш = W_{м.п} + W_ш,$$

где $W_{м.п}$ — влажность мерзлой породы между ледяными прослойками.

Эффективным методом изучения суммарной влажности — льдистости пород в массиве в полевых условиях является нейтронный метод. Однако опыт использования этого скоростного метода при мелкомасштабных инженерно-геологических исследованиях области распространения мерзлых пород еще невелик.

При термостатно-весовом методе определения суммарной влажности опробование мерзлой толщи производится различными способами: точечным, способами бороздки и средней пробы.

Объемная масса мерзлого грунта может быть определена лишь в полевых условиях и поэтому, независимо от масштаба съемки, на его определение следует обратить особое внимание. К числу полевых методов, позволяющих определять объемную массу пород

в массиве в условиях их естественного залегания, относятся ядерные методы. Имеющийся к настоящему времени опыт их использования в основном связан с изучением мерзлых песчано-глинистых отложений. Опыт применения этих методов в условиях развития крупнообломочных отложений незначителен.

Наиболее распространенными и весьма доступными методами определения объемной массы пока остаются способ режущего кольца и способ Ведерникова, использующий измерение объема пробы грунта (масса менее 2—3 кг) путем измерения объема вытесненной воды, охлажденной до 0° С, или объема нейтральной жидкости (керосин, лигроин и т. п.).

Предварительная оценка величины осадки мерзлых пород после их оттаивания может быть произведена по формуле

$$S = \frac{\gamma_{\text{ск.мин}} (1{,}1\ W_{\text{с}} - W_{\text{г}})}{\gamma_{\text{ск.мин}} (1{,}1\ W_{\text{с}} - W_{\text{г}}) + \gamma_{\text{в}}},$$

где $\gamma_{\text{ск. мин}}$ — объемная масса скелета породы между ледяными включениями; $W_{\text{г}}$ — влажность мерзлой породы между ледяными включениями, доли единицы; $\gamma_{\text{в}}$ — плотность воды, равная 1 т/см^3; $W_{\text{с}}$ — суммарная влажность породы, доли единицы.

Для характеристики сезонно- и многолетнемерзлых пород большое значение имеет правильное и достаточно полное опробование пород в полевых условиях.

Отбор проб для определения суммарной влажности (льдистости) производится одновременно с зондировкой слоя сезонного протаивания (промерзания) при маршрутных исследованиях и является массовым. Из каждой закопушки или зондировочной скважины отбирается не менее 3 проб, интервал между которыми не должен превышать 0,2—0,5 м (в однородном по составу слое). В случае неоднородного разреза на влажность отбираются пробы из каждой литологической разновидности. Из мерзлых пород пробы для определения льдистости отбираются бороздковым методом. По поперечникам, пересекающим наиболее характерные ПТК, организуются наблюдения за ходом сезонного промерзания и протаивания почв и пород. Наблюдения проводятся не реже чем 1 раз в декаду.

Параллельно с опробованием на суммарную влажность (льдистость) из всех вскрытых в разрезе разновидностей отбираются пробы для определения объемной массы породы. Для проверки и уточнения полевых визуальных определений, а также для изучения ряда физических свойств пород отбираются образцы для дальнейшего исследования их в стационарных лабораторных условиях.

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 современными 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*; 2) выявление инженерно-геологических и современных геологических процессов,

вызвавших деформации сооружений; 3) оценка эффективности различных защитных мероприятий в данных инженерно-геологических условиях; 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.

Обследование инженерных сооружений для инженерно-геологических целей 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, слагающих естественные основания. Кроме того, необходимо собрать следующие сведения, характеризующие условия строительства: 1) величина осадок сооружений; 2) принятые углы откосов котлованов, выемок и насыпей в различных породах; 3) поведение пород в откосах и стенках котлованов при различной степени их увлажнения; 4) величина водопритоков в котлованы; 5) проведенные мероприятия по улучшению свойств пород и т. п.

В том случае, если отсутствуют строительные чертежи, акты, заключения экспертиз и другие документы, необходимые сведения можно получить путем опроса лиц, принимавших участие в строительстве или эксплуатации сооружения. При подготовке к натурному обследованию сооружений рекомендуется провести рекогносцировку для выявления наиболее крупных и особо ответственных среди них, имеющих явные следы деформаций. Окончательный выбор объектов для обследования производится после сопоставления и анализа данных рекогносцировки и изучения архивных материалов. Выбор объектов обследований и их количество определяются: 1) масштабом съемки (чем крупнее масштаб, тем больше должно быть число обследованных сооружений на единицу площади); 2) сложностью инженерно-геологических условий; 3) степенью и характером застройки территории — в условиях неравномерной и редкой застройки территории подлежат обследованию все сооружения с деформациями; на других же, где имеется большое число сооружений, приходится выбирать только наиболее характерные.

Ориентировочно для обследования намечаются сооружения: 1) потерпевшие аварии; 2) испытывающие деформации; 3) крупные и особо ответственные; 4) находящиеся в явно неблагоприятных инженерно-геологических условиях; 5) с усиленной жесткостью и другими конструктивными особенностями, направленными на обеспечение устойчивости и долговечности, а также сооружения любого типа, класса и состояния в малозастроенных районах.

Для обследования выбирают такие сооружения, которые расположены в различных ландшафтных и инженерно-геологических условиях. При выборе предпочтение следует отдавать тем объектам, для которых есть наиболее полная инженерно-геологическая характеристика участка и строительная документация. В зависимости от местных условий допустимы отклонения от приведенной выше схемы выбора объектов.

Натурное обследование заключается в осмотре сооружения и оценке состояния стен, перекрытий, внутренних помещений, состояния откосов, насыпей, дорожных покрытий, если возможно, фундаментов

и т. п. Осмотр сопровождают замерами, описаниями, зарисовками, фотографированием, составлением профилей. Особое внимание при натурном обследовании 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 выявлению деформаций, вызванных качеством строительства.

Осмотру и описанию подлежит также местность вокруг сооружения, в пределах которой следует описывать обнажения (естественные и искусственные), охарактеризовать современные геологические процессы, водопроявления, следы инженерно-геологических процессов (признаки осадки, выпирания, разжижения пород и т. п.), а также все изменения естественных условий, вызванные деятельностью человека (уничтожение растительности, распашка склонов, орошение и т. п.).

Помимо детального обследования полезно хотя бы бегло осмотреть сооружения, находящиеся в сходных инженерно-геологических условиях. При этом деформированные сооружения необходимо осматривать более тщательно, чтобы установить сходство или различие в характере деформаций по сравнению с детально обследованным сооружением. 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 или иных сооружений. При натурном обследовании сооружений на участках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, где иногда деформации приобретают массовый характер, необходимо обследовать и недеформированные объекты, чтобы выяснить конструктивные особенности сооружений (тип фундамента, усиленная жесткость и т. п.), обеспечившие сохранность их от деформаций. Обработка собранных данных, полученных в процессе натурного обследования, 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, типы и состояние пород и т. п.). С этой целью на инженерно-геологические карты наносятся сооружения, имеющие деформации, а также оконтуриваются районы, где проявляются характерные деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 14

1. *Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И.* Полевые методы инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1967. 372 с.
2. *Веригин Н. Н.* Методы определения фильтрационных свойств горных пород. М., Госстройиздат, 1962. 180 с.
3. *Коломенский Н. В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968. 335 с.
4. *Грунтоведение.* Изд-во МГУ, 1973. 386 с. Авт.: Е. М. Сергеев, Г. А. Голодковская, Р. С. Зиангиров, В. И. Осипов, В. Т. Трофимов.
5. *Методика* комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки м-бов 1 : 200 000 и 1 : 500 000. М., Изд-во МГУ, 1970. 356 с.
6. *Методическое* пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. I. М., Изд-во МГУ, 1968. 346 с.
7. *Методическое* руководство по гидрогеологической съемке м-бов 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. Под общ. ред. А. А. Маккавеева и А. С. Рябченкова. М., Госгеолтехиздат, 1961. 319 с. с ил.
8. *Справочник* по инженерной геологии. М., «Недра», 1974. 540 с.

Часть III

ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ДАННЫХ, АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Глава 15

ПОЛЕВАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

ПОЛЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Все полевые наблюдения при съемке должны тщательно документироваться. При этом производится описание инженерно-геологических условий исследуемой территории, а также обнажений и разведочных выработок. Кроме того, составляются полевые карты и происходит регистрация отбираемых образцов пород и проб воды. Поскольку инженерно-геологические карты являются картами синтетическими, комплексными, составление их требует учета целого ряда компонентов (рельеф, геологическое строение, состав и состояние горных пород, грунтовые воды и их агрессивность, современные геологические процессы и др.) в их взаимосвязи, а окончательное дешифрирование аэроснимков по всей территории производится после завершения полевого сезона.

В процессе проведения комплексной геологической съемки производится составление полевых карт: геологической, геоморфологической, гидрогеологической и ландшафтно-индикационной.

При проведении только инженерно-геологической съемки (на готовой геологической и гидрогеологической основе) в полевых условиях составляются только ландшафтно-индикационная карта, карта фактического материала и разрезы по ключевым участкам и опорным маршрутам.

Фиксация полевых наблюдений должна проводиться в определенной системе. Для этого необходимо вести стандартные полевые дневники, журналы разведочных выработок, образцов и проб, а также откачек из скважин, наливов в шурфы и других замеров.

Полевые дневники — это документы, в которых ведется систематическая запись визуальных наблюдений во время их рекогносцировочных и съемочных маршрутов, включая описание обнажений, расчисток, мелких горных выработок, родников, данных о деформациях сооружений и др.

На первом листе дневника следует указать наименование организации, производящей съемку, экспедицию, партию или отряд, а также исполнителя, ведущего документацию. В полевом дневнике ведутся подробные записи о геологических, геоморфологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условиях исследуемой территории. При этом необходимо отмечать выходы грунтовых вод в основаниях обрывов и склонов (родники, мочажины, заболоченности) с указанием температуры воды и примерного дебита, а также фиксировать колодцы и прочие водопункты. Любая выработка или точка наблюдений, описание которой приводится в полевом дневнике, должна быть нанесена на аэроснимок и на полевую карту фактического материала. Каждая точка на карте должна быть отмечена присвоенным ей знаком и соответствующим номером. При описании горных выработок отмечаются географическое местоположение выработки с указанием ее геоморфологического и приблизительного гипсометрического положения, сроки и да-

Организация
Экспедиция
Партия, отряд

Таблица 36

Буровой журнал скважины №.....

Местонахождение.....

.....

Отметки устья: абс. ..... м, относит. ..... м

Общая глубина скважины

Диаметр скважины: начальный ..... мм

конечный ..... мм

Скважина начата .....

окончена .....

Число страниц журнала.....

Число и месяц	Характер работы	Затраченное время	Род инструмента и его диаметр	Глубина скважины, м		Глубина крепления, м	Диаметр обсадных труб, мм	Категория пород по буримости	Выход керна, %	Геологический индекс пород	Описание пройденных пород	Зарисовка криогенной текстуры	Мощность пласта, м	Глубина залегания подошвы пласта от поверхности земли, м	Глубина появления воды, м	Установившийся уровень, м	Глубина кровли и подошвы мерзлого слоя, м	Номер проб горных пород, воды и глубина их отбора, м	Конструкция скважины	
				в начале смены	в конце смены														проектная	фактическая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Составил Проверил

ты проходки, а также приводится ландшафтная характеристика прилегающей территории.

Все записи по документации горных выработок производятся в правой половине развернутого листа дневника, а в левой — напротив соответствующих глубин следует писать номера образцов, отобранных на анализы, и делать зарисовки: слоистости пород, распределения включений и прослоев, в многолетнемерзлых породах — криогенной текстуры и т. д.

Наиболее детальным исследованиям и описаниям с зарисовками, фотографированием и определением классификационных показателей горных пород подвергаются участки, на которых наблюдаются резкие изменения рельефа, геологического строения и гидрогеологических условий, а также интенсивное развитие современных геологических и инженерно-геологических процессов.

Документацию разведочных выработок следует вести в журналах специальной разграфки. Ниже приводятся форма журнала буровой скважины зондировочного бурения и форма журнала шурфа, рекомендуемые для использования (табл. 36 и 37). При послойном описании выработок для каждого слоя следует указывать: петрографический состав, цвет, визуально-минералогический состав, структуру, текстуру, в областях распространения многолетнемерзлых пород — криогенное состояние и криогенную текстуру. Кроме того, следует вести зарисовки с указанием масштаба рисунка, а при возможности производить фотографирование. После окончания проходки горной выработки и визуального изучения отобранных образцов составляется колонка единых условных обозначений пород, принятых в данной организации, и

Организация
Экспедиция
Партия, отряд

Таблица 37

Журнал шурфа №.....

Местонахождение.....

.....

Отметки: абс. ..... м, относительная..... м

Зарисовка стенок шурфа и азимуты	Глубина залегания, м		Мощность слоя, м	Геологический индекс	Описание пройденных пород, данные о водоносности, состоянии и свойствах пород	Глубина взятия проб и их номер
	кровли слоя	подошвы слоя				

Масштаб: вертикальный..... Шурф начат..... окончен.....

горизонтальный..... Глубина шурфа

Глубина появления воды..... м

Установившийся уровень..... м

Составил: Проверил:

проводится первоначальная полевая геологическая индексация. Описание шурфов и расчисток ведется по их стенкам, откуда отбираются образцы на различные виды анализов. Интервалы опробования разных видов анализов различны.

Каждый образец пород, отобранный для лабораторных исследований, снабжается этикеткой, которая заворачивается в кальку. В этикетке указывается: 1) организация, проводящая съемку; 2) экспедиция, партия или отряд; 3) наименование и номер горной выработки или обнажения; 4) местоположение; 5) номер образца; 6) глубина или интервал отбора; 7) полевое определение породы; 8) необходимые лабораторные определения; 9) число, подпись.

Кроме того, ведется журнал регистрации отобранных образцов, форма которого приводится в табл. 38.

По всем отобранным образцам пород для передачи их в лабораторию составляется ведомость по следующей форме (табл. 39).

В табл. 40, 41, 42 приведены формы журналов для определения влажности, объемной массы и коэффициента фильтрации.

Для всех отмеченных на исследуемой территории колодцев и родников (источников) составляются каталоги по следующей форме (табл. 43, 44).

Пробы воды на химический анализ отбираются в стеклянные бутылки и плотно закрываются резиновыми пробками, после чего парафинируются. Объем проб устанавливается в зависимости от видов анализов. Каждая бутылка снабжается этикеткой, которая привязывается к бутылке. В этикетке указывается: 1) организация, проводящая съемку, экспедиция, партия, отряд; 2) наименование и номер водопункта; 3) местоположение; 4) номер пробы и указание, на какой анализ она берется; 5) характеристика воды (цвет, вкус, прозрачность, температура); 6) температура воздуха при отборе; 7) объем пробы и количество бутылок; 8) кто отобрал пробу; 9) число, подпись.

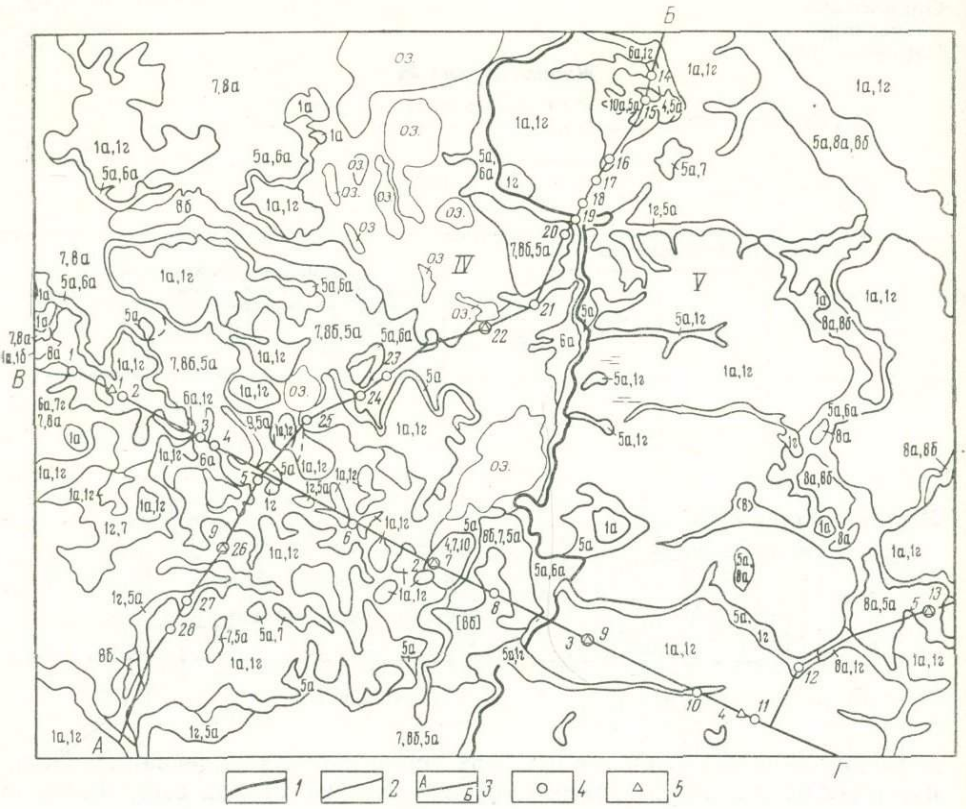


Рис. 32. Ландшафтно-индикационная карта ключевого участка:

1 — границы и индексы ландшафтов; *2* — границы и индексы урочищ; *3* — линии профилей; *4* — скважины; *5* — точки ВЭЗ

Таблица 38

Форма журнала для отбора образцов пород

Дата	Местоположение	Наименование и номер выработки	Номер образца	Описание породы	Глубина отбора	Требуемые виды анализов
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 39

Ведомость для передачи образцов пород в лабораторию

Наименование и номер выработки	Номер образца	Глубина отбора	Дата отбора	Визуальное определение породы	Геологический индекс (полевое определение)	Виды анализов	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8

На свернутой и привязанной к бутылке этикетке снаружи пишется номер пробы. Аналогичная характеристика пробы приводится в полевом журнале, где фиксируются все отобранные пробы воды (табл. 45).

Таблица 40

Форма журнала для определения влажности горных пород

Дата	Номера выработок и их местоположение	Номер монолита, если отбирался	Порода	Глубина отбора	Номер бюкса	Масса пустого бюкса	Масса бюкса с сырым грунтом	Масса бюкса с грунтом после сушки		Влажность, г	Масса сухой навески	Влажность, %	Средняя влажность, %
								I	II				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Таблица 41

Форма журнала для определения объемной массы горных пород

Дата	Номера выработок и местоположение	Номер монолита, если отбирался	Номер кольца	Масса пустого кольца	Объем полости кольца, $см^3$	Масса кольца с влажным грунтом	Масса влажного грунта	Объемная масса влажного грунта, $г/см^3$	Средняя объемная масса влажного грунта	Естественная влажность, %	Объемная масса абсолютно сухого грунта
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица 42

Форма журнала для определения коэффициента фильтрации ($K_ф$) на приборе Ковалева

Дата	Наименование и номер выработки	Глубина отбора	Порода	Температура воды, °С	Отсчеты $K_ф$ по шкале		
					через 1 мин	через 2 мин	через 3 мин

Таблица 43

Каталог колодцев

Номер на карте	Местоположение и рельеф	Абсолютная высота, м	Водоносный горизонт	Глубина до воды, м	Глубина до дна, м	Характеристика воды				Оборудование	Сведения об использовании колодца	Примечание
						цвет	вкус	прозрачность	температура			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Таблица 44

Каталог родников (источников)

Номер на карте	Местоположение и рельеф	Краткая геологическая характеристика места выхода родника	Краткая гидрогеологическая характеристика и тип родника	Дебит, л/с	Тип каптажа	Характеристика воды				Сведения об использовании родника	Примечание
						цвет	вкус	прозрачность	температура, °С		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица 45

Форма журнала для учета проб воды на химический анализ

Наименование и номер водопункта	Дата отбора	Адрес	Номер пробы	Характеристика водопроявления	Дебит	Характеристика воды				Температура воздуха, °С	Объем пробы	Требуемые виды анализов
						цвет	вкус	прозрачность	температура воды, °С			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

При работе в районах с многолетнемерзлыми породами необходимо проводить температурные замеры. Ниже приводятся формы разграфки соответствующих журналов (табл. 46 и 47).

Таблица 46

Форма журнала для учета данных по температуре пород, *измеренной ртутными термометрами*

Дата	Номер скважины	Глубина замера, м	Номер термометра	Поправка к отсчету, °С	Время выстойки 1-го замера	Отсчет по термометрам 1-го замера, °С	Исправленный отсчет 1-го замера	Время выстойки 2-го замера	Отсчет по термометрам 2-го замера, °С	Исправленный отсчет 2-го замера	Время выстойки 3-го замера	Отсчет по термометрам 3-го замера	Исправленный отсчет 3-го замера	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Таблица 47

Форма журнала для учета данных по температуре пород, измеренной термисторами

Глубина, м	Номер вывода	Номера термисторов						Примечание
		1	2	1	2	1	2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

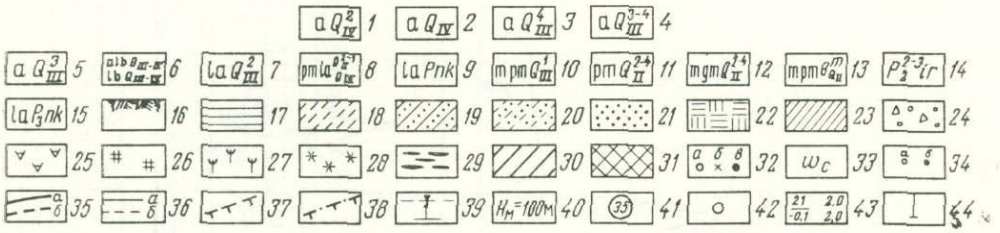


Рис. 33. Условные обозначения к инженерно-геологическим разрезам и колонкам буровых скважин.

На колонках скважин и разрезах: *1* — современные отложения низкой поймы; *2* — современные отложения поймы; *3* — верхнечетвертичные отложения I надпойменной террасы; *4* — верхнечетвертичные отложения I и II надпойменных террас; *5* — верхнечетвертичные отложения II надпойменной террасы; *6* — четвертичные и современные аллювиальные, озерные и озерно-болотные отложения; *7* — верхнечетвертичные отложения III надпойменной террасы; *8* — средне-верхнечетвертичные и современные нерасчлененные прибрежно-морские и озерно-аллювиальные отложения; *9* — олигоценовые отложения (некрасовская серия); *10* — верхнечетвертичные (казанцевские) морские и прибрежно-морские отложения; *11* — среднечетвертичные (мужинские) прибрежно-морские отложения; *12* — среднечетвертичные (салехардские) морские и ледово-морские отложения; *13* — среднечетвертичные (салехардские) морские, ледово-морские и прибрежно-морские отложения; *14* — средне-верхнеэоценовые отложения ирбитской свиты. Диатомовые глины и диатомиты, глауконитовые пески. Мощность от 80 до 250 м; *15* — олигоценовые отложения (некрасовская серия). Пески мелко- и среднезернистые, пылеватые каолинизированные, с гравием, с прослоями глин. Мощность до 150 м; *16* — растительные слои; *17* — глины; *18* — супесь; *19* — переслаивание суглинка и песка; *20* — переслаивание супеси и песка; *21* — песок; *22* — торф; *23* — суглинок; *24* — гравий и галька; *25* — ожелезненность; *26* — оторфованность; *27* — растительные остатки.

На колонках скважин.

Криогенная текстура: *28* — массивная; *29* — линзовидная; *30* — слоистая; *31* — сетчатая; *32* — влажность (в %) к влажной навеске (*а* — измеренная по ГОСТ 5179—64; *б* — по НИВ-1; *в* — влажность минеральных прослоек); *33* — влажность (в %) к сухой навеске; *34* — объемная масса скелета грунта, г/см³ (*а* — измеренная по ГОСТ 5182—64; *б* — гамма-гаммаплотномером).

На разрезах: *35* — границы стратиграфо-генетических комплексов (*а* — установленная, *б* — предполагаемая); *36* — границы стратиграфо-генетических комплексов пород, различных по составу (*а* — установленная, *б* — предполагаемая); *37* — граница многолетнемерзлых пород; *38* — граница прерывистой по простиранию маломощной многолетнемерзлой толщи и перелетков; *39* — уровень грунтовых вод; *40* — мощность многолетнемерзлых пород; *41* — средняя суммарная влажность мерзлых грунтов, в % к массе сухой навески; *42* — скважины и точки ВЭЗ, расположенные вне линии разреза; *43* — номер скважины — числитель; среднегодовая температура в скважине — знаменатель; *44* — скважина

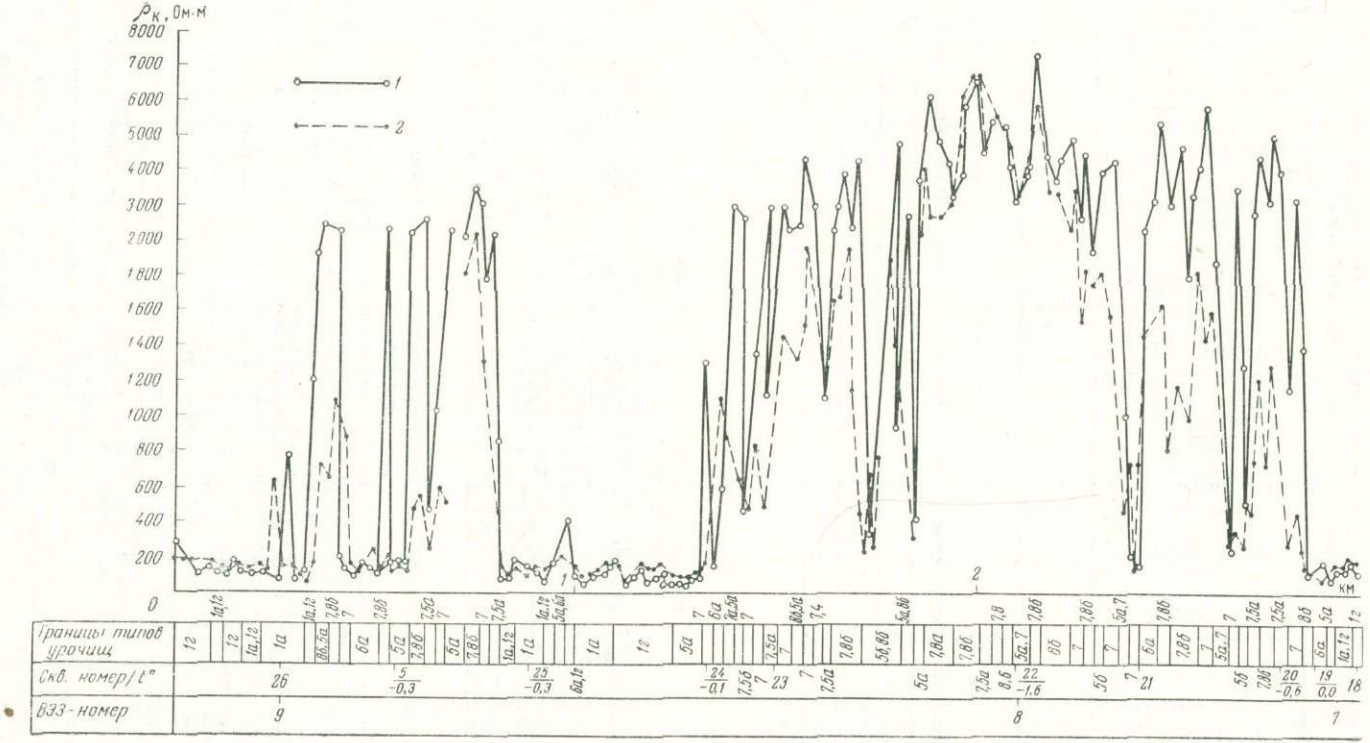


Рис. 34. Геоэлектрический разрез.

1 — АВ=50 м; *2* — АВ=25 м

В комплекс работ при инженерно-геологической съемке входит также проведение откачек из скважин, нагнетаний в скважину, откачек из шурфов, наливов в шурфы. Для документации каждого из этих видов работ необходимо применять стандартные журналы, формы которых приводятся в руководствах по гидрогеологической съемке. Среди прочих полевых материалов весьма важное значение имеют инженерно-геологические разрезы ключевых участков. Они являются средством первичного графического обобщения большей части материалов наземных исследований и совместно с ландшафтно-индикационной картой (см. рис. 32) представляют основу для составления карты четвертичных отложений, гидрогеологической и инженерно-геологической карт. Горизонтальный масштаб разрезов обычно выбирается близким к масштабу используемых аэрофотоснимков (1 : 20 000; 1 : 25 000; 1 : 30 000; 1 : 40 000). Вертикальный масштаб устанавливается исходя из условий залегания пород. В платформенных районах масштаб целесообразно принять равным 1 : 200—1 : 500, в горно-складчатых он может быть более мелким. Разрезы строятся в процессе полевых работ на ключевых участках. Для их построения используются результаты изучения обнажений, колонки буровых скважин, геоэлектрические разрезы, данные пенетрационных и пенетрационно-каротажных работ и др. Разрез должен характеризовать высотное положение участка (рельеф), состав и условия залегания горных пород, положение уровня грунтовых вод, характер распространения многолетнемерзлых пород и их температу-

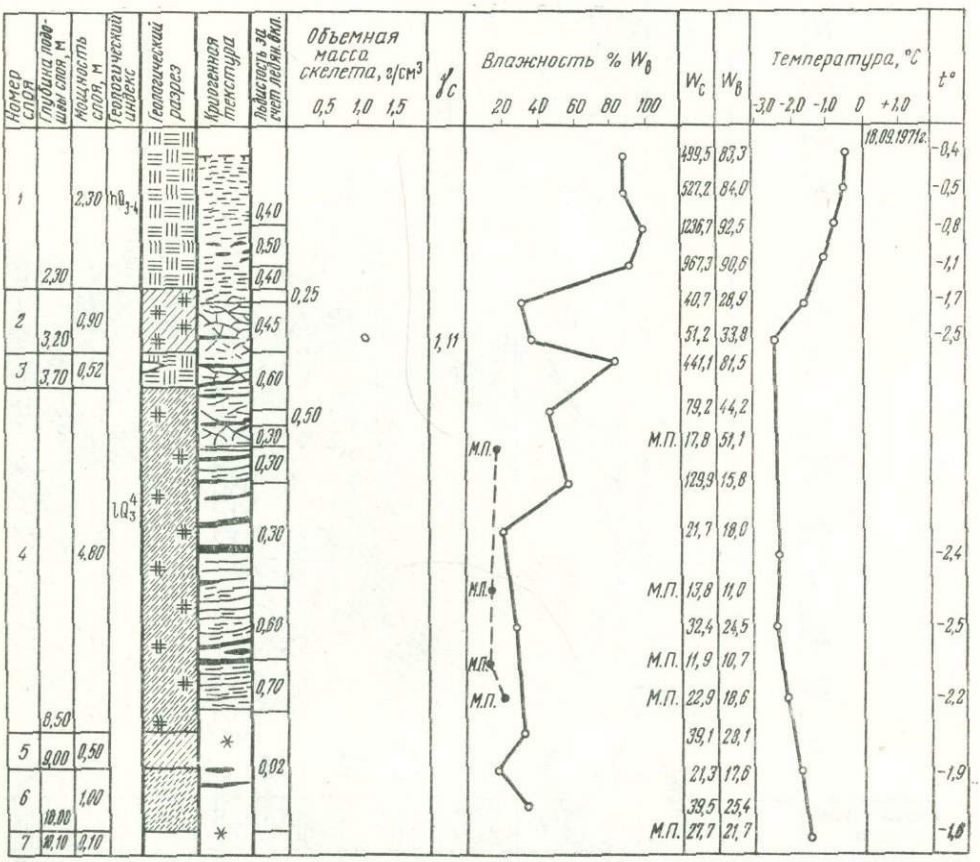


Рис. 35. Колонка буровой скважины

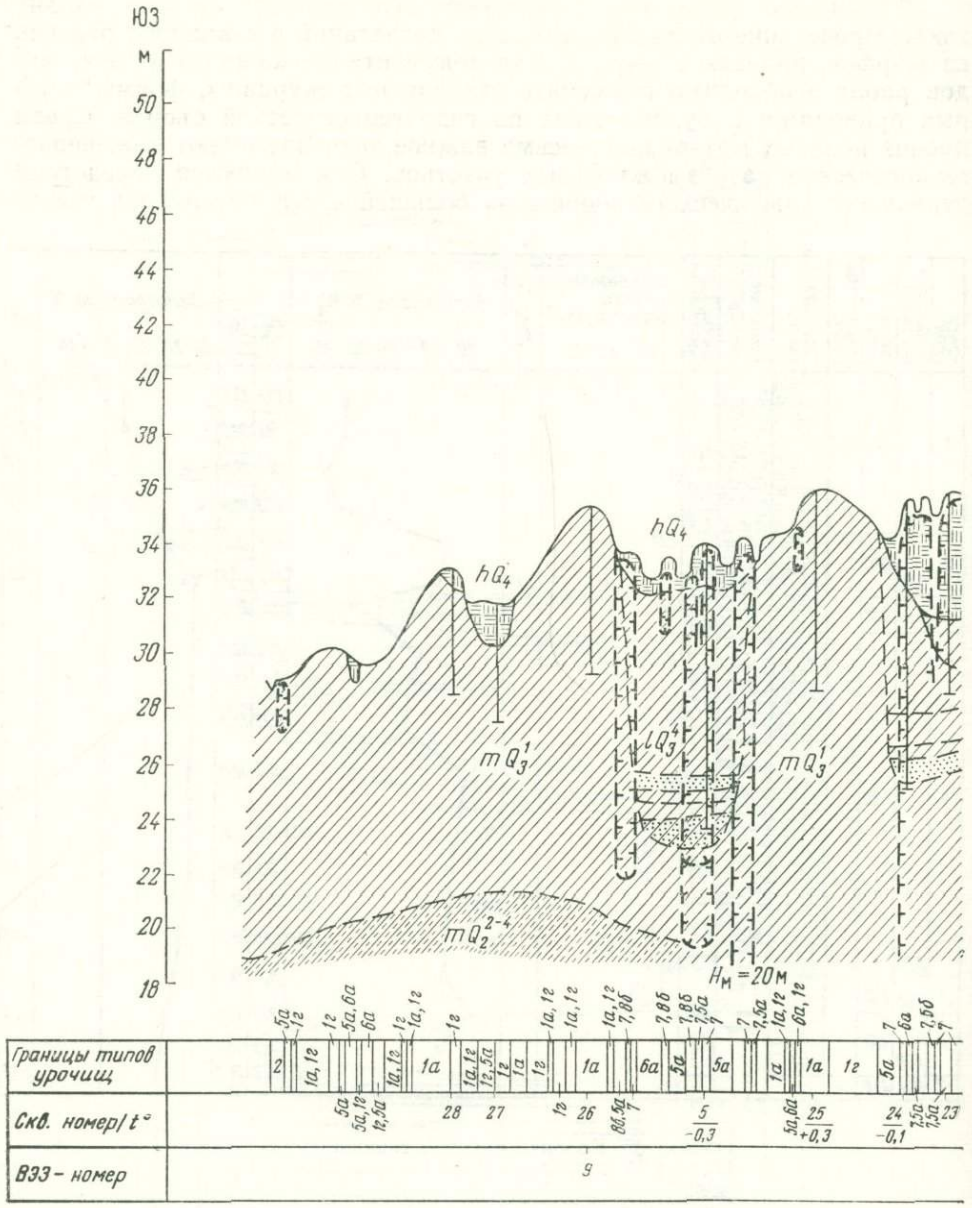
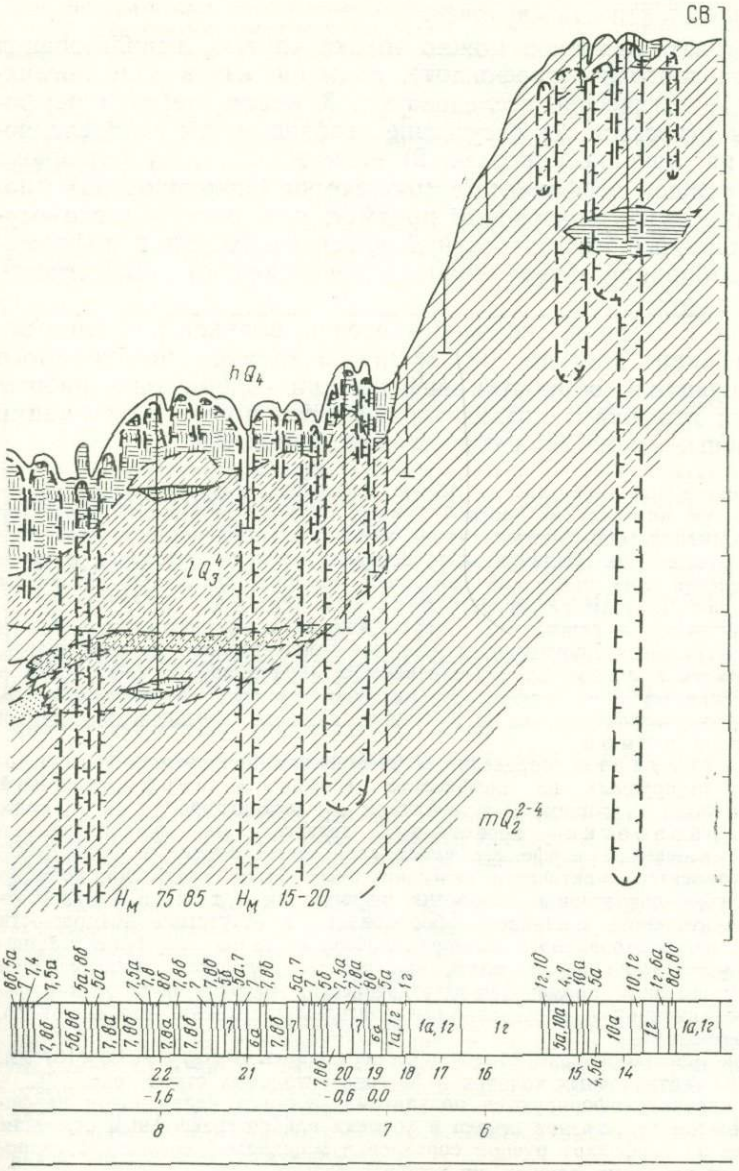


Рис. 36. Инженерно-геокриологиче

ру, современные геологические процессы (карст, оползни, суффозию и пр.), количественную оценку наиболее важных классификационных показателей горных пород (влажность грунтов, их засоленность и пр.).

На разрезе обязательно должна быть указана принадлежность того или иного участка к определенному типу ПТК. Поскольку разрез отражает изменения различных компонентов инженерно-геологических условий в пространстве, выбор его направления должен быть обоснован. В некоторых случаях целесообразно поэтому располагать профили с горными и буровыми выработками по ломаным линиям, положение которых должно быть точно закреплено на аэрофотоснимке. Примеры колонки буровой скважины, геофизического профиля инженерно-геологического разреза и ландшафтно-индикационной карты ключевого уча-



ский разрез по ключевому участку

стка приведены на рис. 33—36. На рис. 33 показаны типовые условные обозначения к инженерно-геологическим разрезам и колонкам буровых скважин.

ПЕРФОКАРТЫ

Существующая система сбора, обработки и хранения инженерно-геологической полевой и лабораторной документации на разного рода карточках, бланках и таблицах обладает рядом недостатков. Основными из них являются следующие: 1) необходимость строгого соблюдения определенного порядка расположения карточек; 2) возможность поиска материала только по одному единственному признаку, положенному в

основу составления картотеки; 3) ограниченность объема такой картотеки при сложных комплексных работах (не более нескольких сотен карточек); 4) некомпактность карточек.

Избежать этих недостатков можно только путем использования перфорированных карточек (перфокарт), применяемых в ряде организаций, ведущих геологические исследования. К преимуществам перфокартной системы относятся: 1) отсутствие необходимости определенного порядка при расстановке карточек; 2) возможность одновременного обозначения на каждой перфокарте символически (закодировано) множества признаков, характеризующих предмет, явление; 3) легко осуществим одновременный многоаспектный поиск необходимой информации по любой комбинации закодированных признаков; 4) компактность массивов перфокартотек.

По сравнению с обычной системой карточек, бланков и таблиц использование перфокарт дает до 90% экономии времени, необходимого для поиска и первичной обработки информации. Кроме того, работы с использованием перфокарт позволяют избежать потерь информации и выявить различные закономерности изучаемых явлений.

Перфорированная карта, или, как ее обычно называют, п е р ф о к а р т а, представляет прямоугольную карточку из плотной бумаги, на которой имеются отверстия (перфорация). Информация, обозначаемая (кодируемая) на перфокарте в виде пробивок и вырезок, должна быть предварительно собрана в группы признаков и представлена в виде перечня этих признаков (названий, явлений, предметов, связанных с ними свойств величин), которые называются д е с к р и п т о р а м и.

Перечень дескрипторов и данные им символы (числа, комбинации чисел, буквы и др.), при помощи которых производится «запись» (обозначение) на перфокарте, образуют к о д д е с к р и п т о р о в. Способ обозначения (кодирования) чисел, букв и других символов дескрипторов на перфокартах называется к л ю ч о м. Случайное выпадение при сортировке перфокарт, не содержащих нужного признака, называется и н ф о р м а ц и о н н ы м ш у м о м.

Е м к о с т ь п е р ф о к а р т ы определяется возможным количеством дескрипторов, одновременно кодируемых на перфокарте, а емкость п е р ф о к а р т н о й с и с т е м ы — возможным общим количеством дескрипторов в коде. По с п о с о б у о б р а б о т к и перфокарты делятся на машинные и ручные. Применение машинных перфокарт имеет свои преимущества и недостатки. К преимуществам относятся практически неограниченный объем картотеки, возможность сложной и весьма оперативной обработки информации и т. д., а к недостаткам — *необходимость сложного машинного оборудования и отсутствие возможности* нанесения на карту незакодированного материала. Использование перфокарт машинной сортировки целесообразно осуществлять при объеме картотеки, превышающем 20 тыс. карт, и при широком применении математических методов обработки с помощью счетно-перфорационной и электронно-вычислительной техники. Различают 45, 80 и 90-колонные перфокарты.

Наиболее широко распространены 80-колонные перфокарты. Размер их 83×187 мм. Они разделены на 80 вертикальных колонок и 12 горизонтальных строк (рис. 37).

Отверстия на картах перфорируются полуавтоматическими клавишными перфораторами по координатам пересечения строки и колонки или по графитовым отметкам на карте. В отличие от перфокарт ручной сортировки машинные перфокарты сопровождаются таблицами исходных данных, из которых только часть заносится на перфокарту. Скорость поиска информации на машинных перфокартах колеблется от 300 до 1000 карт в минуту.

Для обработки ручных перфокарт требуются самые простые инструменты: ножницы для кодирования и спицы для сортировки. Именно эта простота является основой начавшегося в настоящее время широкого внедрения ручных перфокарт в качестве средств малой механизации информационно-поисковых процессов.

П о к о н с т р у к ц и и ручные перфокарты делятся на карты с внешней (краевой) и внутренней перфорацией. Среди перфокарт с краевой перфорацией выделяются однорядные и двухрядные. На двухрядной перфокарте каждая вертикальная пара отверстий может быть вырезана одним из трех способов — короткой, промежуточной или глубокой вырезкой.

К ручным перфокартам с внутренней перфорацией относятся так называемые щелевые перфокарты. От карт с внешней перфорацией они отличаются бóльшим количеством отверстий. На этих картах перфорация обычно занимает всю нижнюю половину перфокарты. При занесении на щелевую перфокарту различных признаков два смежных отверстия соединяются между собой, образуя щель.

К преимуществам щелевых перфокарт относятся: возможность закодирования на них большего (чем на двухрядной) количества признаков, быстрота сортировки, так

как все необходимые карты можно отобрать за один прием, оперируя несколькими спицами, в то время как у двухрядных перфокарт возможна одновременная выборка лишь по признакам, расположенным по одной стороне карточки.

К недостаткам щелевых перфокарт относятся: ограниченное пространство для внесения текста и необходимость наличия сортировочного ящика.

По содержанию перфокартные системы делятся на прямые и обращенные. При составлении перфокартотеки выбор прямой или обращенной системы зависит от соотношения количества признаков и объектов в той области, для которой она предназначена. При составлении обращенных картотек применяются суперпозиционные или визуальные перфокарты.

«Обращенность» суперпозиционной системы перфокарт состоит в том, что в ней каждая отдельная карта составляется на признак, а не на объект, как в прямой картотеке. Таким образом, в обращенной картотеке как бы нарушается единство времени и места, свойственное исходному материалу.

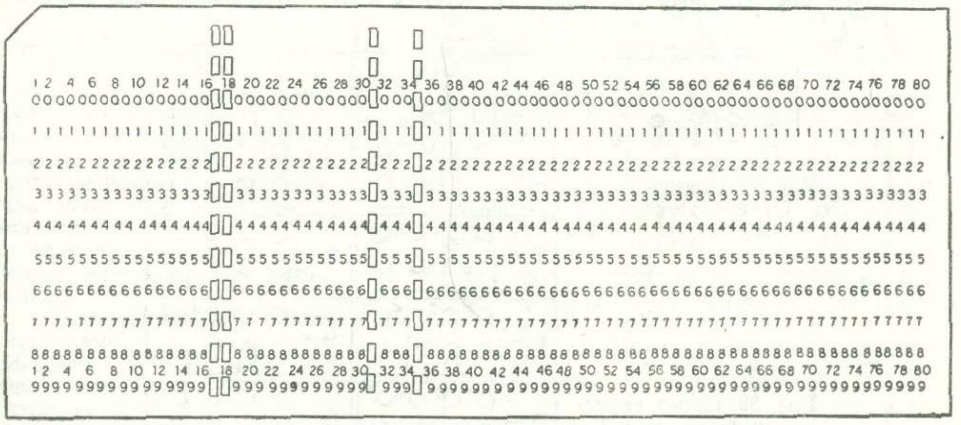


Рис. 37. Стандартная 80-колонная перфокарта машинной сортировки

Совершенно очевидно, что при нанесении на перфокарты полевого фактического материала, для которого такое единство времени и особенно места сбора имеет не только формальное, но и смысловое значение, суперпозиционная система сбора является непригодной.

Все вышесказанное позволяет прямую систему перфокарт с двухрядной краевой перфорацией признать наиболее пригодной для сбора, хранения и обработки материалов инженерно-геологической съемки.

В СССР производятся двухрядные перфокарты трех стандартов — К-4 (207××297 мм); К-5 (147×207 мм) и К-6 (105×147 мм).

Отметка признаков на двухрядной перфокарте возможна тремя способами: 1) короткой (мелкой) вырезкой от внешнего края карточки до ближайшего отверстия; 2) длинной (глубокой) вырезкой от внешнего края карточки до дальнего отверстия; 3) средней вырезкой, соединяющей между собой отверстия внешнего и внутреннего рядов перфорации.

Наиболее употребимы короткая и длинная вырезки. Основные способы кодирования чисел и букв следующие.

Прямой ключ является простейшим (рис. 38). В нем каждому числу или букве соответствует определенное отверстие на перфокарте. Однако применение этого ключа снижает емкость информационно-поисковой системы. Этот ключ используется лишь для тех групп признаков, которые требуют одновременной записи многих признаков.

Ключ 1-2-4-7 очень часто употребляется при кодировании на двухрядных перфокартах (рис. 39). В каждом поле (4 пары отверстий) на перфокарте может быть отмечено лишь одно кодовое число. При отметке многозначных чисел берется несколько полей (число полей равно значимости чисел).

Трехосновной ключ позволяет сделать ИПС* более емкой. В этом ключе перфорация внешнего ряда выражает степень числа 3 : 1, 3, 9, 27. Во внутреннем ряду обозначаются находящиеся в той же паре отверстий удвоенные числа (2, 6, 18, 54) (рис. 40).

Четырехосновной ключ применяется редко, так как отбор нужных карточек в этом случае осложнен значительным информационным шумом, связанным с использованием средней вырезки.

---

* ИПС — информационно-поисковая система.

Для вырезки букв могут применяться те же ключи, что и для цифр. Кроме этого, широко используются координатные ключи (рис. 41).

Рассмотрим последовательность работы с перфокартами.

1. Нанесение информации начинается с заполнения граф внутреннего поля карты или наклеивания на нее регистрируемых документов, их фотокопий, микрофильмов и т. п. Всякие наклейки на внутреннем поле карт вызывают разрыхление массива и тем самым способствуют более удобной сортировке его. Одна перфокарта может содержать фотокопию текста целого журнала или машинописного отчета в 100 страниц. Если в отдельных случаях весь материал не помещается на одной карте, его переносят на следующую карту, шарнирно скрепленную с первой при помощи перфорированной наклейки. В машинных перфокартных системах, где емкость карт сравнительно невелика, а объем картотеки неограничен, такой способ применяется очень часто.

2. После заполнения внутреннего поля карты приступают к кодированию. Для этого в соответствии с разработанным кодом и схемой размещения полей делают карандашные отметки около тех отверстий, которые будут затем прорезаны с помощью

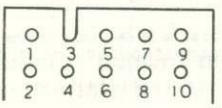


Рис. 38. Прямой ключ. Отмечено число 3

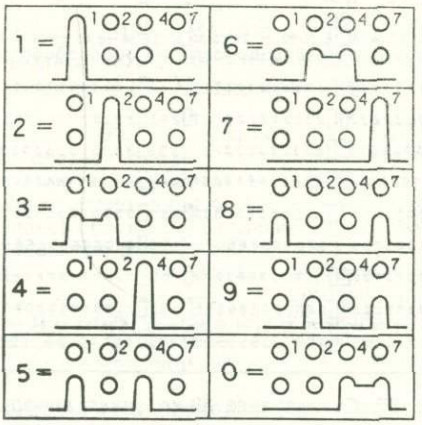


Рис. 39. Схема вырезки чисел ключом 1—2—4—7

ножниц или специальных щипцов — пробойников. Вручную можно прорезать около 180 карт в час.

3. Сортировку перфокарт производят следующим образом. Из массива карт берут пачку толщиной не более 5 см (в ней содержится около 250 карт), переворачивают ее вверх рабочей стороной (т. е. той стороной, на которой закодированы искомые признаки), выравнивают и в нужное отверстие правой рукой вводят спицу. Затем левой рукой пододвигают левый край пачки к себе и затем возвращают в исходное положение. В результате такого приема карты на спице рассредоточиваются и свободно выпадают из пачки. При этом левая рука принимает выпадающие карты, не давая им рассыпаться по столу. Стопки карт (выпавших и оставшихся на спице) подвергаются тщательному контролю, чтобы выявить случайно невыпавшие карты или выпавшие ошибочно.

В каждом конкретном случае план поисков (сортировки перфокарт) составляется с таким расчетом, чтобы при первом же отборе получить наименьшее количество карт. Когда число сортируемых карт достигает 20—40, целесообразно прекратить поиск с помощью спиц или других приспособлений. Дальше карты перебираются вручную. С помощью спиц можно по одному признаку просортировать 20 000 карт, а по нескольким — 7000—8000 карт в час. Весьма несложные приспособления позволяют существенно ускорить процессы сортировки перфокарт. К таким приспособлениям относятся: 1) выравнивающий блок-лоток, представляющий собой ящик с тремя сопряженными стенками, образующий угол для выравнивания рабочей пачки; 2) селекторные ящики и рамки; 3) спицы с запором (типа английской булавки) и др.

Устройство их подробно описано во многих руководствах.

При составлении картотек на перфокартах считается целесообразным следующий порядок работы: 1) определение назначения создаваемой картотеки, характера и перечня вопросов, на которые она должна отвечать; 2) разработка списка дескрипторов, которые могут с необходимой точностью характеризовать описываемые на карточках объекты; 3) выбор способа кодирования информации на перфокартах. При выборе способа кодирования определяющими являются общий объем информации, предназначенной для кодирования, а также выбранный размер перфокарт; 4) составление макета ключевой перфокарты.

Для этого выбирается форма показа кодируемого материала на свободном внутреннем поле карты и определяется размещение на краю перфокарты всех кодируемых признаков с учетом частоты их использования.

Массив перфокарт наиболее удобно сортировать по признакам, указанным на верхнем краю карты. Поэтому туда следует помещать дескрипторы, наиболее часто встречающиеся при поиске.

5. Печатание на перфокартах трафарета с частичной или полной расшифровкой кода.

При создании перфокартной системы наиболее ответственной частью работы является разработка кода дескрипторов. От полноты и правильности составления этого

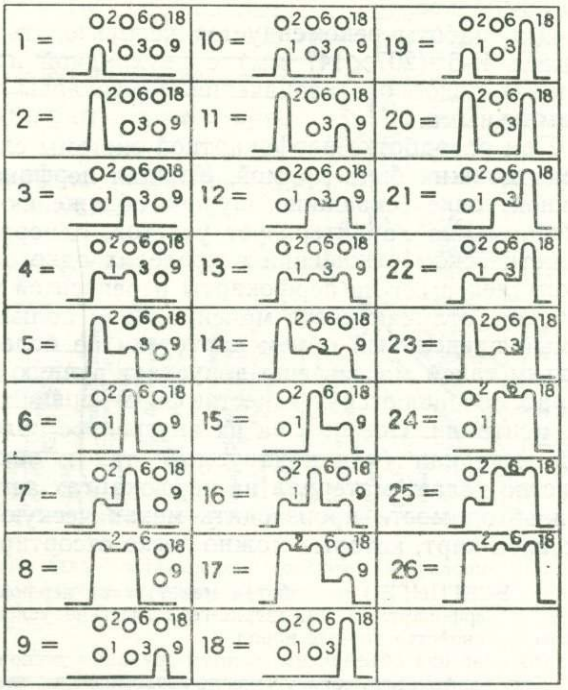


Рис. 40. Схема вырезки чисел трехосновным ключом

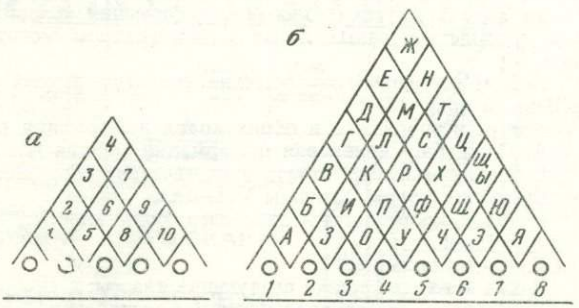


Рис. 41. Координатные ключи: *а* — треугольный десятичный; *б* — для записи алфавита

кода зависит безошибочное функционирование всей системы в дальнейшем, поскольку внесение изменений (кроме предусмотренных) в последующем исключено. От полноты кода зависит и возможность многомерного, многоаспектного поиска закодированной информации.

Для решения этой задачи необходимы: 1) отбор всех признаков, которые тем или иным способом будут заноситься на перфокарту, т. е. составят ее содержание; 2) разделение признаков на кодируемые и некодируемые, записываемые обычным способом на свободном поле перфокарты; 3) расположение всех кодируемых признаков в определенном порядке (системе), например по их рубрикам, классам, группам и т. п.

При разработке кодов для перфокартных систем возможно: а) использование отдельных уже существующих классификаций с некоторыми изменениями, диктуемыми назначением картотеки; б) составление условных классификаций и рабочих списков объектов. Необходимо, чтобы эти классификации позволяли разбивать совокупность дескрипторов на крупные классы или группы, которые были бы в значительной степени независимы друг от друга. Кроме того, важно выяснить соотношение признаков внутри групп. При этом признаки могут быть несовместными и совместными (параллельными).

В первом случае для кодирования удобно использовать комбинационные (цифровые и координатные) ключи, так как при простоте пользования они позволяют обходиться наименьшим количеством перфораций.

Во втором случае в зависимости от назначения картотеки и наличия на ней запаса свободных полей можно закодировать группу в ее первоначальном виде при помощи прямого кода или попытаться привести ее к виду, описанному в первом случае. Этого можно достигнуть несколькими способами: 1) упростить группу по составу; 2) дополнительно разбить ее на более мелкие самостоятельные единицы (подгруппы); 3) составить перебор возможных сочетаний совместных признаков-дескрипторов внутри группы.

Для использования перфокарт для целей инженерно-геологической съемки следует учитывать, что основные задачи картотеки состоят в:

сборе и хранении на перфокартах информации, получаемой в процессе съемки методом ключевых участков; переносе на перфокарты использованных в процессе съемки опубликованных и фондовых материалов; направленном отборе полученной информации с целью выявления корреляционных зависимостей как между внешними и внутренними компонентами природных комплексов, так и между элементами внутри каждого комплекса.

Для работы рекомендуется использовать карточки стандартного размера К-5 (207×147 мм) с двухрядной краевой перфорацией. Для картотек подобного назначения перфокарты такого размера являются оптимальными.

При разработке перфокартной системы следует учесть, что: 1) картотека должна быть прямой. Каждая перфокарта привязывается к отдельной точке (скважине, шурфу, обнажению и т. п.), по всем прочим факторам она характеризует участок, однородный в морфологическом и генетическом отношении в пределах одного стратиграфо-генетического комплекса; 2) на перфокарты переносятся в основном лишь опорные описания, отличающиеся максимальной полнотой данных; 3) предполагаемый предельный объем картотеки не более 10 000—20 000 карт, поскольку такой массив еще допускает ручную сортировку; 4) перфокарты рассматриваются в качестве форм первичной полевой и лабораторной документации. Поэтому на их внутреннее поле заносится весь фактический материал (как кодируемый, так и некодируемый). Это обстоятельство делает материал на перфокартах легкообозримым и избавляет от необходимости производить механическую сортировку небольших массивов карт, которые можно легко отсортировать вручную.

Во ВСЕГИНГЕО разработан макет такой перфокартотеки. Она состоит из двух массивов перфокарт: а) инженерно-геологические условия участка; б) инженерно-геологические свойства горных пород.

Оба массива объединены общими группами дескрипторов

Код перфокартотеки инженерно-геологические условия участка (код 1) составлен для равнинных районов области многолетнемерзлых пород (рис. 42). При использовании кода в других геолого-географических условиях списки дескрипторов-показателей многолетнемерзлых пород и температуры могут быть заменены другими списками.

Код «Инженерно-геологические свойства горных пород» (код 2) является универсальным (рис. 43) *.

Вся регистрируемая в обоих кодах информация разделена на несколько классов.

А. Служебно-справочная информация (общая для обоих кодов).

Б. Характеристика стратиграфо-генетического комплекса (часть ее является общей для обоих кодов) (группы VII—IX).

В код 1, кроме того, входят следующие классы:

В. Рельеф.

Г. Растительность.

В код 2 входят также следующие классы:

В. Глубина отбора пробы и номер выработки.

Г. Водно-физические свойства грунта.

Д. Механические свойства грунта.

Оба кода приведены в книге (Унификация ..., 1967). Примеры заполнения перфокарт кода 1 и 2 приведены на рис. 44.

В заключение остановимся на преимуществах перфокарточного сбора материалов для обработки полученной информации.

Влияние перфокартного метода сбора на качество получаемой информации состоит в том, что получаемый исследователем с его помощью материал становится статистически более «представительным», полным и надежным. Это достигается благодаря стандартной форме сбора материалов. Немаловажно в дан-

---

* На оборотной стороне перфокарты кода 2 можно помещать данные о физико-химических свойствах пород, минеральном и химическом составе, данные петрографических исследований с описаниями и фотографиями шлифов и т. п.

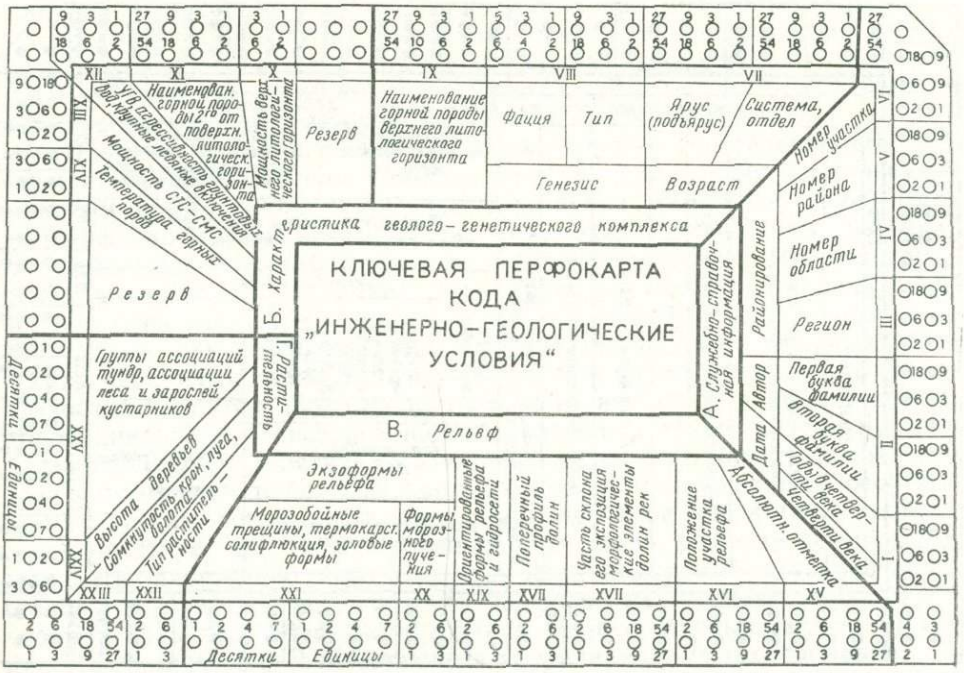


Рис. 42. Макет ключевой перфокарты кода 1 «Инженерно-геологические условия равнин области многолетнемерзлых пород»

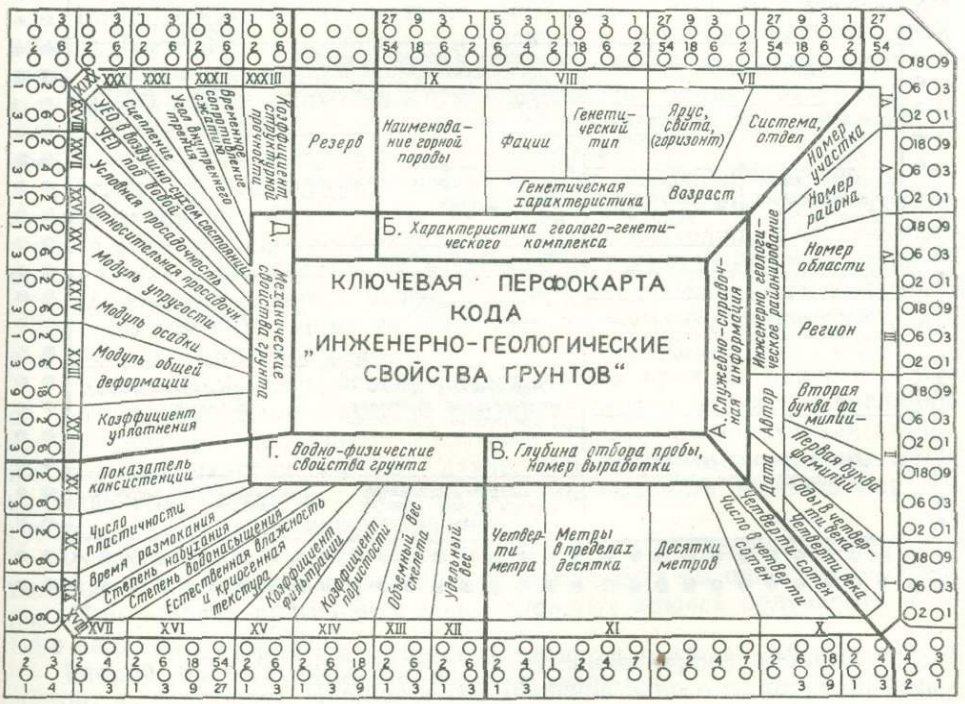
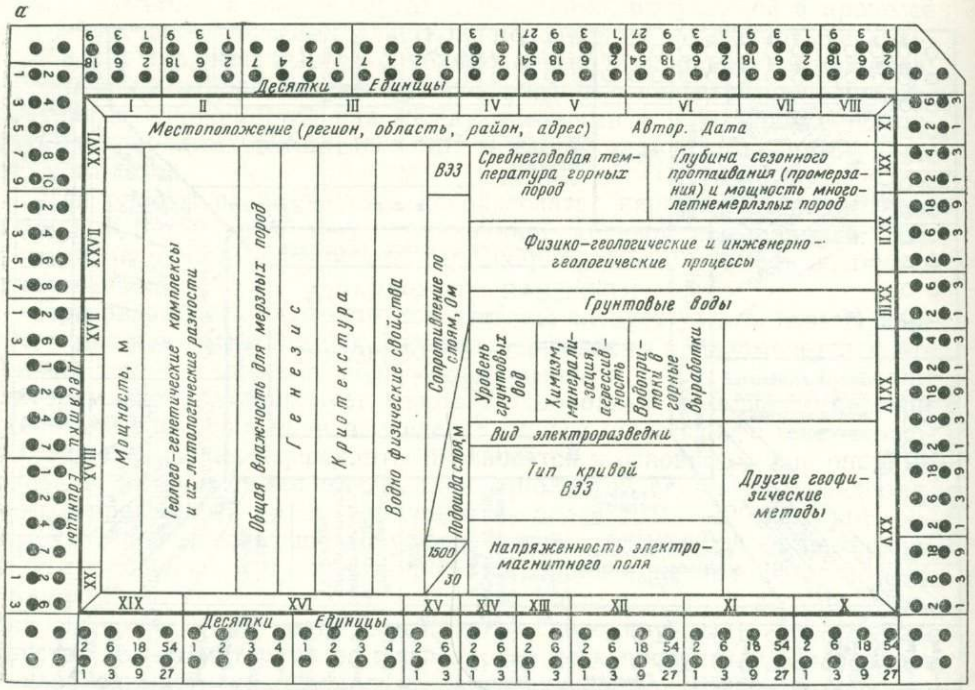


Рис. 43. Макет ключевой перфокарты кода 2 «Инженерно-геологические свойства горных пород»



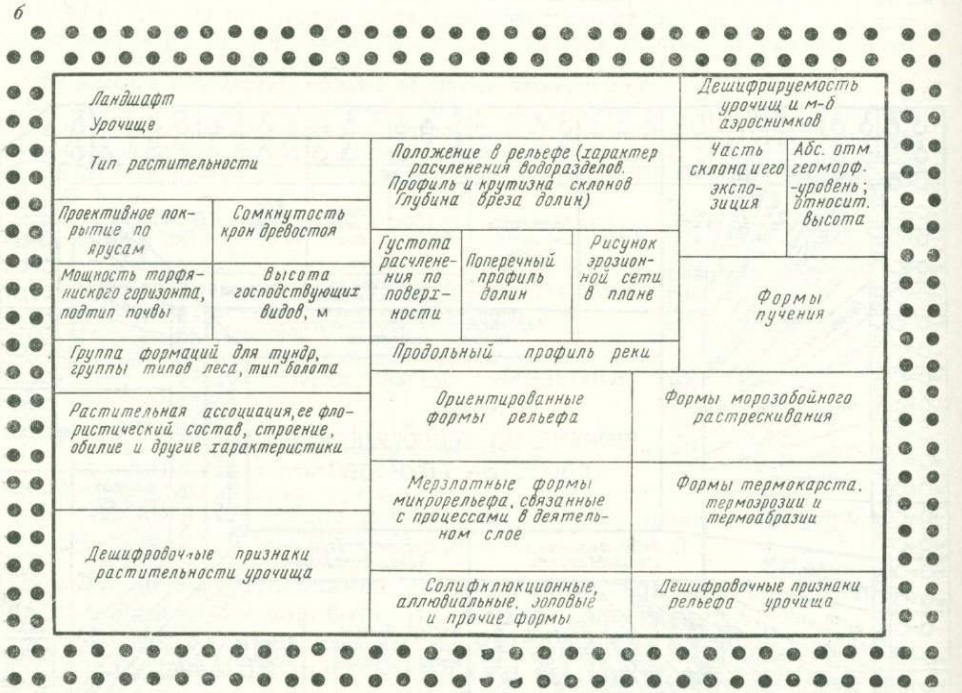


Рис. 44. Форма разграфки внутреннего поля перфокарты:
а — лицевая сторона; *б* — оборотная

ном случае и то, что сбор материала происходит не вслепую, а с позиции общих исходных концепций, принятых при разработке кодов.

Влияние перфокартного метода сбора на качество последующей обработки полученной информации и вытекает из главного преимущества этого метода — возможности многоаспектного, многостороннего анализа материала.

Простота и сравнительно большая скорость составления выборки по любому признаку или комбинации признаков делает легкоосуществимым всесторонний статистический анализ материала, занесенного на перфокарты. Это преимущество перфокарт становится особенно ощутимым при большом количестве исследуемых данных (больших массивах документов). Напомним, что скорость ручной сортировки с помощью спиц по одному признаку составляет 20 000 карт в час, а по нескольким 7000—8000 карточек в час. Известно, что в геологии связи между явлениями носят по преимуществу не функциональный, а стохастический характер. Поэтому выявление их возможно лишь с помощью корреляционного и дисперсионного анализов, а также других методов математической статистики. Применение перфокарт может значительно уменьшить объем работ при корреляционных исследованиях, особенно в тех случаях, когда число изучаемых элементов информации велико.

Существует два типа корреляционных задач, решение которых может быть значительно облегчено, если обрабатываемый материал представлен на перфокартах с краевой перфорацией. К таким задачам относятся: 1) качественное исследование корреляционных связей; 2) количественные и полуколичественные корреляционные исследования.

Первая задача является простейшим видом корреляционных исследований. При небольшом числе данных анализ легко провести, нанося полученные данные на график, осями которого служат коррелируемые признаки. Особенности взаимного расположения точек могут дать качественную оценку корреляции этих признаков.

Предположим, что приходится иметь дело с большим количеством данных (например, с несколькими тысячами образцов глинистых грунтов). Причем для каждого образца на отдельной перфокарте закодированы его общая влажность и сопротивление одноосному сжатию. Значения общей влажности вырезаны на одном краю перфокарты, а сопротивление одноосному сжатию — на другом.

Путем простой сортировки весь массив перфокарт можно расположить в порядке возрастания значения общей влажности. В соответствии с этим на краю перфокарты образуется восходящая ступень прорезей. После этого достаточно взглянуть на расположение прорезей на другом краю перфокарты, чтобы сделать вывод о характере изменения сопротивления одноосному сжатию (регулярное возрастание, убывание или случайный разброс значений).

Таким же образом, используя два других края перфокарты, можно при помощи соответствующей сортировки устанавливать корреляцию любых двух или нескольких признаков. Такой метод изучения корреляции оправдывает себя в том случае, если необходимо получить лишь качественные результаты или необходимо выяснить наличие или отсутствие тесной связи между признаками.

Следует отметить, что такой метод оценки корреляции удобно использовать при прямой системе кодирования хотя бы одного из признаков. При условии применения более сложных ключей получаемая картина не будет наглядной.

Второй, более точный способ определения корреляционных связей состоит в следующем. Наблюдаемые значения одного из коррелируемых признаков разбивают между собой на ряд одинаковых интервалов, например на 50. Обычной сортировкой массив перфокарт легко разделяется на 50 отдельных пачек карт, в которых значение этого признака

находится в заданном интервале. Затем внутри каждой пачки карт подсчитываются средние значения другого интересующего признака. Очевидно, что таких значений будет также 50. Таким образом, вместо сотен или тысяч исходных данных сравнительно быстро получается несколько десятков осредненных значений, для которых нетрудно оценить или подсчитать точную величину коэффициента корреляции.

С применением перфокарт описанный выше способ может быть еще более упрощен, особенно при обработке больших групп исходных данных. В таких случаях ради простоты расчета статистических показателей связи (коэффициентов корреляции, корреляционных отношений, полихорических показателей связи и др.) используется построение корреляционной решетки, во внутренние клетки которой заносится частота соответствующих пар значений коррелируемых признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 15

1. *Инструкция* по производству комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштабов 1 : 200 000 и 1 : 500 000. Изд-во МГУ, 1969. 123 с.

2. *Комаров И. С.* Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. М., «Недра», 1972. 295 с.

3. *Методическое* руководство по геологической съемке и поискам. Под ред. С. А. Музылева. М.—Л., Госгеолтехиздат, 1954. 508 с.

4. *Методическое* руководство по гидрогеологической съемке масштабов 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. Под ред. А. А. Маккавеева и А. С. Рябченкова. М., Госгеолтехиздат, 1961. 319 с.

5. *Олейников А. Н., Михайлова Ю. И.* Применение перфокарт в геологии. Л., «Недра», 1968. 166 с.

6. *Организация* и производство гидрогеологической съемки масштабов 1 : 200 000—1 : 100 000. М., Госгеолтехиздат, 1957. 120 с.

7. *Организация* и производство гидрогеологической съемки масштаба 1 : 500 000. Сост. К. И. Антоненко, Н. А. Титов, Е. Г. Чаповский, М. В. Чуринов. М., Госгеолтехиздат, 1957. 112 с.

8. *Организация* и производство работ по геологической съемке четвертичных отложений в масштабах 1 : 200 000—1 : 100 000. М., «Недра», 1971. 94 с.

9. *Перфорированные* карты и их применение в науке и технике. Под ред. Р. С. Кейси и др. М., Машгиз, 1963. 676 с.

10. *Унификация* инженерно-геологической документации при помощи перфокарт с двухрядной краевой перфорацией. Под ред. Е. С. Мельникова. М., 1967. 99 с. (ВСЕГИНГЕО).

Глава 16

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Математические методы, в частности методы теории вероятностей и математической статистики, являются одним из способов обработки инженерно-геологической информации при геологической съемке. Преимущества этих методов, дополняющих качественный анализ данных, заключаются в возможности получения по целому ряду вопросов объективных суждений. Однако применение их ограничено областью количественной инженерно-геологической информации и той частью качественной и полуколичественной информации, которая может быть преобразована в количественную путем ранжирования или применения шкалы балльности.

По этой причине в данном разделе рассмотрены математические методы обработки применительно только к количественной инженерно-геологической информации, т. е. к численным показателям компонен-

тов инженерно-геологических условий — показателям мощности, состава, состояния и свойств горных пород, УГВ, значений показателя пенетрации, кажущегося электрического сопротивления и т. д.

Цели количественного анализа инженерно-геологических данных при съемке заключаются в уточнении и подтверждении предварительного выделения геологических тел — стратиграфо-генетических комплексов, литологических типов пород, для которых могут быть установлены режимы пространственной изменчивости, получена их количественная оценка и вычислены обобщенные значения классификационных показателей свойств.

Достижение этих целей обеспечивается последовательным решением следующих задач: 1) проверкой правильности выделения геологических тел по отдельным опорным скважинам, разведочным профилям или ключевым участкам путем оценки статистической однородности их параметров; 2) подтверждением тождества (по исследуемому показателю) литологических типов пород, выделенных на разных ключевых участках, профилях, в скважинах путем установления несущественности различия между статистическими характеристиками; 3) определением режимов пространственной изменчивости геологических параметров и количественной характеристики изменчивости в пределах выделенных литологических типов пород; 4) вычислением обобщенных значений классификационных показателей состава, состояния и свойств пород.

Вся инженерно-геологическая информация, используемая при этом, разделяется на априорную, собранную в предполевой период по фондовым материалам, и оперативную, получаемую в процессе геолого-съемочных работ.

Последовательность поставленных задач и стадийность поступления информации определяют и последовательность проведения операций по ее обработке. Основными источниками априорной информации об инженерно-геологических свойствах пород при съемках являются, как правило, тематические и изыскательские работы, проведенные в пределах картируемой территории проектными организациями и ведомствами на строительных объектах. Объем такого рода априорной информации в разных районах различен, а иногда она вообще отсутствует. Поэтому, как правило, ни одна из поставленных задач не может быть решена на основании изучения только архивных материалов. Использование априорной информации о свойствах пород требует учета точности их определения.

Приближенные значения показателей свойств с невысокой точностью определения при вычислении обобщенных показателей необходимо брать с меньшим весом долей участия, обратно пропорциональным их дисперсиям — σ^2 или точности — Δx:

$$g_1 : g_2 : \ldots g_n = \frac{1}{\sigma_1^2} : \frac{1}{\sigma_2^2} : \ldots : \frac{1}{\sigma_n^2} = \frac{1}{(\Delta x_1)^2} : \frac{1}{(\Delta x_2)^2} : \ldots : \frac{1}{(\Delta x_n)^2},$$

где Δx — удвоенная абсолютная ошибка определения, т. е. точность.

Если сведения о методике определения показателя свойств отсутствуют, а сами данные вызывают сомнение (очень давние или получены организациями негеологического профиля), то при строгом математическом анализе следует воздержаться от их использования.

Применение статистических методов обработки информации правомерно лишь в том случае, если исходные данные относятся к однородному по принятым критериям геологическому телу и отвечают требованиям случайности и независимости от координат пространства.

Таким образом, решение первой задачи (проверка статистической однородности выделенных геологических тел) является необходимым условием проведения количественного анализа. Учитывая, что априорной информации в общем случае для этого недостаточно, на первом

этапе работ используют результаты скоростных испытаний свойств пород, таких, как зондирование, пенетрационно-каротажные, а также геофизические методы исследований (ВЭЗ и др.), проведенные в пределах выделенных геологических тел по разведочным створам.

Проверяют однородность как осредненных по мощности значений показателя состава, состояния или свойств породы, определенных в отдельных точках исследуемого геологического тела (на профилях и ключевых участках), так и серии результатов испытаний какого-либо показателя по опорной скважине в пределах одного геологического тела (слоя).

ПРОВЕРКА ОДНОРОДНОСТИ ВЫДЕЛЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ

Об однородности единичных значений, характеризующих выделенный в процессе съемки литологический тип пород, можно судить в первом приближении по графику рассеяния, имеющему одну вертикальную ось, по которой в выбранном масштабе точками отмечают значения показателя. В горизонтальном направлении точки размещаются произвольно. При этом получают наглядное представление о диапазоне колебаний, характере распределения, а также выявляют сомнительные значения, принадлежность которых к данному геологическому телу проверяют с помощью математических критериев, рассмотренных ниже.

При достаточно большом числе точек поле рассеяния, имеющее линзовидную форму, характерно для нормального закона распределения; каплеобразная форма свидетельствует об асимметрии, а четкообразная указывает на объединение двух и более разнородных тел, которые при дальнейшей обработке необходимо обособить. Равномерное расположение точек, характеризующих показатель какого-либо свойства по створу, свидетельствует о возможности закономерного изменения этого показателя в исследуемом направлении. Отдельные точки, выпадающие из общего поля, могут явиться следствием грубых ошибок и поэтому должны быть проверены на принадлежность к данному геологическому телу.

Наглядность этого способа резко снижается с уменьшением количества данных, а на практике довольно часто приходится иметь дело с малым (<30) числом испытаний. Использование небольшого числа данных, с одной стороны, уменьшает надежность полученных выводов, а с другой — позволяет применять более простые, хотя и менее точные, способы обработки.

Для проверки принадлежности краевых, сильно отличающихся от среднего, значений показателя к выделенному слою все полученные значения располагают в виде упорядоченного ряда — от минимального ($x_{\min}$ или x_1) до максимального ($x_{\max}$ или x_n) значений: x_1; x_2; ...; x_i; ...; x_{n-1}; x_n.

Для проверки принадлежности сомнительных, слишком малых $x_1 (x_{\min})$ или слишком больших $x_n (x_{\max})$ — значений показателя к выделенному слою вычисляют величины τ' или τ'', соответственно равные:

$$\tau' = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-1} - x_1} \quad \text{и} \quad \tau'' = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_2}.$$

Например, для упорядоченного ряда из 11 значений объемной массы скелета покровных суглинков — 1,59; 1,63; 1,64; 1,64; 1,65; 1,65; 1,65; 1,66; 1,66; 1,67; 1,68 г/см³ — вызывает сомнение относительно малая величина $x_1 = 1{,}59$ г/см³. Вычисленное для проверки принадлежности этого определения к изучаемому слою τ' равно:

$$\tau' = \frac{1{,}63 - 1{,}59}{1{,}67 - 1{,}59} = \frac{0{,}04}{0{,}08} = 0{,}5.$$

По таблице критических значений τ, составленной для надежности 0,95 (см. табл. 1, прилож. V), находят $\tau_{табл}$ для числа определений $n=11$. Если τ вычисленное превышает $\tau_{табл}$ (0,450) для принятого уровня значимости, то гипотеза однородности значений показателя не подтверждается, и проверяемое крайнее значение (x_{min} или x_{max}) следует отбросить, как и оказалось в приведенном примере ($\tau'=0{,}5>\tau_{табл\ 0{,}05}=0{,}450$).

Если последовательно отделился ряд частных значений показателя, характеризующих точки, расположенные поблизости друг от друга, то это указывает на возможное наличие на этом участке другого геологического тела, не выявленного при съемке. Для подтверждения этого предположения отделившийся ряд значений рассматривают как самостоятельную совокупность и оценивают ее однородность.

Предполагаемое по анализу графика рассеяния закономерное изменение показателя в пределах выделенного предварительно геологического тела в простейшем случае проверяют построением графика изменения значений показателя вдоль исследуемого створа. Если он на фоне случайных колебаний обнаруживает тенденцию к убыванию или возрастанию (тренд), то проверку усиливают математическим анализом. В основу проверки положена оценка дисперсии по величине последовательных разностей:

$$g^2 = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} d_i^2,$$

где g^2 — оценка дисперсии; n — число определений; $d_i=x_2-x_1$; $x_3-x_2; \ldots x_{i+1}-x_i; \ldots x_n-x_{n-1}$ — последовательные разности значений показателя, взятых вдоль профиля.

Эта оценка практически не зависит от изменения среднего значения показателя, тогда как обычная оценка дисперсии $s^2=\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2$ — очень к нему чувствительна.

При отсутствии тренда оценки дисперсий, полученные этими способами, должны быть примерно одинаковыми, а их отношение $\tau=\frac{g^2}{s^2}$ близко к 1. Если величина τ меньше или равна табличному значению τq для данного «n» и принятого уровня значимости (см. табл. 2, прилож. V), то исследуемый показатель обнаруживает зависимость от координат пространства.

Например, изменение показателя динамической пенетрации (N уд/дм) вдоль профиля имеет слабо выраженную тенденцию к увеличению: 2,3; 4,1; 3,7; 2,0; 2,4; 3,2; 3,8; 3,1; 4,0; 4,6; 4,2; 3,8; 3,4 уд/дм. Но поскольку вычисленное значение

$$\tau = \frac{(n-1)\sum_{i=1}^{n-1} d_i^2}{2(n-1)\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} = \sum_{i=1}^{n-1} d_i^2 \Big/ 2\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 = \frac{9{,}59}{2\cdot 7{,}64} = 0{,}63;$$

больше табличного ($\tau_{0{,}05,\ n=13}=0{,}58$), то это изменение можно считать несущественным и при последующих расчетах обобщенного показателя во внимание не принимать.

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

На следующем этапе обработки стоит задача проверки гипотезы о подчинении совокупности значений показателя свойств закону нормального распределения.

Проверка этой гипотезы требует некоторых предварительных упрощенных расчетов — вычисления накопленных частостей или простейших статистических характеристик исследуемой совокупности, таких,

как среднее значение показателя $\bar{x}$, среднее абсолютное Θ и среднее квадратическое σ отклонения.

Среднее значение показателя получают по формуле

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n},$$

где Σx_i — сумма частных значений показателя;

n — число определений.

Среднее абсолютное отклонение Θ представляет собой сумму абсолютных отклонений частных (единичных) значений показателя x_i от среднего $\bar{x}$, деленную на число значений n:

$$\Theta = \frac{\Sigma |x_i - \bar{x}|}{n},$$

а оценку среднего квадратического отклонения S*, называемого также стандартом, вычисляют по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Для совокупности значений объемной массы скелета покровных суглинков, проверенной ранее на однородность, оценки статистических характеристик, вычисленные по этим формулам, соответственно равны:

среднее значение $\bar{X} = 1{,}65$ г/см^3;

среднее абсолютное отклонение $\Theta = 0{,}011$;

среднее квадратическое отклонение $S = 0{,}015$.

Оценку среднего квадратического отклонения S можно получить также по размаху частных значений показателя: $S = \frac{R}{\alpha_n}$, где $R = x_{max} - x_{min}$ — размах значения показателя в совокупности, α_n — табличная величина, зависящая от n — числа определений

Для рассмотренного примера размах значений объемной массы скелета грунта $R = 1{,}68 - 1{,}63 = 0{,}05$ г/см^3; $\alpha_n = 3{,}08$ (табл. 3, прилож. к гл. 16, для $n = 10$) и $S = \frac{0{,}05}{3{,}08} = 0{,}016$.

Полученная оценка стандарта $S = 0{,}016$ близка к его оценке, вычисленной по приведенной выше формуле ($S = 0{,}015$).

Если объем совокупности больше 15—20 значений, ее делят на меньшие, одинаковые по числу определений группы, но так, чтобы в каждой из них было не меньше 7—8 значений. В каждой группе находят размах $\bar{R}_i = x_{max,\,i} - x_{min,\,i}$, а оценку стандарта S вычисляют по формуле

$S = \frac{\bar{R}}{\alpha_n} = \frac{\frac{\Sigma R_i}{1}}{m\alpha_n}$, где m число групп.

Проверка подчинения полученных данных закону нормального распределения имеет особенно большое значение, так как рассматриваемые далее статистические критерии сравнения и оценки статистических характеристик справедливы только при нормальном распределении, а в противном случае осуществляются лишь с той или иной степенью приближения.

Для приближенной оценки степени близости распределения значений показателя свойств к нормальному используют критерий Джири, основанный на вычислении отношения среднего абсолютного отклонения Θ к среднему квадратическому отклонению σ. Для нормального распределения отношение $W_n = \frac{\Theta}{\sigma}$ приближенно равно 0,8. Значения

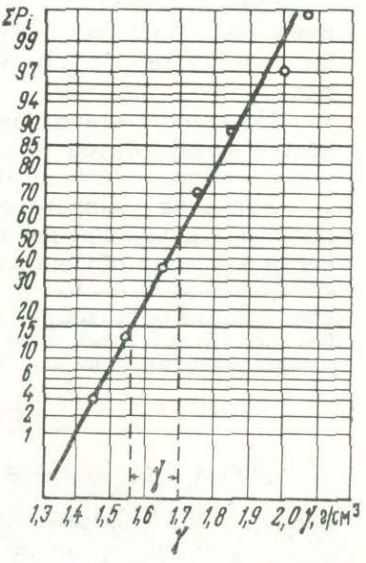
* Среднее квадратическое отклонение, вычисленное по ограниченному количеству данных, является лишь приближенной оценкой истинного значения σ и в отличие от последнего обозначается через S.

W_n в зависимости от числа испытаний и допустимые пределы его изменения $W_{n,\max}$ и $W_{n,\min}$ для 5%-ного уровня значимости приведены в табл. 4, прилож. V. В случае, если предварительным анализом доказано подчинение исходных данных закону нормального распределения, это соотношение можно использовать для приближенного вычисления оценки стандарта S через более просто определяемое $\Theta: S=\frac{\Theta}{W_n}$. С учетом вероятностной ошибки W_n для уровня значимости оценка стандарта будет заключена в пределах:

$$\frac{\Theta}{W_{n,\max}} < S < \frac{\Theta}{W_{n,\min}}.$$

Применив этот метод расчета стандарта S к значениям объемной массы скелета грунта из предыдущего примера, получим:
$S \cong \frac{\Theta}{W_n} = \frac{0{,}011}{0{,}818} \simeq 0{,}013$ при доверительных границах $\frac{0{,}011}{0{,}911} < S < \frac{0{,}011}{0{,}710}$ или $0{,}012 < S < 0{,}0155$.

Рис. 45. Накопленные частоты значений объемной массы на нормальной вероятностной бумаге



Однако наиболее удобна для практического использования так называемая вероятностная бумага, которая имеет по оси ординат специальную разграфку — преобразованную шкалу накопленной частости для нормального распределения, а по оси абсцисс — обычную шкалу значений показателя в выбранном масштабе.

Накопленные частости ΣP_i получают путем последовательного (по возрастанию значений показателя) суммирования частостей P_i — частоты n_i повторения каждого значения в процентах или долях единицы от общего числа испытаний:

$$P_i = \frac{n_i}{N}(\%).$$

Вычисленные значения накопленных частостей откладывают в соответствии с масштабом на вероятностной бумаге. Если точки располагаются на прямой линии, то это свидетельствует о соответствии закону нормального распределения. Возможные отклонения от прямой на краях графика (для $\Sigma p_i < 0{,}05$ и $\Sigma p_i > 0{,}95$) не следует принимать во внимание.

Преимущество этого способа заключается еще и в том, что график накопленных частостей, построенный на вероятностной бумаге, позволяет графически, без всяких вычислений определять среднее значение показателя и среднее квадратическое отклонение. Среднее значение показателя в этом случае равно абсциссе точки с ординатой 0,5, а стандарт определяется как разность значений абсцисс точек с ординатами — накопленными частостями (0,5 и 0,85 или 0,5 и 0,15) (рис. 45).

Нередко приходится наблюдать точки, которые на графике ложатся не на прямую, а на кривую параболического типа. Это указывает на асимметрию распределения, которая обычно связана с логарифмически нормальным распределением. В практике геологосъемочных работ мелких масштабов асимметричное распределение можно считать близким к нормальному, если точки накопленных частостей в интервале ординат (0,15—0,85) лежат примерно на прямой.

Проверка закона распределения показателей по отдельным опорным скважинам, разведочным профилям или ключевым участкам, расположенным в пределах однородного геологического тела, завершает второй этап обработки количественной инженерно-геологической информации.

Подобный анализ однородности, проведенный по результатам профильных скоростных испытаний каких-либо комплексных показателей свойств пород, позволяет не только уточнить первоначальный геологический разрез с позиций инженерной геологии (выделение геологических тел), но и дает возможность более обоснованно подойти к выбору типичных (ключевых) участков для проведения более детальных работ.

ОЦЕНКА ТОЖДЕСТВА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ

Статистическим сопоставлением, т. е. оценкой различия совокупностей значений какого-либо показателя свойств, характеризующих выделенные геологические тела по отдельным скважинам, профилям или ключевым участкам, разбросанным на картируемой площади, проверяют предполагаемое тождество геологических тел, выделенных в разных местах территории, уточняя таким образом положение границ этих тел.

На первых этапах работ очень удобен для сравнения двух совокупностей (результатов опробования двух скважин, ключевых участков и т. д.) метод, основанный на определении числа инверсий.

Значения показателей по каждому из двух геологических тел располагают в упорядоченный по возрастанию ряд, а затем обе совокупности значений объединяют в общий упорядоченный ряд.

Например, временное сопротивление сжатию для покровных суглинков на участке I оказалось равным 7,4; 7,5; 7,8; 7,2; 6,8; 7,0 Н/см², а на участке II — 7,6; 6,2; 6,6; 7,7; 8,5; 8,6 Н/см². Располагают эти значения в виде упорядоченных по возрастанию рядов, отдельно для каждого участка:

$$\text{участок I } x \left| \frac{x_1 \; x_2 \; x_3 \; x_4 \; x_5 \; x_6}{6{,}8;\; 7{,}0;\; 7{,}2;\; 7{,}4;\; 7{,}5;\; 7{,}8} \; \text{Н} \right| \text{см}^2,$$

$$\text{участок II } y \left| \frac{y_1 \; y_2 \; y_3 \; y_4 \; y_5 \; y_6}{6{,}2;\; 6{,}6;\; 7{,}6;\; 7{,}7;\; 8{,}5;\; 8{,}6} \; \text{Н} \right| \text{см}^2$$

и строят общий упорядоченный по возрастанию ряд.

$$\text{Участки I—II } \frac{y_1 \; y_2 \; x_1 \; x_2 \; x_3 \; x_4 \; x_5 \; y_3 \; y_4 \; x_6 \; y_5 \; y_6}{6{,}2;\; 6{,}6;\; 6{,}8;\; 7{,}0;\; 7{,}2;\; 7{,}4;\; 7{,}5;\; 7{,}6;\; 7{,}7;\; 7{,}8;\; 8{,}5;\; 8{,}6}.$$

По этому ряду подсчитывают число инверсий (u).

Считают, что инверсия существует в том случае, если какому-либо значению x предшествует некоторый y, т. е. каждое значение x образует столько инверсий, сколько значений y расположено раньше него в упорядоченном ряду.

В приведенном примере значения x образуют следующее число инверсий:

$x_1 - 2$
$x_2 - 2$
$x_3 - 2$
$x_4 - 2$ *Всего 14 инверсий, т. е.* $u=14$.
$x_5 - 2$
$x_6 - 4$

Предположение о принадлежности совокупностей к одному геологическому телу следует отвергнуть, если u — число инверсий выходит за допустимые границы, которые определяют, находя значения

$$M(u) = \frac{mn}{2}; \; D(u) = \frac{mn}{12}(m+n+1); \; \sigma_u = \sqrt{D(u)};$$

где $M(u)$ — математическое ожидание числа инверсий; $D(u)$ — дисперсия числа инверсий; σ_u — среднее квадратическое отклонение числа ин-

версий; m, n — число определений по каждому участку. Доверительные границы для числа инверсий с вероятностью 0,95 будут равны $M(u) \pm 2\sigma_u$.

В рассмотренном примере:

$$M(u) = \frac{6 \cdot 6}{2} = 18;$$

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{6 \cdot 6}{12}(6 + 6 + 1)} \simeq 6{,}3$$

и критическая область для «u» — $M(u) - 2\sigma_u > u > M(u) + 2\sigma_u$ равна $u < 18 - 2{,}00 \cdot 6{,}3$ или $u < 18 - 12{,}6$, $u > 18 + 2{,}00 \cdot 6{,}3$ или $u > 18 + 12{,}6$.

Вычисленное число инверсий 14 лежит внутри доверительного интервала ($18 - 12{,}6 < 14 < 18 + 12{,}6$), следовательно, обе совокупности относятся к одному литологическому типу пород и тождество покровных отложений I и II участков по временному сопротивлению сжатию можно считать доказанным. Надежность этого метода зависит от числа испытаний, поэтому его рекомендуют применять для n и m более 10.

Если для каждого участка (профиля, скважины) предварительно рассчитаны оценки средних значений показателя и средних квадратических отклонений S или дисперсий S^2, то сравнение двух совокупностей начинают с анализа существенности различия дисперсий.

Вычисляют дисперсионное отношение

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2},$$

а также величины

$$\theta = \frac{\nu_2 - 2}{\nu_2} F \quad \text{и} \quad \sigma_\theta = \sqrt{\frac{2(\nu_1 + \nu_2 - 2)}{\nu_1 (\nu_2 - 4)}},$$

где ν_1 и ν_2 — соответственно число испытаний в каждой совокупности — минус единица, т. е. $\nu_1 = (n-1)$ и $\nu_2 = (m-1)$, причем ν_2 должно быть больше 4, а S_1^2 — наибольшая из дисперсий.

Для некоторой величины

$$R = \frac{|\theta - 1|}{\sigma_\theta}$$

существует следующая закономерность: при $R \leqslant 3$ расхождение между дисперсиями совокупностей случайно, при $R > 3$ — существенно.

При наличии специальных таблиц (см. табл. 5 прилож. V) величину F сравнивают с табличным значением F_q (критерий Фишера) для заданного уровня значимости и степеней свободы ν_1 и ν_2. Различие дисперсий случайно, если $F_{\text{экс}} < F_q$.

Анализ существенности расхождения средних для совокупностей (участков, скважин, профилей) значений показателя при условии незначимого различия их дисперсий осуществляют проверкой неравенства

$$|\bar{x} - \bar{y}| > t_\alpha \sigma_{\bar{x} - \bar{y}},$$

где $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — сравниваемые средние значения; $\sigma_{\bar{x}-\bar{y}}$ — среднее квадратическое отклонение разности средних, вычисляемое по формуле

$$\sigma_{\bar{x} - \bar{y}} = \sqrt{\frac{S_1^2 (n-1) + S_2^2 (m-1)}{n + m - 2} \cdot \frac{n + m}{n m}},$$

где n и m — соответственно число определений показателя на сравниваемых участках (профилях, скважинах), а t_α — вероятностная характеристика, имеющая распределение Стьюдента (см. табл. 6, прилож. V) с $f = n + m - 2$ степенями свободы. Если неравенство выполняется, то различие средних значений существенно, и выделенные геологические тела не могут быть объединены в одно. При $|\bar{x} - \bar{y}| < t_\alpha \sigma_{\bar{x}-\bar{y}}$ — различие

случайно и, следовательно, предполагаемое тождество геологических тел доказано.

Например, оценки дисперсий и средних значений временного сопротивления сжатию покровных суглинков двух участков, сопоставленных в предыдущем разделе по методу инверсий, соответственно равны:

I участок $\overline{R_1}=7{,}3$ Н/см²; $S_1^2=0{,}12$; $n=6$;

II участок $\overline{R_2}=7{,}5$ Н/см²; $S_2^2=0{,}95$; $m=6$.

Для них:

$$F=\frac{0{,}95}{0{,}12}=8{,}0;\quad \vartheta=\frac{(n-1)-2}{(m-1)}\cdot F=$$

$$=\frac{5-2}{5}\cdot 8{,}0=4{,}8;\quad \sigma_\vartheta=\sqrt{\frac{2(5+5-2)}{5(5-4)}}=\sqrt{\frac{2\cdot 8}{5}}\simeq 1{,}79;$$

$$R=\frac{|4{,}8-1|}{1{,}79}=\frac{3{,}8}{1{,}79}=2{,}12<3;$$

и, следовательно, различие дисперсий незначимо.

Поскольку разность средних значений равна $|7{,}3—7{,}5|=0{,}2$, а ее среднее квадратическое отклонение составляет

$$\sigma_{\bar{x}-\bar{y}}=\sqrt{\frac{0{,}12\cdot 5+0{,}95\cdot 5}{6+6-2}\cdot\frac{6+6}{6\cdot 6}}=\sqrt{0{,}18}\simeq 0{,}42,$$

то в соответствии с установленным критерием можно считать это расхождение случайным при 5 и 10%-ном уровнях значимости (табл. 6, прилож. V):

$$0{,}2<0{,}42\times 2{,}23\quad (g=5\%),$$
$$0{,}2<0{,}42\times 1{,}81\quad (g=10\%).$$

При сравнении небольших совокупностей значений показателя равного объема (обычно при сопоставлении слоев, выделенных по отдельным скважинам) применяют упрощенную оценку расхождения средних значений по размаху R. Вычисляют значение

$$t=\frac{|\bar{x}-\bar{y}|}{R_x+R_y},$$

где $R_x=x_{max}—x_{min}$ и $R_y=y_{max}—y_{min}$ — размах единичных значений показателя в совокупностях, а $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — их средние значения.

Если $t_{экс}$ больше $t_{табл}$ для данного числа определений в каждой из совокупностей $m=n$, то расхождение средних значений существенно. Значения $t_{табл}$ приведены в табл. 7, прилож. V для 5%-ного уровня значимости.

Для рассмотренных выше значений временного сопротивления сжатию покровных суглинков

$$R_1=7{,}8-6{,}8=1{,}0,$$

и

$$R_2=6{,}8-6{,}2=2{,}4$$

$$t=\frac{(7{,}5-7{,}3)}{1{,}0+2{,}4}=\frac{0{,}2}{3{,}4}\,0{,}06,$$

где $0{,}06<t_{табл}=0{,}203$, что также подтверждает несущественность различия средних значений.

На практике нередки случаи, когда необходимо сравнивать более чем две выборки. Например, для проверки того, что скважины, пройденные на участке (профиле), вскрывают одни и те же горные породы, относящиеся к одному литологическому типу, требуется сопоставление ряда совокупностей значений показателей, определенных в отдельных скважинах. В этом случае анализ сходства начинают также со сравнения оценок дисперсий S^2 путем проверки однородности их ряда по критерию Кохрана G.

Вычисляют величину G по формуле

$$G = \frac{S^2_{\max}}{S_1^2 + S_2^2 + \ldots + S^2_m},$$

где $S^2_{\max}$ — наибольшая из дисперсий, которая может нарушить однородность ряда; в знаменателе стоит сумма всех дисперсий, включая и проверяемую $\sum_1^m S_i^2$. Вычисленное значение $G_{\text{экс}}$ сравнивают с табличными (см. табл. 8, прилож. V), величина которого зависит от числа сравниваемых совокупностей m и количества испытаний в каждой из них n.

Если $G_{\text{экс}}$ превышает табличное $G_{\text{табл}}$, то проверяемая максимальная дисперсия $S^2_{\max}$ должна быть отброшена. Оставшийся ряд дисперсий повторно проверяют на однородность. Если последовательно отделилось несколько максимальных дисперсий, то их также проверяют на однородность, так как они могут характеризовать обособленный слой (другое геологическое тело). Критерий применяется при условии равенства n_i — количества испытаний по сопоставляемым скважинам (участкам). С некоторым приближением его можно использовать и при неравных, но близких по величине n_i. За n (объем совокупности), в этом случае принимают среднее значение числа испытаний

$$\bar{n} = \frac{\sum n_i}{m},$$

где m — число сравниваемых скважин, участков и т. д.

Для проверки однородности ряда средних значений показателя при условии несущественности различия их дисперсий используют оценку дисперсионного отношения. Поскольку различие дисперсий по условию случайно, то оценкой дисперсии всей совокупности является средневзвешенная дисперсия:

$$S^2 = \frac{\sum_1^m (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^m n_i - m}.$$

С другой стороны, если средние для скважин (участков) значения показателя однородны, то все определения можно объединить в одну совокупность с общим средним значением

$$x = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \bar{x}_i}{\sum n_i}$$

и дисперсией

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m n_i (\bar{x}_i - x)^2.$$

В этих выражениях: m — число сравниваемых скважин или участков; $\bar{x}_i$ — средние значения показателя для отдельных скважин (участков); S_i^2 — оценки дисперсий по скважинам; n_i — число определений в сравниваемых скважинах.

Если гипотеза об однородности средних значений справедлива, то S^2 и $\bar{S}^2$ являются оценками одной и той же генеральной дисперсии σ^2 и, следовательно, с принятым уровнем значимости q должно выполняться неравенство

$$\frac{\bar{S}^2}{S^2} \leqslant F_q (n-1, \bar{n}_i - 1)$$

(см. табл. 5, прилож. V)

В противном случае предположение о равенстве средних значений следует отклонить и повторить проверку, исключив из анализируемого ряда наиболее отклоняющееся от $\bar{x}$ значение $\bar{x}_i$.

Для оценки литологической однородности слоя, вскрытого десятью скважинами, провели определение числа пластичности. Средние значения числа пластичности $\overline{M}_P$, оценки дисперсий S_i^2 и число определений по каждой скважине n_i приведены в табл. 48.

Таблица 48

Статистические характеристики числа пластичности

$\overline{M}_{P_i}$	S^2_i	n_i	$n_i\overline{M}_{P_i}$	$(n_i-1)S^2_i$	$\lvert\overline{M}_{P_i}-\overline{M}_P\rvert$	$n_i(\overline{M}_{P_i}-\overline{M}_P)^2$
22	16	5	110	64	2	20
25	24	8	200	168	1	8
18	10	4	72	30	6	144
20	14	6	120	70	4	96
19	12	7	133	72	5	175
28	20	6	168	100	4	96
25	17	5	125	68	1	5
31	19	7	217	114	7	343
27	13	7	189	78	3	63
24	15	5	120	60	0	—
Σ	160	60	1454	746		950

Полученный ряд дисперсий при 5%-ном уровне значимости можно считать однородным, так как $G=\frac{24}{160}=0{,}15<G_{\text{табл}}=0{,}282$ для $m=10$; $\bar{n}_i=\frac{60}{10}=6$ и $q=0{,}05$ (табл. 8, прил. V).

Однако предположение об однородности средних значений числа пластичности (литологической однородности слоя) следует отклонить, поскольку

$$\overline{M}_P=\frac{1454}{60}\cong 24;\quad S^2=\frac{746}{60-10}\simeq 15;$$

$$\overline{S}^2\simeq\frac{950}{10-1}\simeq 105 \text{ и } F=\frac{105}{15}=7>F_{g,m-1,\bar{n}_i-1}$$

для $q=0{,}05$; $m-1=9$; $\bar{n}_i-1=5$ (табл. 5, прилож. V).

Наибольшее отклонение от среднего значения имеет $M_P=31$, поэтому его следует исключить и повторить проверку однородности.

Тождество геологических тел по сравниваемому показателю можно считать доказанным только в том случае, если несущественны различия как дисперсий, так и средних значений показателя.

Значения показателей, характеризующих геологические тела, тождество которых подтвердилось математическим анализом, объединяют при дальнейшей обработке в одну выборку, что значительно увеличивает точность получаемых обобщенных показателей. При объединении совокупностей значений показателя, характеризующих одно и то же геологическое тело в различных точках (скважинах, профилях, ключевых участках), величины $\bar{x}$ и S для геологического тела в целом находят по правилу сложения:

$$\bar{x}=\frac{\sum_1^m \bar{x}_i n_i}{\Sigma n_i} \quad \text{и} \quad S=\sqrt{\overline{S}^2+\frac{\Sigma(\bar{x}_i-\bar{x})^2}{m}}$$

$$\text{или } S=\sqrt{\frac{\Sigma S^2_i(n_i-1)}{\Sigma n_i-m}+\frac{\Sigma(\bar{x}_i-\bar{x})^2}{m}},$$

где $\bar{S}^2$ — средняя взвешенная из дисперсий отдельных совокупностей, S_i^2 и $\bar{x}_i$ — средние значения показателя объединяемых совокупностей; $\bar{x}$ — общее среднее значение показателя для геологического тела; S — среднее квадратическое отклонение показателя для всего тела в целом; m — число объединяемых совокупностей; n_i — количество определений в каждой отдельной совокупности.

РЕЖИМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ И ЕГО КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА. ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ПОРОД

Существуют два основных режима пространственной изменчивости показателей свойств горных пород, определяемые по главным направлениям изменчивости — стационарный (*случайный незакономерный*) и нестационарный (*случайный закономерный*), т. е. с выраженной тенденцией к уменьшению или увеличению показателя по главному направлению.

Режим пространственной изменчивости определяет дальнейшие операции по вычислению обобщенных показателей. Простейший критерий проверки стационарности способом последовательных разностей рассмотрен ранее.

Установление нестационарного режима изменчивости какого-либо показателя в пределах выделенного однородного геологического тела, т. е. зависимость значений показателя от координат пространства, делает невозможным вычисление обобщенного показателя свойств для всего тела в целом. В этом случае, используя график изменения показателя по главному направлению изменчивости, разбивают визуально всю площадь, занимаемую геологическим телом, на ряд более коротких по протяженности участков (профилей), на которых регионально-коррелированная составляющая еще не успела проявиться в достаточной степени (маскируется случайными колебаниями показателя). Затем вычисляют значения обобщенных показателей для каждого из участков или хотя бы для одного из них, если тенденция изменения показателя имеет линейный характер. В последнем случае определяют линейную функцию зависимости показателя от условной координаты главного направления изменчивости $\bar{x}=al$:

$$a = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{l_2 - l_1},$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — средние значения показателя в точках с условными координатами l_1 и l_2.

Зная координаты участка, для которого вычислен обобщенный показатель, и функцию его изменения, можно получить значение обобщенного показателя в любой заданной точке геологического тела:

$$\bar{x} = \bar{x}_l + a\,\Delta l.$$

Обобщенное значение показателя представляет собой среднее арифметическое значение, вычисленное с учетом заданной точности и надежности по совокупности определений показателя, характеризующих однородное геологическое тело. Его оценку получают по методу доверительных пределов.

Обозначив через Δ разницу между вычисленным по совокупности значений показателя средним арифметическим $\bar{x}$ и истинным значением показателя, понимаем под ним обобщенный показатель для геологического тела. Величину ошибки $\Delta\bar{x}$, которая с вероятностью P может

иметь место при замене среднего арифметического значения обобщенным, вычисляют по формуле

$$\Delta\bar{x} = \pm \frac{t_p \sigma}{\sqrt{n-1}},$$

где n — число определений показателя; t_p — табулированная величина, зависящая от величины вероятности p, принимаемой для картировочных работ равной 0,9 (0,95), и числа испытаний n (распределение Стьюдента; см. табл. 6, прилож. V); σ — характеристика изменчивости исследуемого показателя или ее оценка S.

Поскольку величину S определяют по ограниченному количеству данных n, то к полученному значению S вносят поправку

$$S_{\text{испр}} = S + \Delta S,$$

где

$$\Delta S = \frac{t_p S}{\sqrt{2n}}.$$

Здесь величина t_p одинакова с выбранным значением t_p для расчета $\Delta\bar{x}$. Окончательное выражение для обобщенного показателя может быть записано в виде.

$$a = \bar{x} \pm t_p \cdot \frac{S_{\text{испр}}}{\sqrt{n-1}},$$

где a — обобщенный показатель.

Если для вычисления среднего значения показателя $\bar{x}$ используют частные значения показателей состава, состояния или свойств, полученные с *различной точностью*, то в формуле для расчета среднего арифметического

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i n_i}{\sum n_i},$$

значения n_i (количество определений, выполненных по одной методике) взвешивают с учетом точности их определения $n_i g_i$ и соответственно:

$$\bar{x} = \frac{\sum n_i g_i x_i}{\sum n_i g_i},$$

где

$$g_i = \frac{1}{\sigma_i^2 \sum \frac{1}{\sigma_i^2}} = \frac{1}{\Delta x_i^2 \sum \frac{1}{\Delta x_i^2}},$$

где Δx — точность методики определения показателя.

Таким образом, если в одной разведочной выработке произведено определение естественной влажности однородных покровных суглинков двумя разными методами с точностью определения 0,03 и 0,08% и при этом получены следующие результаты:

1-й метод $\overline{W}_{e,1} = 24$, $n_1 = 10$, $\Delta x_1 = 0{,}03$;

2-й метод $\overline{W}_{e,2} = 20$, $n_2 = 30$, $\Delta x_2 = 0{,}08$;

то при вычислении среднего значения необходимо брать следующие весовые коэффициенты:

$$g_1 = \frac{1}{0{,}03^2} \Big/ \left[\frac{1}{0{,}03^2} + \frac{1}{0{,}08^2}\right] = 0{,}87$$

и

$$g_2 = \frac{1}{0{,}08^2} \Big/ \left[\frac{1}{0{,}03^2} + \frac{1}{0{,}08^2}\right] = 0{,}13,$$

а среднее значение естественной влажности будет равно:

$$\overline{W}_e = \frac{n_1 g_1 x_1 + n_2 g_2 x_2}{n_1 g_1 + n_2 g_2} = \frac{10 \cdot 0{,}87 \cdot 24 + 30 \cdot 0{,}13 \cdot 20}{10 \cdot 0{,}87 + 30 \cdot 0{,}13} = 22{,}8,$$

$$\left(\text{против } \overline{W}_e = \frac{\sum n_i x_i}{\sum n_i} = \frac{10 \cdot 24 + 30 \cdot 20}{10 + 30} = 21{,}0, \text{ вычисленного без учета неравноточности}\right).$$

Наилучшей характеристикой изменчивости показателя, т. е. степени его рассеивания, является оценка среднего квадратического отклонения S, определяемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{x})^2}{n - 1}}.$$

Однако в связи с тем, что стандарт S выражается в единицах измерения показателя, он не может служить для сравнения изменчивости различных показателей свойств. В этом случае в качестве меры изменчивости выступает коэффициент изменчивости V, представляющий собой выраженное в процентах отношение среднего квадратического отклонения к среднему значению показателя:

$$V = \frac{\sigma}{\overline{x}} 100 \text{ или } V = \frac{S}{\overline{x}} 100.$$

Среднее квадратическое отклонение и коэффициент изменчивости используются для определения количества испытаний, необходимого для получения расчетных и обобщенных показателей с заданной точностью и надежностью*.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЛАНДШАФТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Особое значение приобретает использование математического анализа при ландшафтно-индикационных исследованиях, выполняемых в комплексе работ по инженерно-геологической съемке методом ключевых участков.

Возможность интерполяции сведений, полученных на ключевом участке о каком-либо компоненте инженерно-геологических условий, определяется наличием достоверной связи между этим компонентом и типами природно-территориальных комплексов. Надежность интерполяции зависит от точности установленной корреляционной связи, характеризуемой величиной показателя корреляции. Для качественных признаков, не поддающихся ранжированию, каковыми являются природно-территориальные комплексы (ПТК), показателями корреляционной связи могут служить коэффициенты взаимной сопряженности Пирсона (C) или Чупрова (T). Они вычисляются отдельно для каждого компонента инженерно-геологических условий.

Вычислению коэффициентов взаимной сопряженности предшествует составление таблиц сопряженности рассматриваемых признаков по следующей форме (табл. 49).

Число классов показателя инженерно-геологических условий или интервалы его значений и их количество устанавливают из опыта работ.

В клетках таблицы проставляют встречаемость соответствующего интервального значения или класса компонента для каждого типа ПТК ($A_i B_h$).

Обозначим тип ПТК через А, а исследуемый компонент через B. Пусть число выделенных типов ПТК равно $1 \ldots i \ldots k$, а число интер-

* Для этой цели можно использовать специальные таблицы (табл. 10, прилож. V).

Таблица 49

Таблица сопряженности признаков

Типы природно-территориальных комплексов A	Классы или интервалы величины компонента (показателя) инженерно-геологических условий B						$\sum_{1}^{l} i$
	1	2	. . . .	h	. . . .	l	
1	(A_1B_1)	(A_1B_2)	. . . .	(A_1B_h)	. . . .	(A_1B_l)	(A_1)
2	(A_2B_1)						(A_2)
. . . .	. . . .						. . . .
i	(A_iB_1)	. . . .	. . . .	(A_iB_h)	. . . .	(A_iB_l)	(A_i)
. . . .	. . . .						. . . .
k	(A_kB_1)	. . . .	. . . .	(A_kB_h)	. . . .	(A_kB_l)	(A_k)
$\sum_{1}^{k}$	(B_1)	. . . .	. . . .	(B_h)	. . . .	(B_l)	N

валов значений компонента B—$1 \ldots h \ldots l$. Критерием отсутствия связи (независимости) является равенство

$(A_iB_h) = \dfrac{(A_i)\,(B_h)}{N}$ *для любых* i *и* h *из таблицы* сопряженности,

где N — число наблюдений признака, т. е. вероятность совместного появления A_i и B_h при условии их независимости равна произведению их вероятностей.

По величине эмпирической повторяемости в предположении отсутствия связи вычисляют выравнивающие частоты совместного появления A и B (A_iB_h).

$$(A_iB_h)_0 = \frac{(A_i)\,(B_h)}{N}$$

и записывают во вторую строку соответствующих клеток таблицы.

Показателем связи является величина δ_{ih}, равная разности экспериментальных и теоретических частот

$$\sigma_{ih} = (A_iB_h) - (A_iB_h)_0,$$

где δ_{ih} изменяется от —1 до +1.

При отсутствии связи $\delta_{ih}=0$, а знак δ указывает на характер связи: плюс — связь прямая, минус — связь обратная.

Для оценки общего коэффициента, характеризующего связь рассматриваемого признака в целом, а не для отдельных сочетаний A_i и B_h, суммируются квадраты всех значений δ_{ih} по всем столбцам и строчкам таблицы. Сумма квадратов $(\sum_{ih}\delta^2_{ih})$, деленных на соответствующие теоретические частоты $(A_iB_h)_0$, имеет распределение χ^2:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{ih} \sigma^2_{ih}}{(A_iB_h)_0},$$

с $\nu=(k-1)\,(l-1)$ степенями свободы.

Если $P(\chi^2)$ — вероятность эмпирического значения χ^2, оцениваемая по табл. 9, прилож. V, будет меньше 0,05, то связь между признаками A и B следует признать реальной. Для оценки ее вычисляют коэффициент сопряженности Пирсона

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{N + \chi^2}}$$

или Чупрова

$$T = \sqrt{\frac{\chi^2}{N\sqrt{(k-1)(l-1)}}},$$

где N — число наблюдений; k и l — число групп по факторам.

Величина коэффициентов C и T в зависимости от характера связи изменяется от 0 до 1. Однако коэффициент Пирсона C бывает равен 1 только при бесконечно большом числе групп, поэтому рекомендуется применять коэффициент Чупрова, свободный от этого недостатка.

Проверим, например, правомочность использования ландшафтных индикаторов — типов урочищ — для оценки температуры многолетнемерзлых пород. Результаты таких наблюдений для различных типов урочищ, полученные при инженерно-геокриологической съемке на ключевых участках, приведены в табл. 50.

В верхних строчках каждой клетки таблицы для соответствующих типов ПТК показана частота (встречаемость) значений температур многолетнемерзлых пород, попадающих в данный интервал (A_iB_h). В нижней строке и последней графе таблицы проставлены суммы этих частот, вычисленные по классам признаков

$$\sum_1^k (A_iB_h) = (B_h) \quad \text{и} \quad \sum_1^l (A_iB_h) = (A_i).$$

Теоретические разрядные частоты совместного появления A_i и B_h, найденные по формуле

$$(A_iB_h)_0 = \frac{(A_i)(B_h)}{N},$$

где N — общее число определений температуры, равное 67, а (A_i) и (B_h) — суммы частот соответствующих строк и столбцов, записанные во второй строке каждой клетки таблицы. Так, для интервала температур (1,0—2,0) низких торфяников (7)

$$(A_5B_5)_0 = \frac{22 \cdot 24}{67} \cong 8{,}34 \text{ и т. д.}$$

Ниже проставлены разности экспериментальных и теоретических частот $\delta_{ih} = (A_iB_h) - (A_iB_h)_0$. Для первой клетки $\delta_{1,1} = 1 - 0{,}01 = +0{,}99$; для клетки A_1B_2 (1a; t° — ± 0); $\delta_{1,2} = 0 - 0{,}03 = -0{,}03$ и т. д.

В последней, четвертой строчке клеток таблицы записаны величины

$$\frac{\sigma^2_{ih}}{(A_iB_h)_0},$$

получаемые как частное от деления квадрата разности теоретических и экспериментальных частот (квадрата величины, записанной в третьей строке) на соответствующую экспериментальную частоту. Для клетки 1,1 получим $\frac{0{,}99^2}{0{,}01} \simeq 98{,}00$ и т. д. Суммы этих значений по строкам проставлены в итоговой строке и последней графе таблицы.

Общая сумма этих величин, имеющая распределение χ^2, равна 162,6. Поскольку полученное значение χ^2 значительно превышает критическое значение χ^2 для 0,05%-ного уровня значимости и числа степеней свободы $\nu = (\kappa - 1)(l - 1) = (6 - 1) \cdot (8 - 1) = 35$, равное 43,8 (табл. 9, прил. V), то связь между изучаемыми факторами несомненна.

Величина этой связи, определяемая коэффициентами взаимной сопряженности Чупрова

$$T = \sqrt{\frac{\chi^2}{N\sqrt{(k-1)(l-1)}}},$$

оказалась равной

$$T = \sqrt{\frac{162{,}6}{67\sqrt{(6-1)(8-1)}}} = \sqrt{\frac{162{,}6}{67 \cdot 5{,}9}} = \sqrt{0{,}41} = 0{,}64.$$

Таблица 50

Таблица расчета коэффициента взаимной сопряженности

Типы ПТК	Температура многолетнемерзлых пород, °С						Σ
	>0	±0	0,1—0,5	0,5—1,0	1,0—2,0	2,0—3,0	
Сухие леса, 1а*	1	—	—	—	—	—	1
	0,01	0,03	0,27	0,16	0,36	0,16	—
	+0,99	—0,03	—0,27	—0,16	—0,36	—0,16	—
	98,00	0,03	0,27	0,16	0,36	0,16	98,98
Участки мелкобугристого рельефа, 4	—	—	1	—	—	—	1
	0,01	0,03	0,27	0,16	0,36	0,16	—
	—0,01	—0,03	0,73	—0,16	—0,36	—0,16	—
	0,01	0,03	0,20	0,16	0,36	0,16	0,92
Хасыреи, 5б	—	1	1	—	1	—	3
	0,05	0,09	0,81	0,49	1,08	0,49	—
	—0,05	0,91	0,19	—0,49	—0,08	—0,49	—
	0,05	9,25	0,05	0,49	0	0,49	10,33
Грядово-бугристые торфяники и болота, 6б	—	1	3	—	—	—	4
	0,06	0,12	1,08	0,66	1,43	0,66	—
	—0,06	0,88	1,92	—0,66	—1,43	—0,66	—
	0,06	6,48	3,44	0,66	1,43	0,66	12,73
Низкие торфяники, 7	—	—	5	3	9	5	22
	0,33	0,66	5,92	3,62	8,34	3,62	—
	—0,33	—0,66	—0,92	—0,62	0,66	1,38	—
	0,33	0,66	0,14	0,11	0,05	0,53	1,82
Выпукло-бугристые торфяники, 8а	—	—	—	1	3	5	9
	0,13	0,27	2,42	1,48	3,23	1,48	—
	—0,13	—0,27	—2,42	0,48	—0,23	3,52	—
	0,13	0,27	2,42	0,16	0,02	8,37	11,37
Торфяники с термокарстом, 9	—	—	—	1	3	—	4
	0,06	0,20	1,08	0,66	1,44	0,66	
	—0,06	—0,20	—1,08	0,34	1,56	—0,66	
	0,06	0,12	1,08	17,91	1,71	0,66	21,54
Минеральные бугры пучения, 10	—	—	8	6	8	1	23
	0,34	0,69	6,18	3,78	8,23	3,78	
	—0,34	—0,69	1,82	+2,22	—0,23	—2,78	
	0,34	0,69	0,53	1,30	0,00	2,04	4,90
Σ	1	2	18	11	24	11	67
	98,98	17,53	8,13	20,95	3,93	13,07	162,6

* Индекс, присвоенный типу урочищ.

Это указывает на достаточно надежную индикацию температурного режима пород по ландшафтным признакам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 16

1. *Бондарик Г. К.* Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств пород. М., «Недра», 1971. 272 с.
2. *Длин А. М.* Математическая статистика в технике. М., «Советская наука», 1958. 466 с.
3. *Комаров И. С.* Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. М., «Недра», 1972. 295 с.
4. *Митропольский А. К.* Техника статистических вычислений. М., «Наука», 1971. 345 с.
5. *Пустыльник Е. И.* Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., «Наука», 1968. 288 с.

6. *Большев Л. Н., Смирнов П. В.* Таблицы математической статистики. М., «Наука», 1965. 464 с.
7. *Шарапов И. П.* Применение математической статистики в геологии. М., «Недра», 1971. 245 с.

Глава 17

ОТЧЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В результате полной камеральной обработки всех имеющихся материалов по району работ составляется отчет по инженерно-геологической съемке. Он состоит из трех основных частей: 1) инженерно-геологическая карта в масштабе съемки, вспомогательные карты и другие графические материалы; 2) текстовая часть отчета (пояснительная записка); 3) фактический материал.

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

В результате инженерно-геологической съемки составляется инженерно-геологическая карта, являющаяся графическим обобщением полевых, фондовых и литературных материалов по инженерно-геологическим условиям картируемой территории. Карта освещает общие инженерно-геологические условия территории и предназначается для перспективного планирования всех массовых видов строительства неглубокого заложения (выбора мест расположения крупных комплексов строительства и определения типов конструктивных решений), планирования мероприятий по охране природы и составления программ более детальных инженерно-геологических исследований.

Инженерно-геологические карты масштабов 1 : 100 000—1 : 500 000 должны содержать материал, позволяющий установить с соответствующей масштабу детальностью основные инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации сооружений для любого участка картируемой территории.

Инженерно-геологическое картирование территории нашей страны должно базироваться на единых принципах. Такие принципы были разработаны, сформулированы и одобрены на межведомственных совещаниях по инженерной геологии 1962 и 1968 гг. Уточнение принципов инженерно-геологического картирования применительно к масштабам государственной съемки проводилось в процессе составления настоящего руководства (1969—1973 гг.). Эти положения должны соответствовать следующим условиям.

1. Государственные инженерно-геологические карты должны отражать инженерно-геологические условия. Они составляются по листам международной разграфки.

2. На всех инженерно-геологических картах должно быть отображено: геологическое строение (особенно детально для верхней 10—15-метровой толщи горных пород, вовлекаемой в сферу деятельности человека), геокриологические и гидрогеологические условия, распространение современных геологических и инженерно-геологических процессов.

3. Инженерно-геологическая съемка проводится либо на готовой геологической и гидрогеологической основе, либо в комплексе с геологической и гидрогеологической съемками, вследствие чего нет необходимости помещать на инженерно-геологическую карту ту информацию, которая в полной мере отражена на геологической, гидрогеологической, геоморфологической, тектонической картах и карте полезных ископаемых.

Инженерно-геологическая карта составляется на одном листе. В случаях, специально оговариваемых в проектах на производство инженерно-геологической съемки, часть информации может быть вынесена на вспомогательные карты, дополняющие карты инженерно-геологических условий (карты энергии рельефа, почвенного покрова, интенсивности экзогенных геологических процессов, сезонного протаивания — промерзания, мощности многолетнемерзлых пород и т. д.).

4. В основу построения инженерно-геологических карт берется принцип литолого-генетического (формационного) анализа территории, которая делится на геологические тела — основные объекты картирования. Такими телами являются части геологических формаций: стратиграфо-генетические и литолого-фациальные комплексы горных пород, горные породы и их характерные сочетания. Горные породы выделяются согласно номенклатуре СНиП. В пределах контуров стратиграфо-генетических комплексов дается глубина залегания подземных вод, а также их агрессивность по отношению к бетону.

Показывается комплекс геокриологических условий — распространение многолетнемерзлых толщ, их температура и мощность, льдистость горных пород, сезонное протаивание — промерзание. Показывается распространение и по возможности интенсивность проявлений современных геологических и инженерно-геологических процессов. Даются месторождения строительных материалов и участки, перспективные для поисков и разведки.

5. Инженерно-геологические разрезы должны быть построены по наиболее характерным направлениям (вкрест простирания структур и основных форм рельефа), пересекать основные стратиграфо-генетические комплексы, проходить по участкам с разнообразными гидрогеологическими и геокриологическими условиями. Разрезы должны отражать детальное строение верхней толщи горных пород, вовлекаемой в сферу хозяйственного освоения, и отображать связи инженерно-геологических условий ее с более глубинным геологическим строением и глубоко залегающими подземными водами.

6. На инженерно-геологических картах и разрезах отражается лишь наиболее представительный фактический материал. При составлении таких карт в качестве изобразительных средств используются: 1) цвет и его оттенки — для показа стратиграфо-генетических комплексов; 2) штриховка серого цвета — для показа состава и мощностей нелитифицированных минеральных горных пород; синего цвета — для показа биогенных отложений; лилового цвета — для показа геокриологических условий); 3) значковая нагрузка (синего цвета — для показа гидрогеологических и гидрологических компонентов; красного цвета — для показа современных геологических и инженерно-геологических процессов; черного цвета — для показа строительных материалов); 4) линии разного цвета, толщины и прерывистости — для показа границ различных категорий и направлений разрезов; 5) геологические индексы, цифры и пр.

Ниже приводятся основные методические положения составления инженерно-геологических карт масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000).

Каждый, выделенный в процессе инженерно-геологической съемки, стратиграфо-генетический комплекс горных пород, залегающий первым от поверхностей, закрашивается на карте цветом, указывающим на принадлежность этого комплекса к генетическому типу нелитифицированных четвертичных отложений. Стратиграфо-генетические комплексы одной геологической формации или одного генетического типа четвертичных отложений показываются разными оттенками, причем более древний комплекс — более темным оттенком. Возрастная принадлежность стратиграфо-генетического комплекса показывается геологическим ин-

дексом, площадь его распространения — границей. Стратиграфо-генетические комплексы непостоянной мощности, не превышающей 2 м, на карте не приводятся.

В тех случаях, когда мощность первого от поверхности стратиграфо-генетического комплекса горных пород составляет менее 10 м, на карте бергштрихами показываются границы распространения второго от поверхности стратиграфо-генетического комплекса и специальными знаками указывается на характер структурных связей горных пород, преобладающих в комплексе (скальные, полускальные, песчаные, грубообломочные, связные), а индексом — возраст комплекса. Эти бергштрихи, знаки и индексы имеют цвет, присвоенный данной формации или генетическому типу четвертичных отложений.

В условных обозначениях стратиграфо-генетические комплексы одной геологической формации (генетического типа четвертичных отложений) размещаются в возрастной последовательности — от молодых к древним. Для каждого комплекса указываются преобладающие в его составе горные породы. На первом месте ставится доминирующая порода, а затем в порядке преобладания другие отложения. Здесь же указываются пределы изменения мощности стратиграфо-генетического комплекса. Одним из важных компонентов инженерно-геологических условий является литологическая характеристика нелитифицированных четвертичных отложений, чаще всего используемых в качестве оснований сооружений. Литологическая характеристика минеральных горных пород первого от поверхности стратиграфо-генетического комплекса (и их сочетаний) показывается на карте специальными штриховыми условными знаками (серого цвета). В случае однородного строения стратиграфо-генетического комплекса пород на всей площади картируемого листа штриховка на карту не наносится, а значения мощности показываются цифрами черного цвета (в этих же градациях).

Для отображения изменений мощности первых от поверхности стратиграфо-генетических комплексов горных пород используется наклон выше упомянутой штриховки. Мощность показывается в следующих градациях — до 2, от 2 до 5, от 5 до 10 м и более. В случае большой изменчивости мощности стратиграфо-генетических комплексов применяется объединенная градация от 2 до 10 м. Современные биогенные отложения разного генезиса (торф, сапропель и др.), отличающиеся весьма малой несущей способностью, показываются на карте условными знаками синего цвета в градациях до 1, от 1 до 2, от 2 до 5 и более 5 м. Эти знаки накладываются на штриховку, обозначающую различия в петрографическом составе горных пород первого от поверхности стратиграфо-генетического комплекса.

В дополнение к характеристике возрастной и генетической принадлежности горных пород, их состава и мощности на карте в пределах площади распространения каждого стратиграфо-генетического комплекса показывается характеристика геокриологических и гидрогеологических компонентов инженерно-геологических условий, современные геологические и инженерно-геологические процессы и др. Геокриологические компоненты (характер площадного распространения, температура и льдистость многолетнемерзлых горных пород) отображаются на карте перекрывающей штриховкой ярко-лилового цвета. Комбинации этой штриховки — в различных сочетаниях частоты наклона и длины штрихов — позволяют отобразить все указанные характеристики геокриологических условий. Расстоянием между линиями штриховки предусматривается возможность показа сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород в пределах стратиграфо-генетического комплекса или горных пород одного петрографического состава (более 3/4 общей площади), прерывистого (более 1/2 общей площади) и островного (менее 1/2 общей площади) распространения. Степень льдистости мно-

голетнемерзлых горных пород различной длиной штриха показывается в трех градациях — сильная, средняя и слабая. Поскольку в полевых условиях наиболее массовым анализом является определение суммарной влажности многолетнемерзлых горных пород, то значения интервалов привязаны именно к этому показателю. К слабольдистым породам относятся несвязные, имеющие коэффициент водонасыщения G менее 0,5, и связные породы твердой консистенции. К породам средней степени льдистости относятся несвязные, у которых $0{,}5<G<0{,}9$, и связные породы пластичной консистенции. Сильнольдистые породы имеют $G>0{,}9$ (для несвязных пород) и текучую консистенцию (для связных пород). Температура многолетнемерзлых пород (на глубине подошвы слоя годовых изменений) отображается наклоном ярко-лиловой штриховки в трех основных градациях: от 0 до —1°, от —1 до —2° и ниже —2°. Первая градация необходима для показа участков с неустойчивым температурным режимом пород, обладающих потенциалом изменения состояния (из мерзлых в талые). Участки с температурой ниже —2° отличаются устойчивым режимом пород, находящихся в твердомерзлом состоянии. Для показа участков с пестрым чередованием пород с разной температурой предусмотрена объединяющая градация 0 —2°.

Настоящим Методическим руководством предусматривается, что для каждого листа инженерно-геологической карты (серии листов) должна составляться региональная классификация типов сезонного протаивания — промерзания по методике В. А. Кудрявцева (см. гл. 5). На инженерно-геологической карте номер типа слоя сезонного протаивания — промерзания показывается цифрой черного цвета, а границы его распространения, если они не совпадают с границами стратиграфо-генетических комплексов или литологических типов горных пород, проводятся линией ярко-лилового цвета. Мощность многолетнемерзлых пород (глубина залегания кровли и подошвы) показывается цифровой характеристикой, помещаемой у значка опорной скважины.

Гидрогеологические и гидрологические компоненты инженерно-геологических условий даются значками и цифрами синего цвета. Глубина залегания собственно грунтовых вод, верховодки и грунтовых вод таликов в пределах однотипных по составу горных пород одного стратиграфо-генетического комплекса показывается в интервалах до 2, от 2 до 5, от 5 до 10 и более 10 м. Специальным значком отражается вид агрессивности подземных и поверхностных вод по отношению к бетону (выщелачивающая, общекислотная, углекислая и сульфатная). Значок ставится рядом с цифрами глубин залегания грунтовых вод либо на условном топографическом знаке водоема или водотока. Внемасштабными знаками показываются на карте жильные и пластовые льды и их мощность, наледи (многолетние и сезонные), болота (низинные и комплексные).

Современные геологические и инженерно-геологические процессы и явления показываются на карте условными знаками красного цвета. Если площади сплошного распространения этих явлений выражаются в масштабе карты, то они оконтуриваются сплошными линиями красного цвета. В тех случаях, когда возможен подсчет пораженности площади каким-либо геологическим процессом (оползни, сели, термокарст, пучение и др.), характеристика пораженности приводится в долях единицы цифрами красного цвета. Прямыми тонкими красными линиями на карте проводятся тектонические разломы, по которым возможны смещения, сплошными линиями — установленные, а пунктирными — предполагаемые.

Специальными значками черного цвета показываются участки, перспективные для разведки и разработки стройматериалов. Остальные условные знаки инженерно-геологической карты являются традиционными и в пояснениях не нуждаются.

РАЗРЕЗЫ И ДРУГИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЕ

К инженерно-геологической карте прилагаются разрезы (два при сложном и один при несложном строении). Расположение разрезов выбирается с расчетом пересечения наибольшего количества геолого-структурных и геоморфологических элементов. Желательно, чтобы направление разрезов было перпендикулярно преобладающему простиранию горных пород и линейных форм рельефа. Глубина разрезов должна давать ясное представление о структуре верхних горизонтов земной коры, затрагиваемых деятельностью человека.

Для платформенных территорий по каждой выбранной для разрезов линии строятся два разреза. Один — обычный с соотношением вертикального масштаба к горизонтальному от 1 : 20 до 1 : 2 (вертикальный масштаб 1 : 10 000—1 : 100 000), другой — искаженный с вертикальным масштабом 1 : 1000—1 : 2000.

Первый разрез необходим для характеристики структурно-тектонических условий района, связи четвертичных отложений с дочетвертичными, уровня напорных вод, мощности многолетнемерзлых пород и пр.

Искаженный разрез служит для отражения связи четвертичных отложений с рельефом, для отображения изменений состава и мощности четвертичных пород, изменения положения уровня грунтовых вод, особенностей распространения многолетнемерзлых пород, таликов и пр.

Разрезы на обоих концах обозначаются заглавными буквами русского алфавита. Стратиграфо-генетические комплексы, как и на карте, отображаются на разрезе цветом и его оттенками, состав горных пород — штриховкой серого цвета.

В отличие от карты на разрезах показывается состав не только нелитифицированных четвертичных, но и всех других отложений. Направление штриховки используется для показа условий залегания горных пород.

Кроме того, на разрезах специальным знаком показываются границы многолетнемерзлых пород, положение уровня грунтовых и напорных вод, линии разломов, по которым возможны смещения горных пород, зоны дробления, опорные буровые скважины и др.

Помимо разрезов к карте прилагаются сводная инженерно-геологическая колонка и частные разрезы по ключевым участкам.

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ И РАЗРЕЗОВ В РАЗНЫХ РАЙОНАХ

В методике составления инженерно-геологических карт для территорий платформ и горно-складчатых поясов при сходстве основных компонентов карты имеются и существенные различия, связанные с характером отображения этих компонентов и степени их детализации.

На платформах, как правило, значительным разнообразием и нередко большой мощностью обладают четвертичные отложения, под которыми на преобладающей части территории (за исключением древних щитов) залегает горизонтальный или слабо наклоненный дочетвертичный осадочный покров. В основном в пределах глубины до 10 м здесь встречаются два и более различных стратиграфо-генетических комплекса горных пород (аллювий на моренных или лёссовых породах, а те, в свою очередь, на меловых или юрских и т. п.). Это требует отображения на карте второго от поверхности стратиграфо-генетического комплекса (индексом и границей распространения). Третий от поверхности стратиграфо-генетический комплекс пород показывается лишь на разрезах.

Если залегающий с поверхности стратиграфо-генетический комплекс имеет мощность более 10 м, то индекс, обозначающий нижележащий комплекс, на карту не наносится, а этот комплекс показывается лишь присвоенным ему цветом внутри значка скважин на опорных разрезах.

В горно-складчатых поясах четвертичные отложения, как правило, более однообразны. На склонах распространен прерывистый покров элювиальных, делювиальных и коллювиальных отложений преимущественно небольшой мощности. Нередко эти генетические типы отложений связаны между собой постепенными переходами и практически объединяются в один комплекс под названием элюво-делювия. Значительную мощность поверхностные отложения имеют лишь по днищам крупных долин (аллювиальные, флювиогляциальные или ледниковые отложения), межгорных впадин (аллювиальные, пролювиальные и озерные отложения) и в пределах делювиальных шлейфов (делювиальные и коллювиальные отложения). На этих площадях мощность поверхностных отложений обычно превышает 10 м. На инженерно-геологических картах прерывистый и маломощный элюво-делювиальный покров со склонов снимается (краткая его характеристика дается в условных обозначениях) и показываются подстилающие дочетвертичные, литифицированные четвертичные породы.

На инженерно-геологических картах горно-складчатых территорий должны найти наибольшее отражение тектонические элементы (линии тектонических нарушений, зоны дробления, элементы залегания горных пород и пр.), которые в пределах платформ имеют меньшее значение.

На инженерно-геологических картах платформенных территорий, где подземные воды приурочены преимущественно к пластам, могут показываться глубины залегания первого от поверхности горизонта грунтовых вод. Этого нельзя сделать на инженерно-геологических картах горно-складчатых поясов, поскольку в их пределах подземные воды имеют преимущественно трещинно-жильный характер. Здесь обычно могут быть показаны только отдельные выходы подземных вод.

Современные геологические процессы также различны в пределах платформ и горно-складчатых поясов. Из этих процессов некоторые свойственны и тем, и другим типам территорий (эрозия, оползни, карст и др.), но многие имеют и специфический характер. Так, для платформ характерны просадочность, заболачивание, развевание песков, а для горно-складчатых поясов — сейсмические процессы, обвалы, лавины, ледники, сели, курумы и др. Горно-складчатым районам обычно свойственна высокая интенсивность современных геологических процессов, отличающихся большим разнообразием. Здесь помимо карты инженерно-геологических условий целесообразно составлять дополнительную карту инженерно-геологического районирования по интенсивности современных геологических процессов, на которой в формульном виде показывается пораженность территории современными экзогенными геологическими процессами (подробнее об этом см. главу 7). В этом случае на общей инженерно-геологической карте интенсивность (пораженность) современных геологических процессов не отражается.

Отличия инженерно-геологических карт районов области многолетнемерзлых пород состоят в увеличении нагрузки, что объясняется необходимостью показа комплекса геокриологических условий. Наиболее сложными (по нагрузке) являются карты южных районов области многолетнемерзлых пород, отмечающиеся пестрым чередованием мерзлых и талых образований и интенсивным развитием современных геологических процессов.

СОДЕРЖАНИЕ ТЕКСТОВОЙ ЧАСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОТЧЕТА

Камеральная обработка материалов завершается составлением отчета по инженерно-геологической съемке.

Как уже отмечалось, инженерно-геологическая съемка может производиться на готовой геологической (или геолого-гидрогеологической) основе, или на территории, ранее геологически (и гидрогеологически) не заснятой. В зависимости от этого и содержание отчета может быть различным.

Если инженерно-геологическая съемка проводится в виде самостоятельных работ специальной партией, то текстовая часть отчета о результатах этих работ должна иметь следующую структуру: 1) введение; 2) географическая характеристика района; 3) геологическая, гидрогеологическая и инженерно-геологическая изученность; 4) геологическое строение; 5) геоморфология; 6) гидрогеологические условия; 7) геокриологические условия; 8) инженерно-геологические свойства горных пород; 9) современные геологические и инженерно-геологические процессы; 10) краткая характеристика месторождений строительных материалов и участков, перспективных для их поисков и разведки; 11) заключение.

При инженерно-геологической съемке, проводившейся в качестве составной части комплексной геологической (или гидрогеологической) съемки, самостоятельный отчет не составляется, а сведения об инженерно-геологических условиях включаются в общий отчет по геолого-съемочным работам. Это относится к главам «Геокриологические условия», «Гидрогеологические условия», «Инженерно-геологические свойства горных пород», «Современные геологические и инженерно-геологические процессы». Содержание отчета по инженерно-геологической съемке не может быть стандартным, так как зависит от особенностей района. Перечень вопросов, которые должны быть отражены в каждой главе, приводится ниже.

1. Введение. Цели и задачи выполненных работ, соответствие их объемов запланированным. Сроки выполнения. Географическое и административное положение, номенклатура планшетов, степень хозяйственного освоения района. Краткое описание методики работ (в случае применения новых методов или усовершенствования методики описание последней должно быть выделено в самостоятельный раздел). Характеристика качества топографической основы и аэрофотоматериалов. Организационная структура партии и состав исполнителей. Участие каждого исполнителя в полевых и камеральных работах. В качестве иллюстрации должна быть приложена мелкомасштабная обзорная географическая карта с границами района работ.

2. Географическая характеристика района. Природная обстановка района: рельеф, гидрография, климат, растительность, почвы, типы природно-территориальных комплексов, т. е. весь материал, позволяющий судить о влиянии факторов физико-географической обстановки на режим подземных вод и геокриологические условия, характер выветривания пород, возникновение и развитие современных геологических и инженерно-геологических процессов. Ландшафтные индикаторы инженерно-геологических условий. Пути сообщения, лесо-, водо- и энергообеспеченность района, население и другие данные, необходимые для обоснования принятой методики работ. Иллюстрации — карта ландшафтного районирования, гипсометрическая карта, фотографии и аэрофотоснимки типичных ландшафтов.

3. Геологическая, гидрогеологическая и инженерно-геологическая изученность. В хронологическом порядке приводится краткий обзор результатов геологических, гидрогеологи-

ческих и (более подробно) инженерно-геологических работ, проводившихся в районе. Прослеживается развитие идей и представлений о геологическом строении, геокриологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условиях. Показывается то новое, что получено в результате проведенной инженерно-геологической съемки. При составлении главы используются преимущественно сводные работы. Иллюстрация — картограмма геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической изученности.

4. Геологическое строение. Приводятся краткие сведения по стратиграфии, петрографии и тектонике района по такой же схеме, как и в отчетах по геологической съемке. Горные породы, залегающие на большой глубине и не вовлекаемые в сферу воздействия инженерных сооружений, описываются очень кратко. Описание стратиграфических подразделений дается сверху вниз, т. е. от более молодых к более древним отложениям. Для районов, сложных в тектоническом отношении, дается схема тектонического районирования.

5. Геоморфология. Приводится систематическое описание генетических типов рельефа, их формы и генезиса. Основное внимание уделяется освещению истории геологического развития, современных геологических процессов и рельефа.

6. Гидрогеологические условия. Описание основных водоносных горизонтов и комплексов с наиболее детальной характеристикой *первого от поверхности водоносного горизонта. Распространение* и характер верховодки. Агрессивность и коррозийность подземных вод; связи подземных вод с современными геологическими процессами.

7. Геокриологические условия. Распространение, мощность, температура многолетнемерзлых пород, история формирования мерзлых толщ, особенности залегания подземных вод, глубины и сроки сезонного протаивания и промерзания; прогноз изменения геокриологических условий после проведения строительства. Раздел может иллюстрироваться картой сезонного протаивания, промерзания, схемой мощности многолетнемерзлых пород и др.

8. Инженерно-геологические свойства горных пород. Приводятся обоснование выделения и полный перечень стратиграфо-генетических и литолого-фациальных комплексов пород. Характеризуются инженерно-геологические свойства петрографических типов горных пород комплекса, в том числе мерзлых, промерзающих и оттаивающих (состав, плотность, пластичность и другие классификационные показатели). Обобщенные значения показателей состава и свойств пород помещаются в таблицах в виде формулы

$$\bar{x}\,\frac{\sigma}{A}\,n,$$

где $\bar{x}$ — обобщенное значение показателя (среднее арифметическое); σ — среднее квадратическое отклонение; A — размах (минимальное и максимальное значение); n — число определений.

Анализируются зависимости и закономерности изменения свойств пород от их состава и состояния.

9. *Современные геологические и инженерно-геологические процессы.* Детально описывают только те проявления процессов (оползни, карсты, сели и пр.), которые будут оказывать влияние на условия строительства и эксплуатацию сооружений. Целью описания является выявление приуроченности процессов к определенным стратиграфо-генетическим комплексам и петрографическим типам пород, а также характеристика условий, выявление причин, размеров, положения в пространстве, интенсивности развития тех или иных современных геологических процессов.

Детально описываются проявления инженерно-геологических процессов. Приводится инженерно-геологическая характеристика участков, на которых расположены сооружения, рассматриваются процессы, возникшие при их строительстве и эксплуатации, причины их образования. Оценивается эффективность мероприятий по борьбе с возникшими неблагоприятными для сооружений явлениями.

Приводится прогнозирование развития современных геологических процессов в естественных условиях и в результате хозяйственной деятельности (общестроительных мероприятий).

10. Краткая характеристика месторождений строительных материалов и участков, перспективных для их поисков и разведки. Кратко описываются все существующие в районе месторождения строительных материалов (местоположение, запасы, мощность залежи, характеристика стройматериалов, породы вскрытия и их мощность, подъездные пути и др.). Указываются участки, перспективные для поисков и разведки месторождений стройматериалов, приводится их краткая характеристика.

11. Заключение. В очень сжатой форме излагаются основные выводы по всем разделам отчета и предложения по дальнейшему инженерно-геологическому изучению территории *.

После заключения помещается список литературы и фондовых материалов, использованных при составлении отчета.

Согласно «Инструкции о порядке оформления геологических отчетов» (1965) объем текста отчета не должен превышать 300 с. машинописи (через 2 интервала).

При наличии готовой геологической основы геологическая часть отчета и другие соответствующие разделы должны быть значительно сокращены (со ссылкой на пояснительную записку к геологической карте). В них должны быть оставлены только основная схема геологического строения и геоморфологических условий в объеме, необходимом для инженерно-геологической оценки территории. Общий объем отчета в этом случае не должен превышать 150—200 с.

При наличии готовой не только геологической, но и гидрогеологической основы должна быть значительно сокращена и глава «гидрогеология» (со ссылкой на пояснительную записку к гидрогеологической карте), общий объем отчета (пояснительной записки) не должен превышать 150—100 с.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Обязательным приложением к отчету является карта фактического материала, составляемая в рабочем масштабе карты на топографической основе или, что предпочтительнее, на контурной ландшафтно-индикационной карте.

На карте должны быть показаны все ключевые участки и профили с горно-буровыми и геофизическими работами, опорные маршруты и маршруты аэровизуальных наблюдений, горные выработки, буровые скважины и точки геофизических наблюдений (раздельно, — пройденные партией и другими организациями), места отбора проб воды, месторождения строительных материалов, обследованные сооружения, деформированные в результате воздействия инженерно-геологических процессов.

---

* Если в задании на проведение инженерно-геологической съемки оговорены виды планируемого на территории съемки строительства, то в отчете приводятся обоснование схемы специального инженерно-геологического районирования и краткая характеристика выделяемых подразделений.

Нумерация на карте должна строго соответствовать нумерации описания фактического материала, прилагаемого к отчету.

К фактическому материалу относятся: 1) ландшафтно-индикационные карты ключевых участков и опорных маршрутов; 2) инженерно-геологические разрезы ключевых участков и опорных маршрутов; 3) систематизированные и отредактированные полевые дневники; 4) описания и колонки буровых скважин; 5) графики геофизического профилирования и зондирования; 6) графики зондирования и пенетрационно-каротажных работ; 7) таблицы анализов инженерно-геологических свойств горных пород и анализов воды; 8) графики результатов опытных работ; 9) описания шлифов, результатов минералогического анализа, фауны и микрофауны, спорово-пыльцевого и карпологического анализов и т. д.

Журналы полевых наблюдений, каталоги, дневники, ведомости лабораторных наблюдений, отдешифрированные аэрофотоснимки сдаются в архив.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ к гл. 17

1. *Вопросы* унификации инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1964. 13 с.

2. *Инструкция* по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты СССР м-ба 1 : 200 000. М., «Недра», 1969. 67 с.

3. *Методическое* руководство по гидрогеологической съемке м-бов 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и 1 : 200 000—1 : 100 000. Под ред. А. А. Маккавеева и А. С. Рябченкова. М., Госгеолтехиздат, 1961. 319 с.

4. *Организация* и производство работ по геологической съемке четвертичных отложений в масштабах 1 : 200 000 и 100 : 000. М., 1971. 94 с.

5. *Инженерно*-геологическая карта СССР м-ба 1 : 2 500 000. М., «Недра», 1970. 16 л.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

НОМЕНКЛАТУРА ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ (СНиП II. 15—74)

1. Грунты оснований зданий и сооружений должны именоваться в описаниях результатов изысканий, проектах оснований, фундаментов и других подземных частей зданий и сооружений согласно номенклатуре грунтов, установленной настоящим разделом норм.

Наименования грунтов должны сопровождаться сведениями об их геологическом возрасте и происхождении.

В необходимых случаях к наименованиям грунтов и их характеристикам, предусмотренным номенклатурой грунтов, допускается вводить дополнительные наименования и характеристики (зерновой состав глинистых грунтов, степень и качественный характер засоления грунтов, вид скальных пород, из которых образовались элювиальные грунты, подверженность атмосферному выветриванию при обнажении поверхности, крепость при разработке и т. п.), учитывающие вид и особенности строительства, а также местные геологические условия. Эти дополнительные наименования и характеристики не должны противоречить номенклатуре грунтов настоящих норм.

2. Грунты подразделяются на скальные и нескальные.

К скальным грунтам относятся: изверженные, метаморфические и осадочные породы с жесткими связями между зернами (спаянные и сцементированные), залегающие в виде сплошного или трещиноватого массива.

К нескальным грунтам относятся: а) крупнообломочные — несцементированные грунты, содержащие более 50% по массе обломков кристаллических или осадочных пород с размерами частиц более 2 мм;

б) песчаные — сыпучие в сухом состоянии грунты, содержащие менее 50% по массе частиц крупнее 2 мм и не обладающие свойством пластичности (грунт не раскатывается в шнур диаметром 3 мм или число пластичности его $I_p \leqslant 0{,}01$);

в) глинистые — связные грунты, для которых число пластичности $I_p \geqslant 0{,}01$.

Примечание. Числом пластичности грунта I_p называется разность влажностей, выраженных в долях единицы, соответствующих двум состояниям грунта — на границе текучести W_L и на границе раскатывания (пластичности) W_p.

3. Скальные грунты подразделяются на разновидности согласно табл. 1 в зависимости от: временного сопротивления одноосному сжатию в водонасыщенном состоянии R_c; коэффициента размягчаемости $K_{рз}$ (отношение временных сопротивлений одноосному сжатию в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии); степени выветрелости $K_{вс}$ (отношение объемной массы образца выветрелого грунта к объемной массе невыветрелого образца того же грунта).

Для скальных грунтов, способных к растворению в воде (каменная соль, гипс, известняк и т. п.), следует устанавливать степень их растворимости.

4. Крупнообломочные и песчаные грунты в зависимости от зернового состава подразделяются на виды (табл. 2).

Примечание. Для установления наименования грунта по табл. 2 последовательно суммируются проценты содержания частиц исследуемого грунта: сначала — крупнее 200 мм, затем — крупнее 10 мм, далее — крупнее 2 мм и т. д. Наименование грунта принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в табл. 2.

Наименования крупнообломочных и песчаных грунтов, установленные по табл. 2, должны дополняться указанием о степени неоднородности их зернового состава U, определяемой по формуле

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \qquad (1)$$

где d_{60} — диаметр частиц, меньше которого в данном грунте содержится (по массе) 60% частиц; d_{10} — диаметр частиц, меньше которого в данном грунте содержится (по массе) 10% частиц.

При наличии в крупнообломочных грунтах более 40% песчаного заполнителя или более 30% глинистого заполнителя в наименовании крупнообломочного грунта должно приводиться также наименование вида заполнителя и указываться характеристика его состояния. Вид заполнителя устанавливается по табл. 2 или по табл. 6 после удаления из образцов крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм.

Таблица 1

Разновидности скальных грунтов

Грунты	*Показатель*
А. По временному сопротивлению одноосному сжатию R_c, Па	
Очень прочные	$R_c > 1200$
Прочные	$1200 \geqslant R_c > 500$
Средней прочности	$500 \geqslant R_c > 150$
Малопрочные	$150 \geqslant R_c \geqslant 50$
Полускальные	$R_c < 50$
Б. По коэффициенту размягчаемости в воде $K_{рз}$	
Неразмягчаемые	$K_{рз} \geqslant 0{,}75$
Размягчаемые	$K_{рз} < 0{,}75$
В. По степени выветрелости $K_{вс}$	
Невыветрелые (монолитные)	Породы залегают в виде сплошного массива $K_{вс} = 1$
Слабовыветрелые (трещиноватые)	Породы залегают в виде несмещенных отдельностей (глыб) $1 > K_{вс} \geqslant 0{,}9$
Выветрелые	Породы залегают в виде скопления кусков, переходящего в трещиноватую скалу $0{,}9 > K_{вс} \geqslant 0{,}8$
Сильновыветрелые (рухляки)	Породы залегают во всем массиве в виде отдельных кусков $K_{вс} < 0{,}8$

Таблица 2

Подразделение крупнообломочных и песчаных грунтов

Крупнообломочные и песчаные грунты	Распределение частиц по крупности (в %) от массы воздушно-сухого грунта
А. Крупнообломочные	
Валунный грунт (при преобладании неокатанных частиц — глыбовый)	Масса частиц крупнее 200 мм — более 50%
Галечниковый грунт (при преобладании неокатанных частиц — щебнистый)	Масса частиц крупнее 10 мм — более 50%
Гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц — дресвяный)	Масса частиц крупнее 2 мм — более 50%
Б. Песчаные (песок)	
Гравелистый	Масса частиц крупнее 2 мм — более 25%
Крупный	Масса частиц крупнее 0,5 мм — более 50%
Средней крупности	Масса частиц крупнее 0,25 мм — более 50%
Мелкий	Масса частиц крупнее 0,1 мм — 75% и более
Пылеватый	Масса частиц крупнее 0,1 мм — менее 75%

5. Крупнообломочные грунты, подвергшиеся природным процессам выветривания и содержащие более 10% частиц размером менее 2 мм, подразделяются по значениям коэффициента выветрелости $K_{вк}$ согласно табл. 3.

Коэффициент выветрелости обломков крупнообломочных грунтов $K_{вк}$ определяется испытанием грунта на истирание во вращающемся поломочном барабане и вычисляется по формуле

$$K_{вк} = \frac{K_1 - K_0}{K_1}, \tag{2}$$

где K_1 — отношение массы частиц размером менее 2 мм к массе частиц размером более 2 мм после испытания на истирание; K_0 — то же, до испытания на истирание.

6. Крупнообломочные и песчаные грунты подразделяются по степени влажности G (доле заполнения объема пор грунта водой) согласно табл. 4.

Таблица 3

Подразделение крупнообломочных грунтов *по степени выветрелости*

Крупнообломочные грунты	Коэффициент выветрелости $K_{вк}$
Невыветрелые	$0 < K_{вк} \leqslant 0{,}5$
Слабовыветрелые	$0{,}5 < K_{вк} \leqslant 0{,}75$
Сильновыветрелые	$0{,}75 < K_{вк} < 1$

Таблица 4

Подразделение крупнообломочных и песчаных грунтов по степени влажности

Крупнообломочные и песчаные грунты	Степень влажности
Маловлажные	$0 < G \leqslant 0{,}5$
Влажные	$0{,}5 < G \leqslant 0{,}8$
Насыщенные водой	$0{,}8 < G \leqslant 1$

Степень влажности G определяется по формуле

$$G = \frac{W\gamma_S}{e\gamma_W}, \tag{3}$$

где W — природная влажность грунта, доли единицы; γ_s — плотность грунта; γ_w — плотность воды, принимаемая равной 1; e — коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности.

Природную влажность крупнообломочного грунта W определяют испытанием его пробы без отделения обломков пород от заполнителя или раздельным испытанием как обломков, так и заполнителя.

В последнем случае влажность крупнообломочного грунта определяется по формуле

$$W = W_1 - \eta (1 - K_{вк}) (W_1 - W_2), \tag{4}$$

где W_1 и W_2 — соответственно влажности заполнителя и крупнообломочных включений (частиц крупнее 2 мм); η — содержание крупнообломочных включений, доли единицы; $K_{вк}$ — коэффициент выветрелости.

7. Пески по плотности их сложения подразделяются в зависимости от величины коэффициента пористости e, определенного в лабораторных условиях по образцам, отобранным без нарушения природного сложения грунта, или в зависимости от результатов зондирования грунтов (табл. 5).

8. Глинистые грунты подразделяются на виды в зависимости от числа пластичности (табл. 6).

9. Глинистые грунты различаются по показателю консистенции I_L (табл. 7).

Показатель консистенции определяется по формуле

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P}, \tag{5}$$

где W, W_p и W_L — те же обозначения, что и в п. п. 2 и 6 настоящей главы.

10. Глинистые грунты по удельному сопротивлению пенетрации (Па) подразделяются согласно табл. 8.

Удельное сопротивление пенетрации $P_п$ определяется при погружении в образец грунта конуса с углом при вершине 30° и вычисляется по формуле

$$P_п = \frac{P}{h^2} \tag{6}$$

где P — вертикальное усилие, передаваемое на конус; h — глубина погружения конуса.

Таблица 5

Подразделение песков в зависимости от величины коэффициента пористости (e)

Пески	Плотность сложения песков		
	плотные	средней плотности	рыхлые
А. По коэффициенту пористости e			
Гравелистые крупные и средней крупности	$e<0,55$	$0,55\leqslant e\leqslant 0,7$	$e>0,7$
Мелкие	$e<0,6$	$0,6\leqslant e\leqslant 0,75$	$e>0,75$
Пылеватые	$e<0,6$	$0,6\leqslant e\leqslant 0,8$	$e>0,8$
Б. По сопротивлению погружению конуса P_q, Па при статическом зондировании			
Крупные и средней крупности, независимо от влажности	$P_q>150$	$150\geqslant P_q\geqslant 50$	$P_q<50$
Мелкие, независимо от влажности	$P_q>120$	$120\geqslant P_q\geqslant 40$	$P_q<40$
Пылеватые:			
маловлажные и влажные	$P_q>100$	$100\geqslant P_q\geqslant 30$	$P_q<30$
водонасыщенные	$P_q>70$	$70\geqslant P_q\geqslant 20$	$P_q<20$
В. По условному динамическому сопротивлению погружению конуса $P_д$, Па при динамическом зондировании			
Крупные и средней крупности, независимо от влажности	$P_д>125$	$125\geqslant P_д\geqslant 35$	$P_д<35$
Мелкие:			
маловлажные и влажные	$P_д>100$	$110\geqslant P_д\geqslant 30$	$P_д<30$
водонасыщенные	$P_д>85$	$85\geqslant P_д\geqslant 20$	$P_д<20$
маловлажные и влажные	$P_д>85$	$85\geqslant P_д\geqslant 20$	$P_д<20$

Примечания: 1. Для определения плотности пылеватых водонасыщенных песков динамическое зондирование не допускается. 2. При зондировании грунтов используется конус с углом при вершине 60° и диаметром 36 мм при статическом и 74 мм — при динамическом зондировании.

Таблица 6

Подразделение глинистых грунтов в зависимости от числа пластичности

Глинистые грунты	Число пластичности, I
Супесь	$0,01\leqslant I\leqslant 0,07$
Суглинок	$0,07<I\leqslant 0,17$
Глина	$I>0,17$

Примечания: 1. При наличии в глинистых грунтах частиц крупнее 2 мм к наименованию грунта по *табл. 6 должны прибавляться термины* «с галькой» («со щебнем») или «с гравием» («с дресвой»), если содержание соответствующих частиц составляет 15—25% по массе и «галечниковый» («щебенистый») или «гравелистый» («дресвянистый»), если содержание этих частиц в грунте превышает 25—50%.

2. Если содержание частиц крупнее 2 мм превышает 50% по массе, то грунты должны быть отнесены к крупнообломочным.

11. Среди глинистых грунтов должны выделяться илы (п. 12), просадочные грунты (п. п. 13—14) и набухающие грунты (п. п. 15 и 16 настоящей главы).

12. *К илам относятся глинистые грунты*, образовавшиеся в начальной стадии своего формирования как структурный осадок в воде при наличии микробиологических процессов и имеющие в природном сложении влажность, превышающую влажность на границе текучести, а также коэффициент пористости, превышающий значения, указанные в табл. 9.

13. К просадочным грунтам относятся глинистые, которые под действием внешней нагрузки или собственной массы при замачивании водой дают дополнительную осадку (просадку).

При предварительной оценке к просадочным обычно относятся лёссы и лёссовидные грунты (а также некоторые виды покровных глинистых грунтов) со степенью влажности $G<0,8$, для которых величина показателя П, определяемого по формуле (7), меньше значений, приведенных в табл. 10.

$$\text{П}=\frac{e_L-e}{1+e}, \qquad (7)$$

где e — коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности; l_L — коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести W_L и определяемый по формуле.

$$e_L = W_L \frac{\gamma_s}{\gamma_w}, \qquad (8)$$

где γ_s и γ_w — значения те же, что и в формуле (3).

Таблица 7

Подразделение глинистых грунтов по показателю консистенции

Глинистые грунты по показателю консистенции	Показатель консистенции
Супеси:	
твердые	$I_L < 0$
пластичные	$0 \leqslant I_L \leqslant 1$
текучие	$I_L > 1$
Суглинки и глины:	
твердые	$I_L < 0$
полутвердые	$0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$
тугопластичные	$0{,}25 < I_L \leqslant 0{,}50$
мягкопластичные	$0{,}50 < I_L \leqslant 0{,}75$
текучепластичные	$0{,}75 < I_L \leqslant 1$
текучие	$I_L > 1$

Таблица 8

Подразделение глинистых грунтов по удельному сопротивлению пенетрации

Глинистые грунты	Сопротивление пенетрации $P_п$, Па
Очень прочные	$P_п \geqslant 2$
Прочные	$2 > P_п \geqslant 1$
Средней прочности	$1 > P_п \geqslant 0{,}5$
Слабые	$P_п < 0{,}5$

14. Просадочные грунты характеризуются относительной просадочностью и начальным просадочным давлением.

Относительная просадочность грунта определяется по формуле

$$\delta_{пр} = \frac{h' - h_{пр}}{h_0}, \qquad (9)$$

где h' — высота образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового давления P, равного действующему на рассматриваемой глубине, от собственной массы грунта и нагрузки от фундамента или только от массы грунта в зависимости от вида рассчитываемых деформаций $S_{пр}$, $S_{пр\,гр}$; $h_{пр}$ — высота того же образца после замачивания его до полного водонасыщения при сохранении давления P; h_0 — высота того же образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового давления, равного давлению от собственной массы грунта на рассматриваемой глубине.

Таблица 9

Значения коэффициента пористости для илов

Илы	Коэффициент пористости
Супесчаный	$e \geqslant 0{,}9$
Суглинистый	$e \geqslant 1$
Глинистый	$e \geqslant 1{,}5$

Таблица 10

Число пластичности грунта	$0{,}01 \leqslant I < 0{,}1$	$0{,}1 \leqslant I < 0{,}14$	$0{,}14 \leqslant I < 0{,}22$
Показатель П	0,1	0,17	0,24

Начальное просадочное давление $P_{пр}$ представляет собой минимальное давление, при котором проявляются просадочные свойства грунта в условиях его полного водонасыщения.

За начальное просадочное давление $P_{пр}$ принимается такое, которое соответствует: а) при лабораторных испытаниях грунтов в компрессионных приборах — давлению, при котором относительная просадочность $\delta_{пр} = 0{,}01$; б) при полевых испытаниях штампами предварительно замоченных грунтов — давлению, равному пределу пропорциональной зависимости на графике штамп — нагрузка; в) при замачивании грунтов в опытных котлованах — природному давлению на глубине, начиная с которой происходит просадка грунта.

15. К набухающим грунтам относятся глинистые грунты, которые при замачивании водой или химическими растворами увеличиваются в объеме, и при этом величина относительного набухания в условиях свободного набухания (без нагрузки) $\delta_н \geqslant 0{,}04$.

Относительное набухание грунта $\delta_н$ в условиях свободного набухания определяется по формуле

$$\delta_н = \frac{h_{нс} - h}{h_н}, \qquad (10)$$

где $h_{нс}$ — высота образца после его свободного набухания в условиях отсутствия бокового расширения в результате замачивания до полного водонасыщения; h — начальная высота образца природной влажности.

При предварительной оценке к набухающим от замачивания водой относятся глинистые грунты, для которых значение определяемого по формуле (7) показателя $П \geqslant 0{,}3$.

16. Набухающие грунты характеризуются величинами давления набухания $P_н$, влажности набухания $W_н$ и относительной усадки при высыхании $\delta_у$.

За давление набухания $P_н$ принимается давление на образец грунта, замачиваемого и обжимаемого без возможности бокового расширения, при котором деформации набухания равны нулю.

За влажность набухания грунта $W_н$ принимается влажность, полученная после завершения набухания образца грунта, обжимаемого без воможности бокового расширения заданным давлением.

Относительная усадка при высыхании грунта определяется по формуле

$$\delta_у = \frac{h_н - h_у}{h_н}, \qquad (11)$$

где $h_н$ — высота образца грунта при обжатии его давлением без возможности бокового расширения; $h_у$ — высота образца при том же давлении после уменьшения влажности в результате высыхания.

17. Среди полускальных и всех видов нескальных грунтов должны выделяться засоленные грунты. К засоленным относятся такие грунты, в которых суммарное содержание легкорастворимых и среднерастворимых солей не меньше величин, указанных в табл. 11.

Таблица 11

Минимальное суммарное содержание легко- и среднерастворимых солей

Засоленные грунты	В % от массы воздушно-сухого грунта
Засоленный полускальный	2
Засоленный крупнообломочный:	
при содержании песчаного заполнителя менее 40% или глинистого менее 30%	2
при содержании песчаного заполнителя более 40%	0,5
при содержании глинистого заполнителя более 30%	5
Засоленный песчаный	0,5
Засоленный глинистый:	
супеси и суглинки просадочные (лёссы и лёссовидные грунты)	1 (или 0,3), если имеются только легкорастворимые соли
супеси и суглинки непросадочные	5

Примечание. К легкорастворимым солям относятся: хлориды NaCl, KCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$; бикарбонаты $NaHCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, карбонат натрия Na_2CO_3; сульфаты магния и натрия $MgSO_4$. К среднерастворимым солям относится гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

18. Все виды грунтов, имеющие отрицательную температуру и содержащие в своем составе лед, относятся к мерзлым грунтам, и если они находятся в мерзлом состоянии в течение многих лет (от трех и более), то к многолетнемерзлым.

Наименование видов мерзлых и вечномерзлых грунтов определяют после их оттаивания по номенклатуре настоящей главы.

Дополнительные характеристики мерзлых и многолетнемерзлых грунтов определяют в соответствии с главой СНиП по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах.

19. Данные исследования песчаных и глинистых грунтов должны содержать сведения о наличии растительных остатков, если относительное их содержание по массе в песчаном грунте $q>0{,}03$, а в глинистом $q>0{,}05$.

Относительное содержание q растительных остатков в грунте (степень заторфованности) определяется как отношение их массы в образце грунта, высушенного при температуре 100—105° С, к массе его минеральной части.

В зависимости от величины q грунтам присваиваются дополнительные наименования (табл. 12).

Таблица 12

Песчаные и глинистые грунты, содержащие растительные остатки

Грунты	Относительное содержание растительных остатков (степень заторфованности)
А. С примесью растительных остатков	
Песчаные с примесью растительных остатков	$0{,}03<q\leqslant 0{,}1$
Глинистые с примесью растительных остатков	$0{,}05<q\leqslant 0{,}1$
Б. Заторфованные	
Слабозаторфованные	$0{,}1<q\leqslant 0{,}25$
Среднезаторфованные	$0{,}25<q\leqslant 0{,}4$
Сильнозаторфованные	$0{,}4<q\leqslant 0{,}6$
Торфы	$q>0{,}6$

Примечание. Наименование вида песчаного и глинистого грунта, содержащего растительные остатки, устанавливается по указаниям п. п. 2.4 и 2.8 настоящей главы по минеральной части грунта после удаления растительных остатков.

Заторфованные грунты характеризуются также степенью разложения, которая показывает содержание в общем объеме пробы заторфованного грунта продуктов распада растительных тканей.

20. Среди нескальных грунтов должны выделяться грунты искусственного происхождения или сложения. К грунтам искусственного происхождения или сложения относятся насыпные, а также естественного происхождения, закрепленные и уплотненные различными методами.

21. Насыпные грунты подразделяются согласно табл. 13.

22. Закрепленные грунты подразделяются по методу закрепления, выполняемого для повышения прочности, снижения сжимаемости и фильтрационной способности грунтов (селикатизация, смолизация, цементация, битумизация, глинизация, термическое закрепление и т. п.).

Закрепленные грунты в зависимости от целей закрепления характеризуются прочностью, сжимаемостью и фильтрационной способностью после их закрепления.

Уплотненные грунты подразделяются по методу уплотнения (укатка, трамбование, взрыв и т. п.) и характеризуются плотностью сложения после уплотнения.

Наименования закрепленного и уплотненного грунта должны включать название грунта в природном сложении в соответствии с табл. 2 и 6 и указание о методе закрепления или уплотнения.

Таблица 13

Подразделение насыпных грунтов

Критерии для подразделения насыпных грунтов	Характеристика грунтов
А. По способу укладки	Отсыпанные сухим способом (автомобильным или железнодорожным транспортом, скреперами, бульдозерами и т. п.)
	Намытые (образованные с помощью гидромеханизации)
Б. Однородности состава и сложения	Планомерно возведенные насыпи (обратные засыпки) и подсыпки (подсушки). Характеризуются практически однородным составом, сложением и равномерной сжимаемостью. Отвалы грунтов и отходов производств. Характеризуются практически однородным составом и сложением, но имеют неравномерную плотность и сжимаемость
	Свалки грунтов, отходов производств и бытовых отбросов. Характеризуются неоднородным составом и сложением, неравномерной плотностью и сжимаемостью, а также содержанием органических включений
В. По виду исходного материала, *составляющего основную* часть насыпи	Естественные грунты: крупнообломочные, песчаные, *глинистые*
	Отходы производств: шлаки, золы, формовочная земля, хвосты обогатительных фабрик и т. п.
	Бытовые отходы
Г. По степени уплотнения	Слежавшиеся — процесс уплотнения
	Неслежавшиеся — процесс уплотнения продолжается

ПРИЛОЖЕНИЕ II

НОМЕНКЛАТУРА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ (по СНиП II—18—76)

2.1. Грунты всех видов относятся к мерзлым, если имеют отрицательную температуру и содержат в своем составе лед. Грунты относятся к вечномерзлым, если находятся в мерзлом состоянии в течение многих лет (от трех и более).

Поверхностный слой грунта, замерзающий зимой и оттаивающий летом, различается как слой сезонного промерзания или сезонного оттаивания.

2.2. Наименование видов мерзлых грунтов должно приниматься согласно номенклатуре грунтов, установленной главой СНиП П—15—74 «Основания зданий и сооружений», в соответствии с характеристиками, которые грунты приобретают после оттаивания, а также с учетом указаний п. 2.3 настоящей главы.

2.3. Среди *вечномерзлых грунтов должны выделяться сильнольдистые, засоленные*, а также грунты с примесью растительных остатков, различаемые по степени заторфованности.

К сильнольдистым вечномерзлым грунтам относятся грунты, льдистость которых за счет включений льда $Л_в$ (п. 2.7 настоящей главы) больше 0,4.

К засоленным вечномерзлым грунтам при их использовании в качестве оснований в мерзлом состоянии относятся грунты, в составе которых содержатся легкорастворимые соли в количестве, определяемом засоленностью Z (п. 2.11 настоящей главы) и превышающем следующие значения, %:

для песков	0,1
„ супесей	0,15
„ суглинков	0,2
„ *глин*	*0,25*
„ крупнообломочных грунтов	по соответствущей характеристике засоленности заполнителя

Примечания: 1. Пылеватые пески морского побережья Севера относятся к засоленным, если $Z \geqslant 0{,}05\%$.

2. Засоленность вечномерзлых грунтов в случае их использования в качестве основания в оттаявшем состоянии (п. 3.2 настоящей главы) должна определяться по п. 2.17 главы СНиП П—15—74).

Относительное содержание растительных остатков q (степень заторфованности) и подразделение вечномерзлых грунтов в зависимости от величины q должны приниматься в соответствии с требованиями п. 2.19 главы СНиП П—15—74.

2.4. Вечномерзлые грунты по степени цементации их льдом и по реологическим свойствам подразделяются на твердомерзлые, пластичномерзлые и сыпучемерзлые.

К твердомерзлым относятся грунты, прочно сцементированные льдом и характеризуемые относительно хрупким разрушением и практической несжимаемостью под нагрузками от зданий и сооружений — с коэффициентом сжимаемости $a \leqslant 0{,}01$ МПа$^{-1}$. К твердомерзлым относятся крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты, если их температура ниже значения $t^{т}$, характеризующего переход грунта из пластичного в твердомерзлое состояние и равного, °С:

для крупнообломочных грунтов	0
для песков крупных и средней крупности . . .	—0,1
для песков мелких и пылеватых	—0,3
для супесей	—0,6
„ для суглинков	—1
„ для глин	—1,5

Грунты со степенью заторфованности $q \leqslant 0{,}25$ относятся к твердомерзлым, если их температура $t^{т}_{затф}$ ниже значения $(Kq + t^{т})$, где K — температурная поправка, соответственно равная: для песчаных грунтов с примесью растительных остатков и заторфованных — минус 10° С; для глинистых грунтов с примесью растительных остатков и заторфованных — минус 5° С.

К пластичномерзлым относятся грунты, сцементированные льдом, но обладающие вязкими свойствами и характеризуемые сжимаемостью под нагрузками от здания и сооружения ($a > 0{,}01$ МПа$^{-1}$); к пластичномерзлым относятся песчаные и глинистые грунты со степенью заполнения объема пор грунта льдом и незамерзшей водой $G \geqslant 0{,}8$ (п. 2.9 настоящей главы), если их температура находится в пределах от температуры начала замерзания грунта $t_{н.з.}$ (п. 2.13 настоящей главы) до значения $t^{х}$, а также все грунты со степенью заторфованности $> 0{,}25$. Состояние песчаных и глинистых грунтов при $G < 0{,}8$, а также состояние засоленных грунтов устанавливается на основе результатов опытного определения коэффициента сжимаемости a.

К сыпучемерзлым относятся грунты крупнообломочные и песчаные, не сцементированные льдом вследствие малой их влажности; суммарная влажность таких грунтов составляет $W_{с} \leqslant 0{,}03$ (п. 2.7 настоящей главы).

2.5. При использовании в качестве оснований сыпучемерзлых и монолитных скальных грунтов, как правило, не меняющих свои прочностные свойства и не дающих осадки при изменении отрицательной температуры грунта на положительную, следует руководствоваться главой СНиП 11—15—74.

Мерзлые крупнообломочные и трещиноватые скальные грунты, трещины, пустоты и поры которых заполнены льдом, а также выветрелые скальные грунты, сохранившие свою структуру, но содержащие замерзшую влагу, как правило, меняют свои прочностные свойства и дают осадки при оттаивании, что должно определяться при изысканиях и учитываться при проектировании оснований и фундаментов на таких грунтах.

2.6. Для мерзлых грунтов дополнительно к характеристикам грунтов, регламентируемым главой СНиП П—15—74, должны определяться:

а) суммарная влажность $W_{с}$ и суммарная льдистость $Л_{с}$ (п. 2.7 настоящей главы);

б) криогенная текстура (п. 2.8 настоящей главы);

в) степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой (пп. 2.9 и 2.12 настоящей главы);

г) объемная масса скелета мерзлого грунта $\gamma_{ск.м}$ (п. 2.10 настоящей главы);

д) характеристики мерзлых грунтов для расчета оснований и фундаментов на силовые воздействия;

е) характеристики оттаивающих грунтов для расчёта оснований и фундаментов на силовые воздействия;

ж) характеристика грунтов для сезонного промерзания — оттаивания: для расчёта оснований и фундаментов;

з) теплофизические характеристики грунтов: температура начала замерзания воды в порах грунта $t_{н.з.}$, а также коэффициент теплопроводности и объемная теплоемкость грунта в мерзлом и в талом состояниях $\lambda_{м}$, $\lambda_{т}$, $L_{м}$, $C_{т}$;

и) засоленность грунта (п. 2.3 настоящей главы);

к) характеристики агрессивности грунтовых вод к материалу фундаментов (п. 2.15 настоящей главы).

2.7. Суммарная влажность мерзлого грунта $W_{с}$ в долях единицы, определяемая отношением всех видов содержащихся в нем воды и льда к массе скелета грунта (а для засоленных грунтов — к массе скелета грунта и содержащихся в нем солей), равна:

$$W_{с} = W_{в} + W_{ц} + W_{н} = W_{в} + W_{г}, \qquad (1)$$

где $W_в$ — влажность мерзлого грунта за счет ледяных включений, т. е. линз и прослоек льда; $W_ц$ — влажность мерзлого грунта за счёт порового льда, т. е. льда, находящегося в его порах и цементирующего минеральные частицы грунта (льда—цемента); $W_н$ — влажность мерзлого грунта за счет содержащейся в нем при данной температуре незамерзшей воды; $W_г$ — влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями ($W_г = W_с + W_н$). Значения $W_с$, $W_в$, $W_ц$, $W_н$ и $W_г$ выражаются в долях единицы, причем $W_с$, $W_в$, $W_н$ и $W_г$ определяются опытным путем, а $W_ц$ — вычисляется из формулы (1). Значение $W_в$ также допускается вычислять из формулы (1), а $W_н$ — согласно указаниям п. 2.12 настоящей главы.

Суммарная льдистость мерзлого грунта $Л_с$ в долях единицы, определяемая отношением содержащегося в нем объема льда к объему мерзлого грунта, равна:

$$Л_с = Л_в + Л_ц = \frac{\gamma_м (W_с - W_к)}{\gamma_л (1 + W_с)}, \quad (2)$$

где $Л_в$ — льдистость грунта за счёт ледяных включений в долях единицы, определяемая по формуле

$$Л_в = \frac{\gamma_с W_в}{\gamma_л + \gamma_л (W_с \cdot 0{,}1 W_н)}, \quad (3)$$

где $Л_ц$ — льдистость грунта за счет порового льда в долях единицы; $\lambda_м$ — объемная масса грунта в мерзлом состоянии, кг/см³; $\gamma_с$ — плотность грунта, кг/см³; $\gamma_л$ — плотность льда, принимаемая равной 0,0009 кг/см³; $W_с$, $W_в$ и $W_н$ — значения те же, что и в формуле (1).

2.8. Криогенная текстура, характеризующая строение мерзлого грунта, расположение, форму и величину ледяных включений, подразделяется на массивную (при $Л_в < 0{,}03$) и слоисто-сетчатую (при $Л_в > 0{,}03$) текстуры.

К грунтам с массивной криогенной текстурой относятся мерзлые грунты, содержащие только поровый лед. К грунтам со слоисто-сетчатой криогенной текстурой относятся мерзлые грунты, содержащие лед в виде включений различных форм и размеров; при этом различаются текстуры параллельно-слоистая и сетчатая.

Допускается вводить в описаниях мерзлых грунтов дополнительные виды криогенной текстуры, если они уточняют оценку строительных свойств грунтов, учитываемых в расчетах оснований.

2.9. Степень заполнения льдом и незамерзшей водой пор мерзлого грунта G, расположенного между ледяными прослойками, определяется по формуле

$$G \frac{(1{,}1 W_ц + W_н)\gamma_с}{E_м \gamma_м}, \quad (4)$$

где $W_ц$, $W_н$ и $\gamma_с$ — значения те же, что и в формулах (1) и (3); $E_м$ — коэффициент пористости мерзлого грунта; $\gamma_м$ — плотность воды, принимаемая равной 0,001 кг/см³.

2.10. Объемная масса скелета мерзлого грунта $\gamma_{ск.м}$ равна массе сухого грунта в единице объема мерзлого грунта.

2.11. Засоленные мерзлые грунты характеризуются его засоленностью Z и концентрацией порового раствора $k_{п.р}$.

Засоленность мерзлого грунта Z (%) определяется как отношение массы легкорастворимых солей q_z, содержащихся в единице объема грунта, к объемной массе скелета $\gamma_{ск.м}$ по формуле

$$Z = \frac{q_z}{\gamma_{ск \cdot м}} \cdot 100. \quad (5)$$

Концентрация порового раствора $k_{п.р}$ характеризуется степенью минерализации воды в порах грунта и определяется по формуле

$$k_{пр} = \frac{Z}{Z + 100 W_г}, \quad (6)$$

где $W_г$ принимается по указаниям п. 2.7 настоящей главы.

2.12. Количество незамерзшей воды в мерзлых грунтах $W_н$, если отсутствуют опытные данные, допускается для всех видов грунтов, включая грунты с примесью растительных остатков (при $q \leqslant 0{,}1$) и засоленные, определять по формуле

$$W_н = k_w W_р + 0{,}9 \frac{k_{п \cdot р}}{k_р} W_г, \quad (7)$$

где $W_р$ — влажность грунта на границе раскатывания в долях единицы; k_w — коэффициент, принимаемый по табл. 1 в зависимости от числа пластичности $I_р$ и температуры грунта; $k_{п.р}$ — концентрация порового раствора в засоленном грунте, определяемая по указаниям п. 2.11 настоящей главы; $k_р$ — равновесная концентрация порового раствора в засоленном грунте, определяемая опытным путем, а при отсутствии опытных данных допускается принимать по табл. 2 (только для значений температур ниже температуры начала замерзания грунта); $W_г$ — влажность грунта (п. 2.7 настоящей главы).

Примечание. Количество незамерзшей воды в заторфованных грунтах и торфе определяется опытным путем.

2.13. Температура начала замерзания всех грунтов $t_{н.з}$ должна определяться опытным путем. При отсутствии опытных данных температуру $t_{н.з}$ допускается принимать для минеральных грунтов по табл. 3, а для грунтов с примесью растительных остатков, заторфованных и для торфа — по табл. 4.

2.14. Теплофизические характеристики — коэффициент теплопроводности и объемная теплоемкость минеральных грунтов с примесью растительных остатков и заторфованных, а также торфов в мерзлом состоянии $\lambda_м$, $C_м$ и в талом состоянии $\lambda_т$, $C_т$ — следует определять по данным прил. 1 к настоящей главе.

2.15. Грунтовые воды в районах распространения вечномерзлых грунтов подразделяются: на надмерзлотные, находящиеся в слоях грунта выше верхней поверхности вечномерзлых грунтов, включая и слой сезонного промерзания — оттаивания; на межмерзлотные, движущиеся по талым слоям в толще вечномерзлого грунта; на подмерзлотные, находящиеся ниже толщи вечномерзлых грунтов.

Грунтовые воды также должны характеризоваться по степени агрессивности к материалу фундаментов в соответствии с главой СНиП П—28—73 «Защита строительных конструкций от коррозии» и по гидростатическому уровню грунтовых вод.

Таблица 1

Грунты	Число пластичности грунтов $I_р$	Коэффициент при температуре грунта, °С								
		—0,3	—0,5	—1	—2	—3	—4	—6	—8	—10
Пески и супеси	$\leqslant$ 0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Супеси	0,02 — 0,07	0,6	0,5	0,4	0,35	0,33	0,3	0,28	0,26	0,25
Суглинки	0,07 — 0,13	0,7	0,65	0,6	0,5	0,48	0,45	0,43	0,41	0,4
	0,13 — 0,17	ж	0,75	0,65	0,56	0,53	0,5	0,48	0,46	0,45
Глины	$>$ 0,17	ж	0,95	0,9	0,65	0,63	0,6	0,58	0,56	0,55

Примечание. Знаком «ж» обозначено, что вся вода в порах грунта незамерзшая.

Таблица 2

Температура грунта t, °С	—0,3	—0,5	—1	—2	—3	—4	—6	—8	—10
Равновесная концентрация порового раствора в долях единицы	0,003	0,005	0,012	0,026	0,045	0,062	0,100	0,135	0,168

Таблица 3

Грунты	Температура начала замерзания грунта $t_{н.з}$, °С, при концентрации парового раствора $k_{п.р}$					
	0	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04
Песчаные	0	—0,6	—0,8	—1,6	—2,2	—2,8
Глинистые:						
а) супеси	—0,1	—0,6	—0,9	—1,7	—2,3	—2,9
б) суглинки и глины	—0,2	—0,6	—1,1	—1,8	—2,5	—3,2

Таблица 4

Грунты	Температура начала замерзания грунта при объемной массе мерзлого грунта, г/см³			
	0,8	1	1,2	1,4
Песчаные с примесью растительных остатков и заторфованные (при $q \leqslant 0{,}6$)	—	—0,3	—0,3	—0,2
Глинистые с примесью растительных остатков и заторфованные (при $q \leqslant 0{,}6$)	—	—0,3	—0,4	—0,5
Торф (при $q > 0{,}6$)	—0,3	—0,4	—	—

НОМОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ГЛУБИН СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ — ПРОМЕРЗАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ СДВИЖКИ

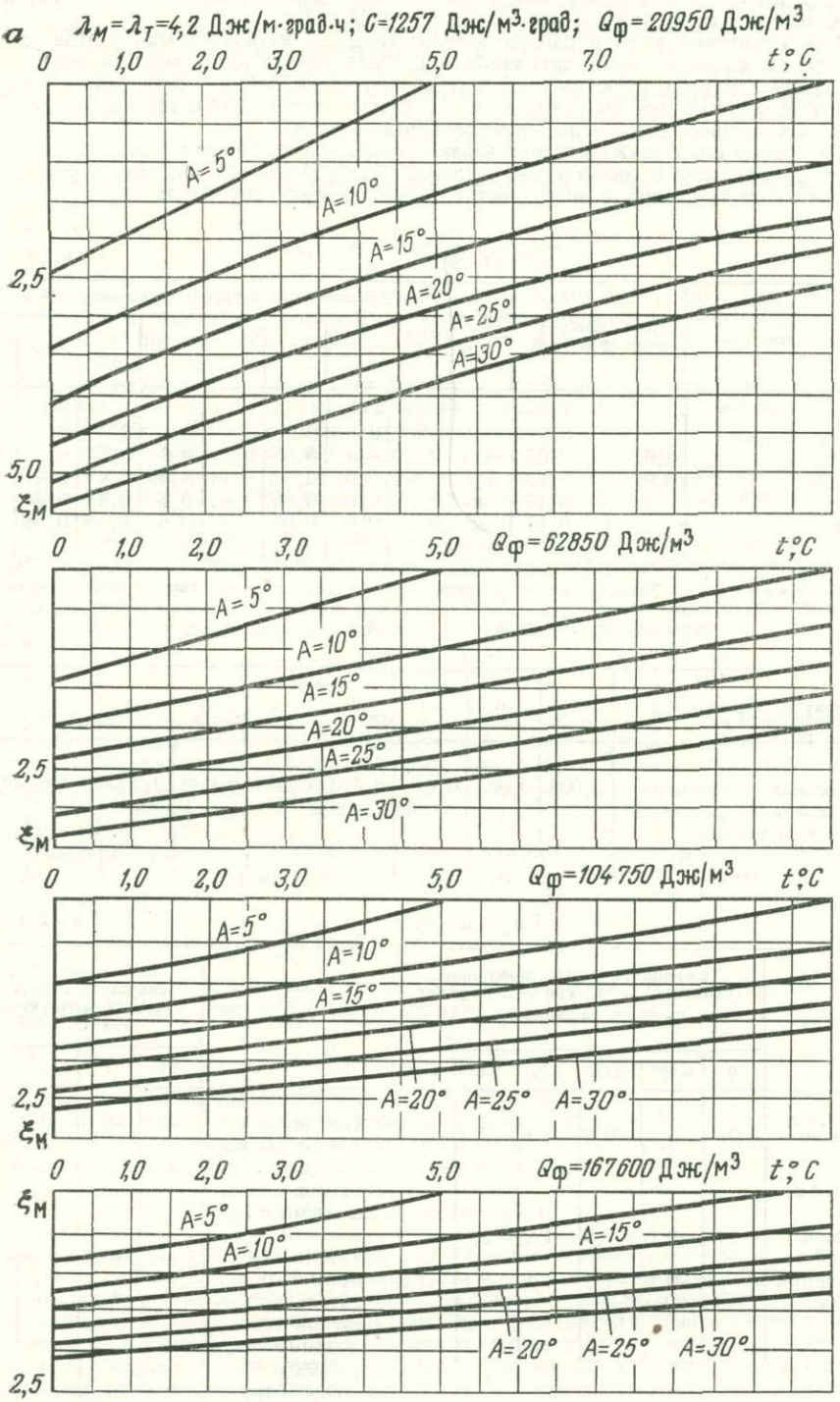
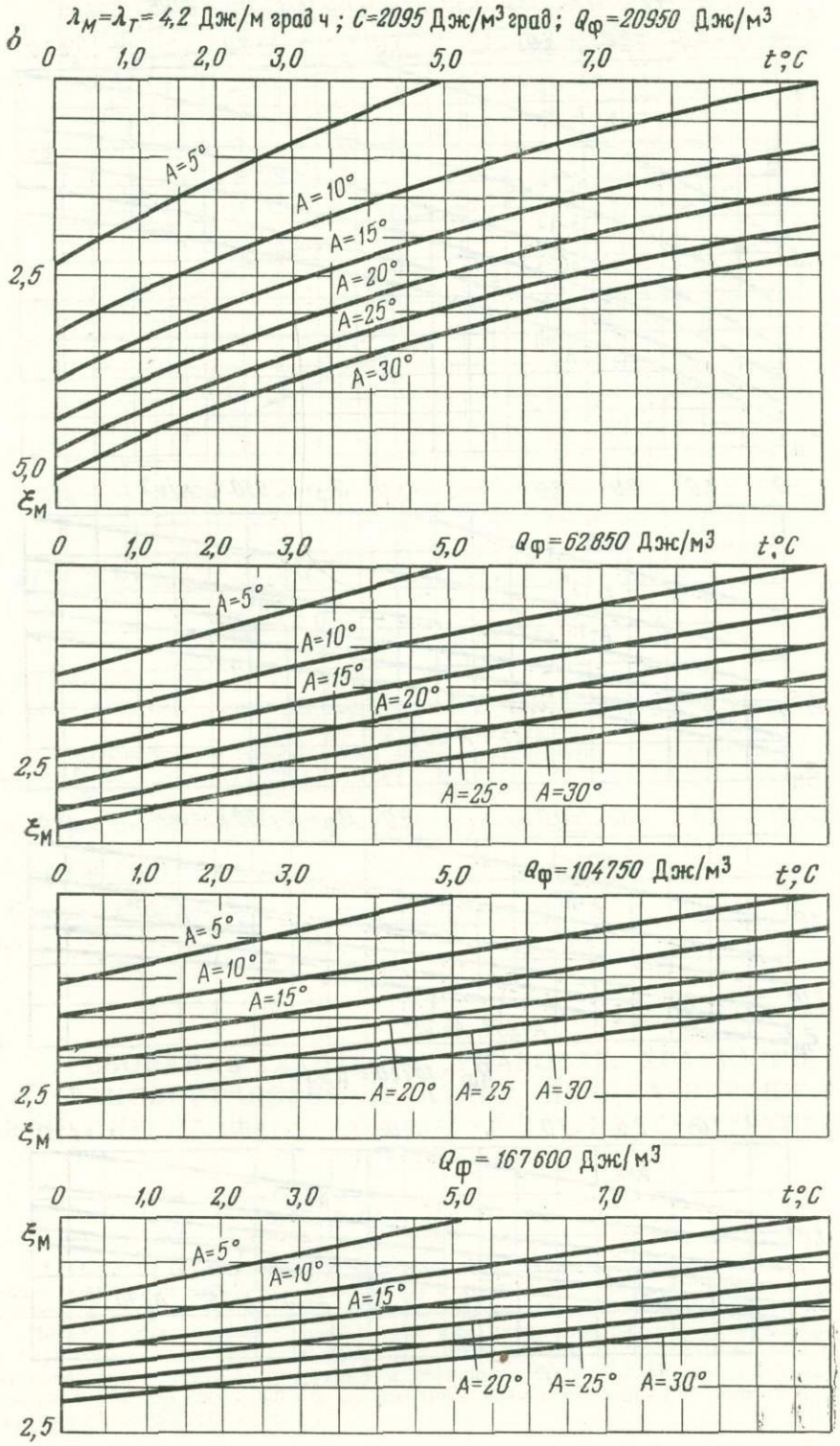
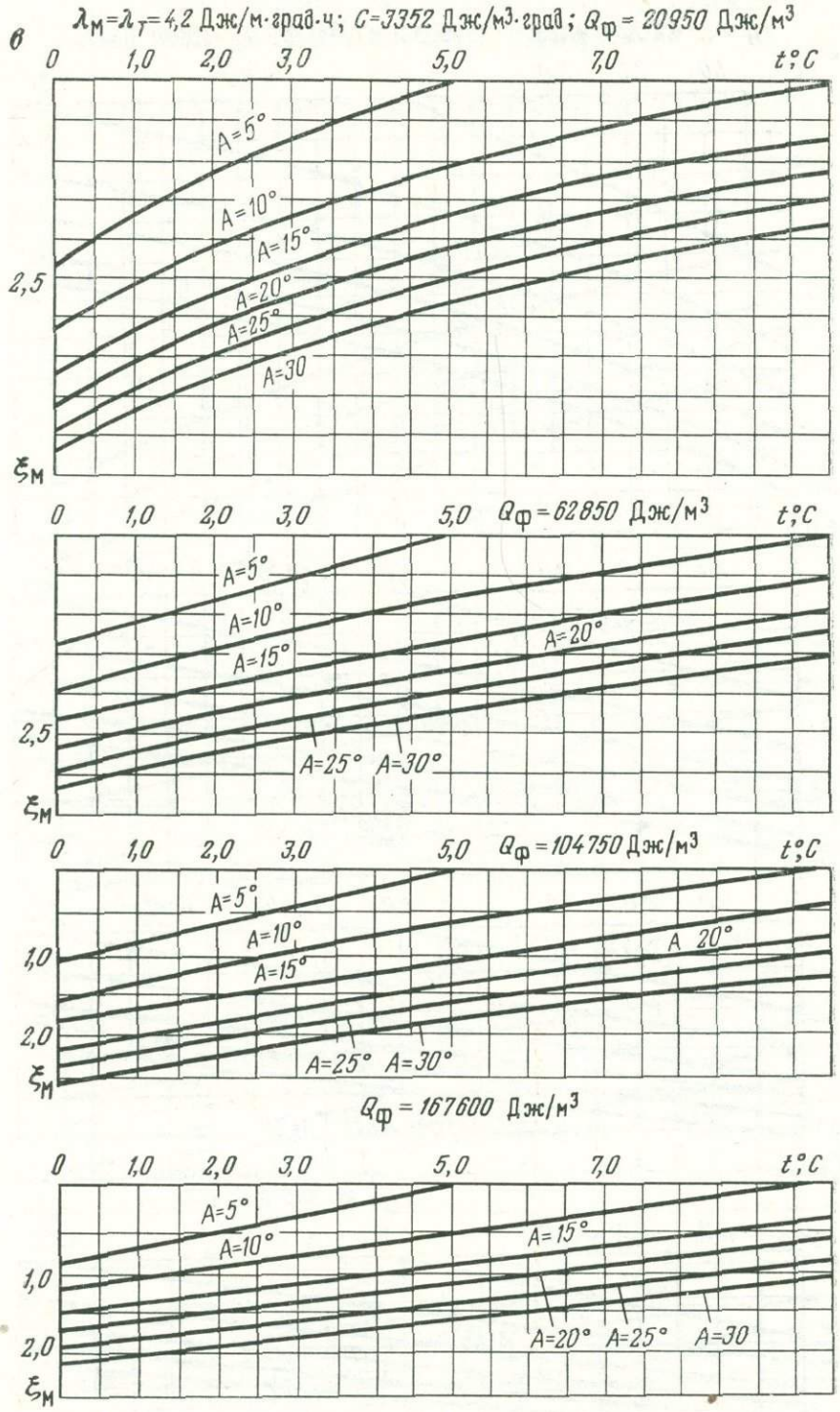


Рис. 1 (приложение III).
Номограмма расчета глубин сезонного промерзания и протаивания пород. Составлена В. А. Кудрявцевым и В. Г. Меламедом


$\lambda_м=\lambda_т=4{,}2$ Дж/м град ч ; $C=2095$ Дж/м³ град ; $Q_ф=20950$ Дж/м³
б
0
1,0
2,0
3,0
5,0
7,0
t°C
A=5°
A=10°
A=15°
A=20°
A=25°
A=30°
2,5
5,0
ξм
$Q_ф=62850$ Дж/м³
$Q_ф=104750$ Дж/м³
$Q_ф=167600$ Дж/м³


в
$\lambda_м = \lambda_т = 4{,}2$ Дж/м·град·ч; $C = 3352$ Дж/м³·град; $Q_ф = 20950$ Дж/м³
0 1,0 2,0 3,0 5,0 7,0 t°C
A=5°
A=10°
A=15°
A=20°
A=25°
A=30
2,5
$\xi_м$
0 1,0 2,0 3,0 5,0 $Q_ф = 62850$ Дж/м³ t°C
A=5°
A=10°
A=15°
A=20°
A=25° A=30°
2,5
$\xi_м$
0 1,0 2,0 3,0 5,0 $Q_ф = 104750$ Дж/м³ t°C
A=5°
A=10°
A=15°
A 20°
1,0
2,0
A=25° A=30°
$\xi_м$
$Q_ф = 167600$ Дж/м³
0 1,0 2,0 3,0 5,0 7,0 t°C
A=5°
A=10°
A=15°
1,0
2,0
A=20° A=25° A=30
$\xi_м$

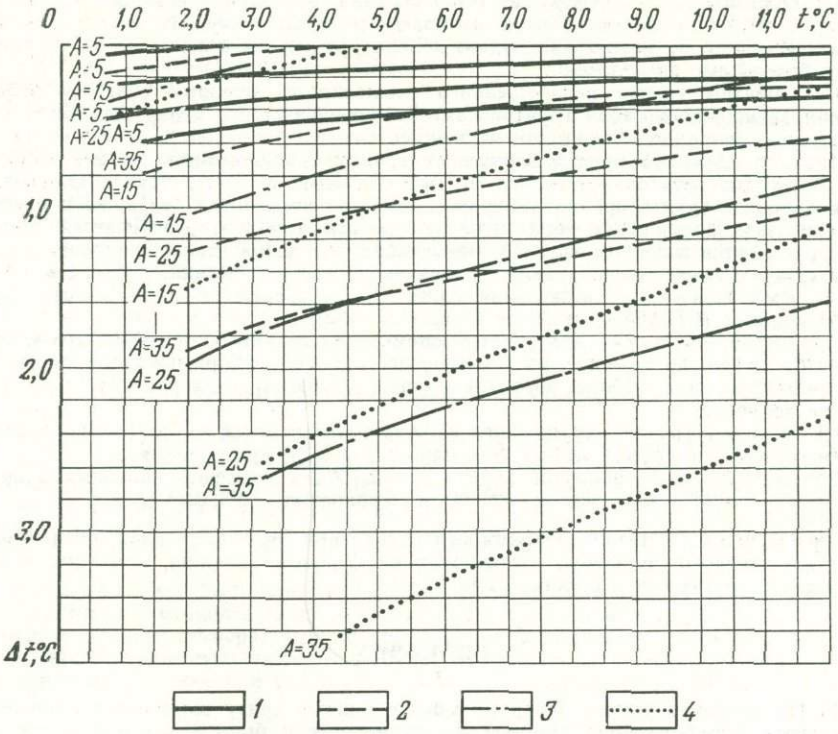


Рис. 2 (приложение III).

Номограмма для определения величины температурной сдвижки в слое сезонного промерзания (протаивания) пород:

1 — температурная сдвижка в слое сезонного промерзания (протаивания) при: $Q=20\,950\ \frac{кДж}{м^3}$, $\lambda_м=3{,}6\ \frac{кДж}{м\ град.\ ч}$, $\lambda_т=3{,}4\ \frac{кДж}{м\ град.\ ч}$;

2 — то же, при: $Q=62\,850\ \frac{кДж}{м^3}$, $\lambda_м=5{,}0\ \frac{кДж}{м\ град.\ ч}$, $\lambda_т=4{,}2\ \frac{кДж}{м\ град.\ ч}$;

3 — то же, при: $Q=104\,750\ \frac{кДж}{м^3}$, $\lambda_м=7{,}1\ \frac{кДж}{м\ град.\ ч}$, $\lambda_т=5{,}5\ \frac{кДж}{м\ град.\ ч}$;

4 — то же, при: $Q=146\,650\ \frac{кДж}{м^3}$, $\lambda_м=8{,}0\ \frac{кДж}{м\ град.\ ч}$, $\lambda_т=$ $\frac{кДж}{м\ град.\ ч}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

ТРЕБОВАНИЯ К ОТБОРУ, УПАКОВКЕ, ХРАНЕНИЮ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ ОБРАЗЦОВ, ПРЕДНАЗНАЧАЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ГРУНТОВ (ГОСТ 12071—66)

ОТБОР ОБРАЗЦОВ ГРУНТА

1.1. Образцы грунта ненарушенного сложения, включая и многолетнемерзлые, требующие сохранения мерзлого состояния, из открытых выработок (шурфов, котлованов, расчисток и т. п.) отбирают из зачищенных стен или со дна выработки.

Образцы должны иметь форму куба или параллелепипеда с размерами сторон для грунтов не менее: а) скальных — 100×100×100 мм; б) крупнообломочных, сцементированных мерзлотой: дресвяных и гравийных 200×200×200 мм, щебенистых и галечниковых — 300×300×300 мм; в) песчаных, сцементированных мерзлотой, и глинистых грунтов — 200×200×200 мм.

Примечание. Допускается при возникающих затруднениях производить отбор образцов произвольной формы с сохранением указанных размеров сторон как минимальных.

1.2. Образцы грунта ненарушенного сложения, не сохраняющие форму без жесткой тары, из открытых выработок отбирают методом режущего кольца по ГОСТ 5182—64. Внутренний диаметр режущего кольца должен быть не менее 80 мм при высоте не более двух диаметров.

1.3. Образцы грунта ненарушенного сложения из буровых скважин отбирают с уровня зачищенного забоя грунтоносами, обеспечивающими ненарушенное сложение и сохранение природной влажности образцов.

Диаметр образцов крупнообломочных грунтов должен быть не менее 200 мм, остальных видов грунтов — не менее 80 мм при высоте не более двух диаметров. Для отбора образцов грунта проходку буровых скважин производят без воды и растворов с перекрытием водоносных горизонтов обсадными трубами. Допускается проходка скважин в водонасыщенных грунтах, требующих крепления стенок скважин, с применением глинистого раствора, имеющего следующие характеристики: плотность — не менее 1,2 г/см^3; содержание песка — не более 4%; условная вязкость по стандартной полевой воронке (СПВ-5) — от 30 до 35 с.

При бурении скважин допускается применение забивных и вибропогружных инструментов только до глубины, на 1 м меньшей глубины отбора образцов грунта.

Применение для отбора образцов грунта забивных и вибропогружных грунтоносов не допускается.

1.4. Образцы грунта нарушенного сложения отбираются из открытых выработок и буровых скважин из зачищенных стен или со дна выработки (забоя).

Объем отбираемых образцов грунта должен быть не менее: скальных и крупнообломочных — 2000 см^3; песчаных — 1000 см^3; глинистых — 500 см^3.

Примечание. При необходимости сохранения природной влажности образцов грунта нарушенного сложения, отбираемых из буровых скважин, проходку скважин производят в соответствии с указаниями п. 1.3.

УПАКОВКА

2.1 На образцах грунта ненарушенного сложения сразу же после их извлечения из открытых выработок или буровых скважин должен быть намечен верх. В целях сохранения природной влажности образцы немедленно изолируются от наружного воздуха следующим образом.

А. Образцы грунта, отбираемые без жесткой тары, парафинируют, туго обматывая слоем марли, предварительно пропитанной расплавленным парафином. Затем покрывают весь образец в марле еще одним слоем парафина, обматывают вторым слоем марли (также пропитанной парафином) и еще раз покрывают слоем парафина. До парафинирования на верхнюю грань образца кладут этикетку (см. п. 2.5), завернутую в кальку, которую покрывают парафином; второй экземпляр этикетки, смоченной расплавленным парафином, прикрепляют сверху запарафинированного образца и также покрывают тонким слоем парафина.

Б. Образцы грунта, отбираемые в жесткую тару (п. п. 1.2 и 1.3), упаковывают в этой же таре. Открытые торцы закрывают жесткими крышками с резиновыми прокладками или заливают расплавленным парафином. В последнем случае перед заливкой парафином на открытые торцы кладут 2—4 слоя марли, пропитанной парафином. На верхнюю грань образцов между резиной и крышкой или между слоями парафина кладут этикетку (см. п. 2.5). Вторую этикетку прикрепляют на поверхности жесткой тары.

2.2 Парафин, применяемый для изоляции образцов грунта, должен иметь температуру несколько выше точки его плавления (обычно 57—60° С). В парафин для увеличения его пластичности добавляют 30—35% (по массе) гудрона.

Примечание. Допускается для изолирования образцов грунта применять вместо смеси парафина с гудроном заменители, обладающие теми же свойствами изоляции и пластичности.

2.3. Образцы грунта нарушенного сложения, требующие сохранения природной влажности, укладывают в металлические коррозионно стойкие или пластмассовые банки с герметически закрывающимися крышками. Грунт должен заполнять банку полностью. На поверхность грунта в банке кладут этикетку, завернутую в кальку, которую покрывают парафином. Второй экземпляр этикетки наклеивают на боковую поверхность банки.

2.4. Образцы грунта нарушенного сложения, не требующие сохранения природной влажности, укладывают в любую тару, обеспечивающую сохранение мелких частиц грунта (обычно мешочки из плотной материи или плотной водостойкой бумаги). Внутрь тары кладут этикетку, завернутую в кальку, покрытую слоем парафина; другую — наклеивают на тару. Допускается содержание этикетки надписывать на таре.

2.5. Этикетка должна содержать следующие сведения: а) наименование организации, производящей изыскания; б) название или номер изыскательской партии (экспедиции); в) номер образца; г) название выработки и ее номер; д) глубину отбора образца; е) наименование грунта по визуальному определению; ж) должность и фамилию лица, производившего отбор образца, и его подпись; з) дату отбора образца.

Этикетки должны заполняться четко простым графитовым карандашом, исключающим возможность обесцвечивания или распыливания записей.

2.6. Образцы грунта (п. п. 2.1 и 2.3), предназначенные для транспортирования в лаборатории, расположенные на значительном расстоянии от места их отбора, упаковывают в ящики.

Укладка образцов в ящики должна быть плотной, с заполнением свободного пространства между ними заполнителем. В качестве заполнителя применяют влажные древесные опилки, стружки или аналогичные им по свойствам материалы.

При укладке в ящик образцы отделяются от стен слоем заполнителя толщиной 3—4 см и друг от друга слоем толщиной 2—3 см. Ящики нумеруют, снабжают надписями «Верх» и «Не кантовать!», а также адресами получателя и отправителя. Внутрь ящика, под верхнюю крышку, кладут завернутый в кальку список образцов со сведениями, указанными в этикетках. Общая масса ящика с образцами не должна превышать 40 кг.

При упаковке в ящики образцов многолетнемерзлых грунтов заполнитель предварительно охлаждается до температуры порядка минус 4° С.

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

3.1. Транспортирование упакованных в ящики талых (не вечномерзлых) образцов грунта производится при положительных температурах окружающего воздуха, а многолетнемерзлых, требующих сохранения мерзлоты, — при температурах воздуха не выше минус 4 и не ниже минус 15° С или транспортом, оборудованным холодильными камерами, позволяющими поддерживать отрицательные температуры в тех же пределах.

Примечание. Допускается транспортирование упакованных в ящики образцов талых грунтов при отрицательных температурах воздуха и многолетнемерзлых грунтов при положительных температурах без применения холодильных установок при условии, что время транспортирования не будет превышать 3 ч, считая с момента упаковки образцов в ящики или извлечения ящиков из временных хранилищ до доставки их в лабораторию.

3.2. Образцы грунта (п. п. 2.1 и 2.3), отправленные в лаборатории, расположенные в непосредственной близости от пункта отбора, доставляются без упаковки в ящики, но обязательно в сопровождении лица, ответственного за сохранность доставляемых образцов.

3.3. Запарафинированные образцы талых грунтов, предназначенные для исследований, требующих сохранения ненарушенного сложения и природной влажности или только природной влажности, хранят в помещениях с относительной влажностью воздуха 50—60% при температуре не ниже плюс 2 и не выше плюс 20° С или в холодильных камерах при той же относительной влажности и тех же интервалах температур.

Образцы многолетнемерзлых грунтов, требующие сохранения мерзлого состояния, хранят при температурах не выше минус 4 и не ниже минус 15° С.

3.4. Срок хранения запарафинированных талых образцов грунтов скальных, маловлажных песчаных, а также глинистых, имеющих твердую и полутвердую консистенцию, до их лабораторного исследования не должен превышать полтора месяца, а остальных — один месяц, считая со дня отбора образцов.

3.5. При отсутствии хранилища для образцов, отвечающего требованиям п. 3.3, запарафинированные образцы талых грунтов допускается хранить во влажных средах, например во влажных опилках, стружках и т. п.; допускается также хранить образцы скальных, маловлажных песчаных и глинистых грунтов, имеющих твердую или полутвердую консистенцию, при температурах до плюс 30° С. В этом случае срок хранения не должен превышать 15 дней.

ТАБЛИЦЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ

Таблица 1

Критические значения τ для проверки принадлежности краевых значений при 5%-ном уровне значимости

n	$\tau_{0,05}$	n	$\tau_{0,05}$	n	$\tau_{0,05}$
4	0,955	14	0,395	24	0,309
5	0,807	15	0,381	25	0,304
6	0,689	16	0,369	26	0,299
7	0,610	17	0,359	27	0,295
8	0,554	18	0,349	28	0,291
9	0,512	19	0,341	29	0,287
10	0,477	20	0,334	30	0,283
11	0,450	21	0,327		
12	0,428	22	0,320		
13	0,410	23	0,314		

Таблица 2

Критические значения отношения $\tau = \frac{g^2}{S^2}$ для установления тренда

n	$\tau_{0,05}$	n	$\tau_{0,05}$	n	$\tau_{0,05}$	n	$\tau_{0,05}$
4	0,3902	13	0,5778	22	0,6645	35	0,7292
5	4102	14	5908	23	6713	40	0,7461
6	4451	15	6027	24	6776	45	0,7603
7	4680	16	6137	25	6836	50	0,7718
8	4912	17	6237	26	6893	55	0,7817
9	0,5121	18	0,6330	27	0,6946	60	0,7906
10	5311	19	6417	28	6996	—	—
11	5482	20	6498	29	7046	—	—
12	5638	21	6574	30	7091	—	—

Таблица 3

Значение α_n для вычисления оценки σ по размаху

n	$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right)$; α_n	n	$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right)$; α_n	n	$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right)$; α_n	n	$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right)$; α_n
2	1,128	7	2,704	12	3,258	17	3,588
3	1,693	8	2,847	13	3,336	18	3,640
4	2,059	9	2,970	14	3,407	19	3,689
5	2,326	10	3,078	15	3,472	20	3,735
6	2,534	11	3,173	16	3,532		

Таблица 4

Значения величины W_n и допустимые пределы ее изменения для 5%-ного уровня значимости

Число определений, n	W_n	W_n max	W_n min	Число определений, n	W_n	W_n max	W_n min
5	0,838	0,954	0,696	40	0,803	0,855	0,746
10	0,818	0,911	0,710	45	0,802	0,851	0,749
15	0,811	0,891	0,720	50	0,802	0,849	0,751
20	0,808	0,879	0,728	75	0,801	0,839	0,759
25	0,806	0,870	0,734	100	0,800	0,834	0,764
30	0,805	0,864	0,739	500	0,798	0,814	0,783
35	0,804	0,859	0,743	1000	0,798	0,809	0,787

Таблица 5

Критические значения отношения $F = \frac{S^2_{max}}{S^2}$ (распределение Фишера)

ν_2 \ ν_1	$q=0,5$							
	2	3	4	5	6	12	24	∞
2	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,5	19,5
3	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
4	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
6	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
7	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,4	3,2
8	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
12	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,7	2,5	2,3
14	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
18	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
26	3,4	3,0	2,7	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7
60	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	1,9	1,7	1,4
120	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,8	1,6	1,3
∞	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,0

Таблица 6

Критические значения t_q (критерия Стьюдента)

f*	Доверительные уровни		f	Доверительные уровни		f	Доверительные уровни	
	95%	90%		95%	90%		95%	90%
1	12,71	6,31	14	2,15	1,76	27	2,05	1,70
2	4,30	2,92	15	2,13	1,75	28	2,05	1,70
3	3,18	2,35	16	2,12	1,75	29	2,04	1,70
4	2,78	2,13	17	2,11	1,74	30	2,04	1,70
5	2,57	2,02	18	2,10	1,73	40	2,02	1,68
6	2,45	1,94	19	2,09	1,73	50	2,01	—
7	2,37	1,89	20	2,09	1,72	60	2,00	1,67
8	2,31	1,86	21	2,08	1,72	80	1,99	—
9	2,26	1,83	22	2,07	1,72	100	1,98	—
10	2,23	1,81	23	2,07	1,71	120	1,98	1,66
11	2,20	1,80	24	2,06	1,71	200	1,97	1,65
12	2,18	1,78	25	2,06	1,71	500	1,96	1,64
13	2,16	1,77	26	2,06	1,71		1,96	1,64

* f — число степеней свободы, равное n_1+n_2-2.

Таблица 7

Таблица значений t для сравнения двух средних значений с использованием размаха

n	$t_{0,05}$	n	$t_{0,05}$	n	$t_{0,05}$	n	$t_{0,05}$
3	0,487	5	0,246	7	0,173	9	0,137
4	0,322	6	0,203	8	0,153	10	0,125

Таблица 8

Пятипроцентные пределы для отношения G наибольшей эмпирической дисперсии к сумме k эмпирических дисперсий, полученных из k независимых выборок объема n

k \ $n-1$	1	2	3	4	5	6	7
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8772	0,8534	0,8332
3	0,9669	0,8709	0,7977	0,7457	0,7071	0,6771	0,6530
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5365
5	0,8412	0,6838	0,5981	0,5441	0,5065	0,4783	0,4564
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447	0,4184	0,3980
7	0,7271	0,5612	0,4800	0,4307	0,3974	0,3726	0,3535
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3185
9	0,6385	0,4775	0,4027	0,3584	0,3286	0,3067	0,2901
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2666
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2299
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195	0,2034	0,1911
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1735	0,1602	0,1501
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493	0,1374	0,1286
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237	0,1137	0,1061
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968	0,0887	0,0827
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0765	0,0682	0,0623	0,0583
120	0,0998	0,0632	0,0495	0,0419	0,0371	0,0337	0,0312

Продолжение табл. 8

k \ $n-1$	8	9	10	16	36	144	∞
2	0,8159	0,8010	0,7880	0,7341	0,6602	0,5813	0,5000
3	0,6333	0,6167	0,6025	0,5466	0,4748	0,4031	0,3333
4	0,5175	0,5017	0,4884	0,4366	0,3720	0,3093	0,2500
5	0,4387	0,4241	0,4118	0,3645	0,3066	0,2513	0,2000
6	0,3817	0,3682	0,3568	0,3135	0,2612	0,2119	0,1667
7	0,3384	0,3259	0,3154	0,2756	0,2278	0,1833	0,1429
8	0,3043	0,2926	0,2829	0,2462	0,2022	0,1616	0,1250
9	0,2768	0,2659	0,2568	0,2226	0,1820	0,1446	0,1111
10	0,2541	0,2439	0,2353	0,2032	0,1655	0,1308	0,1000
12	0,2187	0,2098	0,2020	0,1737	0,1403	0,1100	0,0833
15	0,1815	0,1736	0,1671	0,1429	0,1144	0,0889	0,0667
20	0,1422	0,1357	0,1303	0,1108	0,0879	0,0675	0,0500
24	0,1216	0,1160	0,1113	0,0942	0,0743	0,0567	0,0417
30	0,1002	0,0958	0,0921	0,0771	0,0604	0,0457	0,0333
40	0,0780	0,0745	0,0713	0,0595	0,0462	0,0347	0,0250
60	0,0552	0,0520	0,0497	0,0411	0,0316	0,0234	0,0167
120	0,0292	0,0279	0,0266	0,0218	0,0165	0,0120	0,0083

Таблица 9

Значение λ^2 (распределение Пирсона)

Число степеней свободы — ν	Уровень значимости q—0,05	Число степеней свободы — ν	Уровень значимости q—0,05	Число степеней свободы — ν	Уровень значимости q—0,05
1	3,8	11	19,7	21	32,7
2	6,0	12	21,0	22	33,9
3	7,8	13	22,4	23	35,2
4	9,5	14	23,7	24	36,4
5	11,1	15	25,0	25	37,7
6	12,6	16	26,3	26	38,9
7	14,1	17	27,6	27	40,1
8	15,5	18	28,9	28	41,3
9	16,9	19	30,1	29	42,6
10	18,3	20	31,4	30	43,8

Таблица 10

Достаточно большие объемы выборок при доверительной вероятности 0,9

v, %*	ρ=5%	ρ=3%	v, %	ρ=5%	ρ=3%	v, %	ρ=5%	ρ=3%
1	—	—	18	35	98	35	133	370
2	—	1	19	39	109	36	141	391
3	1	3	20	44	121	37	149	414
4	2	5	21	48	133	38	157	436
5	3	8	22	53	146	39	164	456
6	4	11	23	58	160	40	174	484
7	6	15	24	63	174	41	183	507
8	7	20	25	68	189	42	192	533
9	9	25	26	74	204	43	200	556
10	11	30	27	82	226	44	210	585
11	13	36	28	86	247	45	220	611
12	16	44	29	92	254	46	230	640
13	18	51	30	98	272	47	240	668
14	21	59	31	104	291	48	250	696
15	24	68	32	112	310	49	261	724
16	28	78	33	118	329	50	272	756
17	31	87	34	126	349			

* v — коэффициент изменчивости, %, ρ — показатель точности, $\left(\rho = t\,q\,\frac{v}{\sqrt{n}}100\%\right)$

ЭТАЛОННЫЕ АЭРОФОТОСНИМКИ И ИХ ОПИСАНИЕ

Отдешифрированные аэроснимки являются приложением к настоящему руководству. Оно соответствует основным главам руководства и содержит отдешифрированные плановые и перспективные аэрофотоснимки.

Аэроснимки отобраны с учетом наиболее важных объектов инженерно-геологического картирования, имеющих широкое распространение.

Дешифрирование аэрофотоснимков произведено по несколько упрощенной схеме с ориентировкой читателя на основные индикаторы по объекту исследований. Метод дешифрирования — ландшафтный. На аэрофотоснимках выделены территории с различными инженерно-геологическими условиями и соответствующими рисунками фотоизображения; указаны индикаторы (дешифровочные признаки) основного объекта дешифрирования.

В качестве примеров приведены ландшафтно-индикационные схемы и схемы дешифрирования элементов инженерно-геологических условий; в конце помещен аэроснимок комплексного эталона.

Здесь использованы материалы авторов и других сотрудников Второго гидрогеологического управления: М. С. Анучина, Л. Л. Бермана, В. А. Запорожца, Е. А. Кузнецовой, Л. В. Герасимовой, В. П. Нелюбина, Н. Г. Никанорова, А. В. Сабельникова, И. В. Степановой, Г. А. Шмидт, Н. Н. Ямновой и сотрудников ЛАЭМ — К. Е. Нефедовой, Т. А. Поповой и В. К. Марковского.

По оползневым явлениям европейской части СССР использованы материалы Э. К. Радченко, а по растительности Средней Азии — С. В. Викторова.

Работа выполнена под руководством И. С. Гудилина.

Кроме основного объекта дешифрирования на каждом аэроснимке указываются и другие объекты.

СОСТАВ ПОРОД

НЕСКАЛЬНЫЕ ПОРОДЫ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ВОЗРАСТА

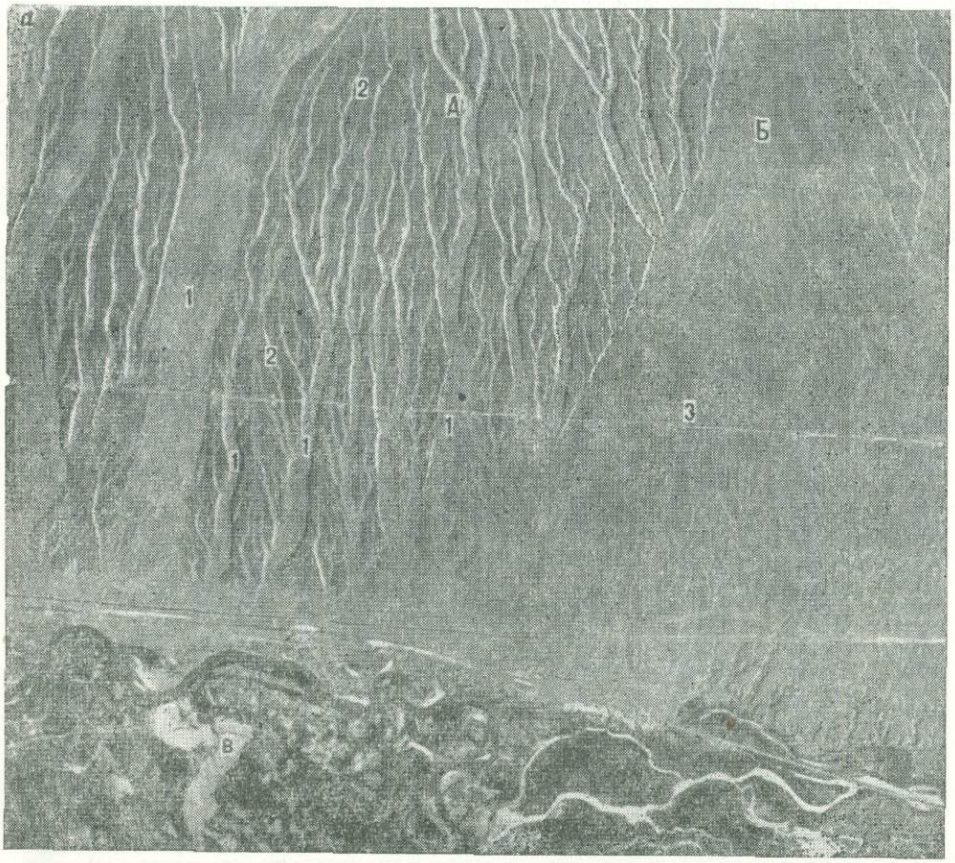




Рис. 1. Аллювиальные (aQ_{II}), и пролювиальные (pQ_{II-III}) отложения. Средняя Азия:
а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1600—1750 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок.
Равнина предгорная аккумулятивная с лугово-степной растительностью.
А. Поверхность пролювиальной равнины, сложенная щебнисто-галечниковыми отложениями среднечетвертичного возраста. Б. Поверхность пролювиальной равнины, сложенная щебнисто-галечниковыми отложениями верхнечетвертичного возраста. В. Долина реки, выполненная супесчано-галечниковыми отложениями голоценового возраста. Г. Горы низкие.
Галечники и щебень с суглинисто-супесчаным заполнением слагают высокую пролювиальную равнину (А), густо расчлененную саями *(1)* глубиной 2—4 м и промоинами *(2)* глубиной 0,5—0,8 м. Разновозрастные поверхности пролювиальной равнины хорошо разделяются по рисунку гидрографической сети (узковетвистый резко выраженный на высоких поверхностях и менее четко выраженный — на нижней поверхности); дорога *(3)*.

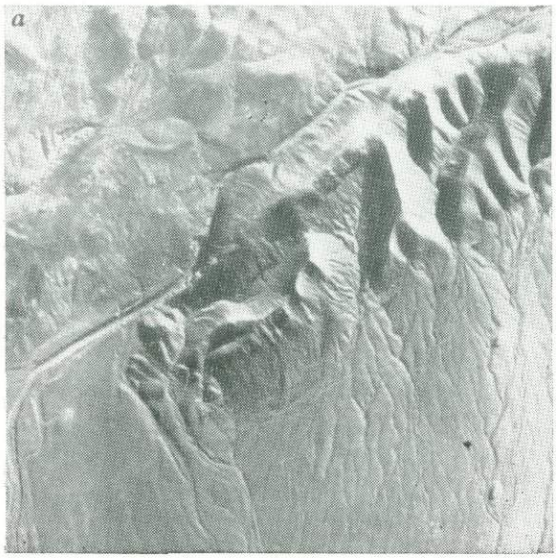
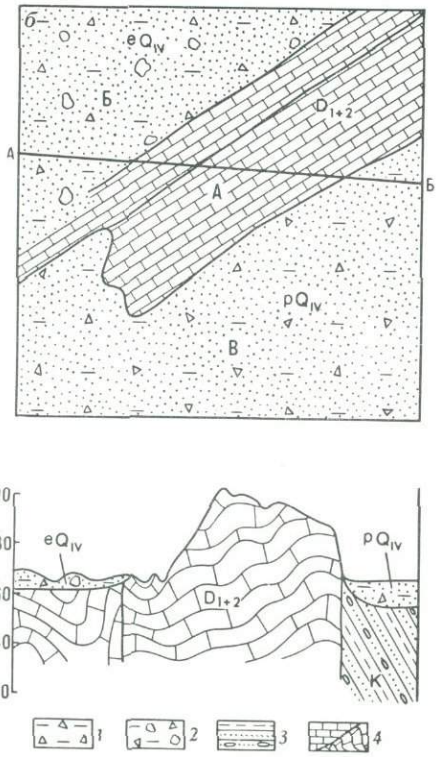
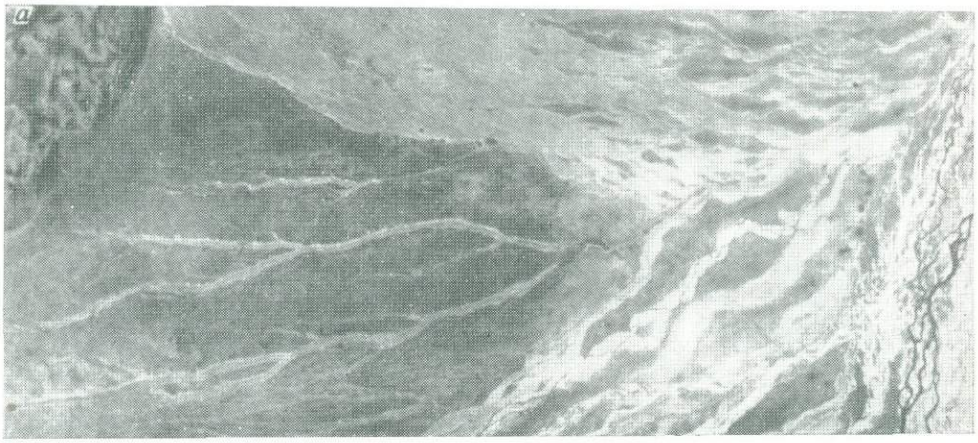


Рис. 2. Пролювиальные отложения (pQ_{IV}). Средняя Азия:
а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 257—320 м); *б* — схема дешифрирования четвертичных отложений.
1 — щебень с дресвой и глинисто-песчаным заполнителем; *2* — щебень, реже глыбы с дресвой; *3* — глина, пески, песчаники, реже конгломераты и известняки; *4* — известняки и доломиты с редкими прослоями алевролитов и песчаников.



А. Горы низкие, эрозионные, аридные. Б. Равнина возвышенная, денудационно-эрозионная. В. Равнина предгорная, пролювиальная.

Низкие горы (А), сложенные известняками и доломитами (D_{1+2}), резко возвышаются над денудационно-эрозионной возвышенной равниной (Б) и над пролювиальной равниной (В). Последняя образовалась за счет выноса грубообломочного материала из глубоко врезанных долин низких гор. Щебень с дресвой и глинисто-песчаным заполнителем (pQ_{IV}) образуют четко выраженные крутосклонные конусы выноса с резко очерченными руслами временных водотоков. По мере удаления от гор количество грубообломочного материала уменьшается, русла временных водотоков врезаются слабее, конус расширяется, его рисунок становится менее четким, расплывчатым. Отдельные конусы выноса сливаются, образуя предгорный шлейф.



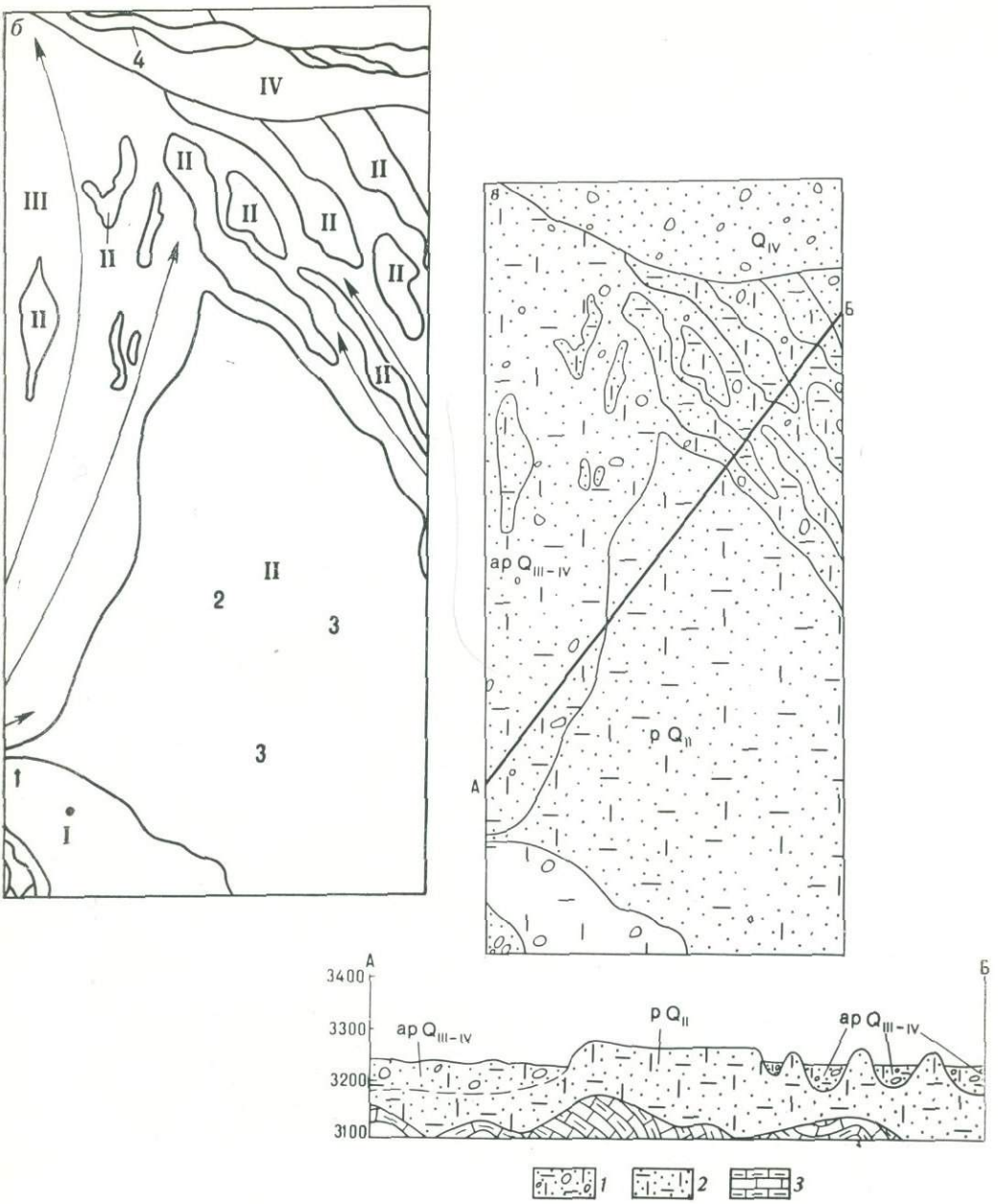


Рис. 3. Ледниковые отложения (конечная морена) — gQ_{II-III}: пролювиальные (pQ_{II}), аллювиально-пролювиальные (apQ_{II-III}), аллювиальные (aQ_{IV}). Памир:

а — плановый аэрофотоснимок мелкого масштаба (абс. выс. 3200—3498 м); *б* — ландшафтно-индикационная схема; *в* — схема дешифрирования.

1 — валуны, галька, гравий, песок, суглинки; *2* — суглинки пылеватые; *3* — известняки мраморизованные (на разрезе).

Межгорная котловина с пустынно-степной растительностью. I — конечно-моренные валы (gQ_{II-III}) с холмисто-западинным рельефом; II — останцы древней аллювиально-пролювиальной поверхности (apQ_{II}); III — поверхности конусов выноса с руслами временных водотоков (pQ_{IV}); IV — пойма реки (aQ_{IV}).

Ледниковые отложения дешифрируются по четко выраженному характерному шагреневому рисунку фотоизображения (1), обусловленному чередованием озер (темно-серый фототон), с буграми и холмами (светло-серый фототон).

Пролювиальные отложения (II) образуют останцы древних предгорных шлейфов; характерен узкодревовидный рисунок овражной сети (3), однообразный серый фототон межрусловых повышений (2).

Аллювиально-пролювиальные отложения (III) образуют пологонаклонную плоскую равнину; они опознаются на аэрофотоснимках по характерным веерам блуждания временно действующих потоков. Поверхность имеет веерообразный полосчато-пятнистый рисунок, обусловленный многочисленными временно действующими потоками.

Аллювиальные отложения поймы (IV) четко дешифрируются по приуроченности к пойме и характерному полосчато-сетчатому рисунку фотоизображения (4).



Рис. 4. Ледниковые отложения (конечная морена) — qQ. Тува.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 2500 м). Межгорная котловина с горными лугами и степями.

А. Устьевые части троговых долин. Б. Поверхности межгорной котловины, образованные рыхлыми отложениями (нерасчлененными). В. Конечно-моренная равнина.

У выхода троговых долин в межгорную котловину языки ледников оставили гирлянды конечных морен, сложенных мерзлыми валунными суглинками (В); они дешифрируются по шагреневому рисунку фотоизображения, обусловленному чередованием озерных понижений и холмов. Мерзлотные процессы привели к смещению моренных отложений и образованию солифлюкционных языков течения (1), термокарстовых озер (2), снежников (3), речных долин, прорезающих конечно-моренный вал (4), солифлюкционных склоновых отложений (5), обвала-оползня (6), ниши срыва на склоне (7).



Рис. 5. Озерные отложения (lQ_{IV}). Средняя Азия:

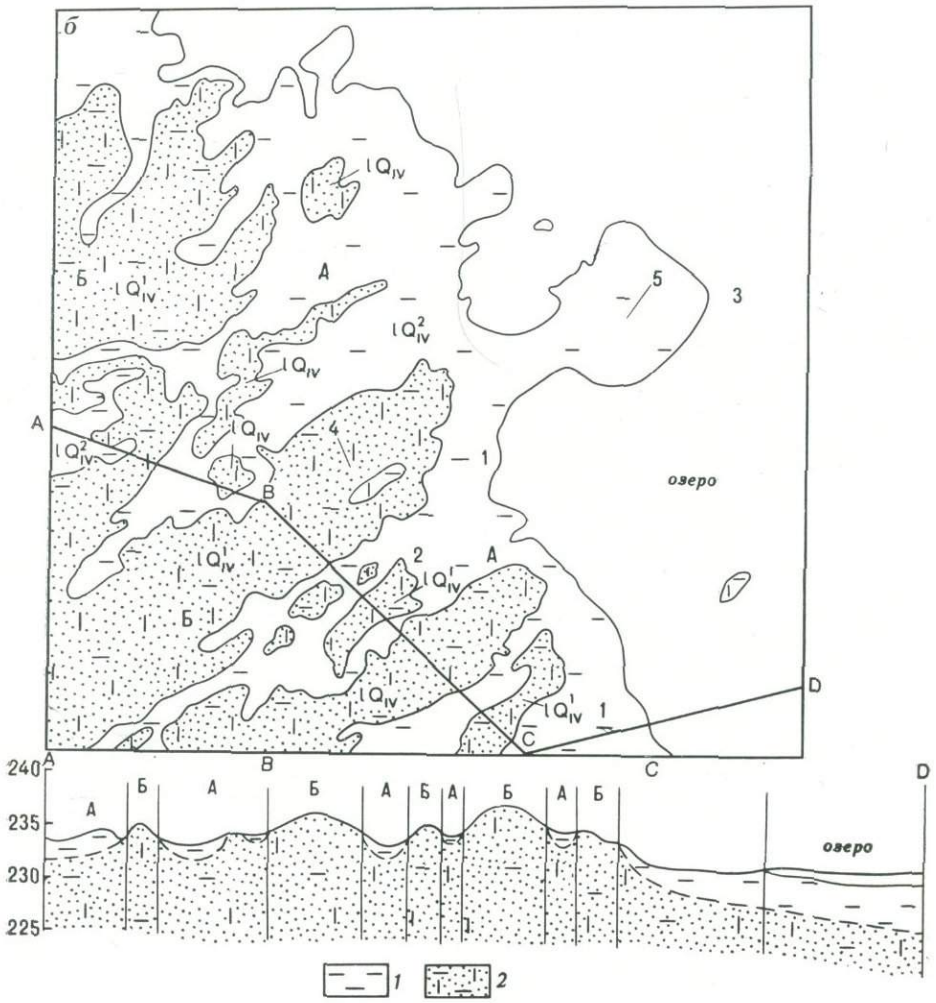
а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 230—241 м); *б* — схема дишифрирования.

1 — глины и суглинки буровато-серые, сильноводонасыщенные, соленосные, с тонкими прослоями илов и гипсовых песков; *2* — суглинки легкие и супеси тяжелые, буровато-серые, сухие, сильно уплотненные, соленосные.

Равнина озерная, пустынная.

А. Плоскодонные приозерные ложбины, покрытые разреженными зарослями солянок. Б. Повышения приозерной равнины с покровом солянок и эфемеров.

Озерная равнина, полого наклоненная к озерной ванне, имеет плоский, слегка всхолмленный рельеф. В период выпадения атмосферных осадков площадь соленого озера увеличивается, заливаются плоскодонные приозерные ложбины (А), разделяемые невысокими плоскими повышениями (Б). Приозерные ложбины выполнены глинами и суглинками сильноводонасыщенными, буровато-черными, соленосными, с тонкими прослоями илов и песков, светлыми с поверхности (выцветы солей). Ложбины имеют неровные очертания береговой линии и вытянутую форму; более светлые, почти белые пятна у береговой линии озера — солончаки и надводные отмели (1) с различной степенью обсыхания; наиболее обсохшие части ложбин (2) характеризуются тусклым светло-серым неясно-полосчатым рисунком, что обусловлено наличием здесь зарослей сарсазана, ажрека, однолетних солянок, карабарака; светло-серый тон имеют отмели (3). Повышения приозерной равнины (Б) сложены легкими супесями и тяжелыми суглинками, имеющими буровато-серый цвет, сильно уплотненными, соленосными. Серый тон изображения обусловлен растительным покровом из сообществ эфемеров и однолетних солянок; дорога (4).


б
Q_{IV}
Q^1_{IV}
Q^2_{IV}
А
Б
1
2
3
4
5
A
B
C
D
озеро
240
235
230
225

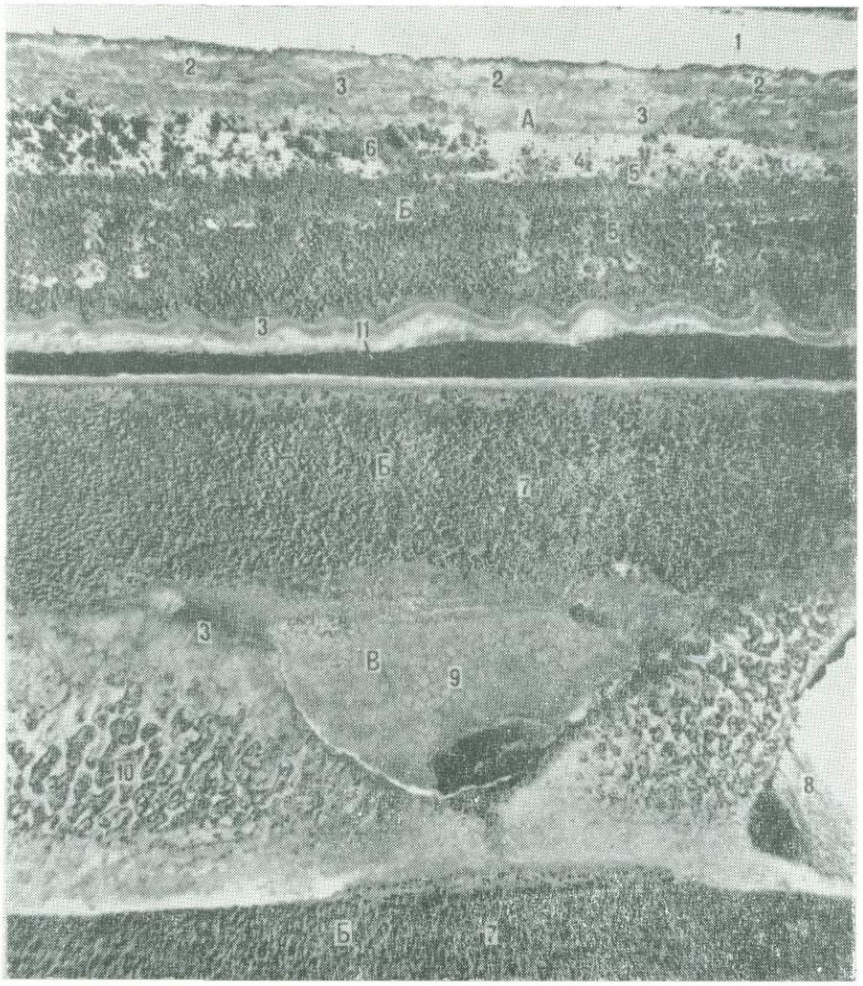


Рис. 6. Морские отложения (mQ_{IV}). Дальний Восток.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 0—4 м).

Морское побережье с лиственничными лесами и мохово-кустарничковыми болотами. А. Пляж песчаный и гравийно-галечниковый, местами с осоково-вейниковыми лугами, Б. Береговые валы с лиственничными лесами и кустарниками. В. Лагунные понижения, разделяющие береговые валы с болотами и лугами.

Морские отложения дешифрируются по характерным формам расчленения морского низменного побережья, имеющего вытянутый вдоль береговой линии, широко полосчатый рисунок. Параллельная структура рисунка обусловлена чередованием полос пляжа (А), береговых валов (Б) и лагунных понижений (В).

На пляже морские отложения — песок, гравий и галечник — дешифрируются по яркому светлому фототону (1) или в виде светлых пятен (2) среди серого тона осоково-вейникового луга (3). На береговом валу, расположенном ближе к береговой полосе, просматриваются светлые пятна морских отложений (4) среди разреженного леса (5) и кустарников (6). На более древнем береговом валу, удаленном от побережья (7), выделяется сплошной покров леса и кустарников. В древней лагуне местами сохранились озера 8); на большей площади они заняты полигональными болотами (9), бугристыми болотами с кедровым стлаником (10) и осоково-вейниковыми мокрыми лугами. Под бугристыми болотами залегает мерзлый торф мощностью 3—4 м; 11 — протока.

Осадочные



Рис. 7. Глины с редкими маломощными прослоями песчаников (P). Средняя Азия.
Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 300—420 м). Предгорья дробно расчлененные, степные.
Глины пестрые, уплотненные, пластичные, сланцеватые, песчанистые, иногда содержат пропластки гипса. При усыхании образуют мелкощебнистую дресву. Изредка глины содержат прослой полимиктовых песчаников с глинистым цементом (мощность 0,1—0,15 м). Глины дешифрируются по характерному, дробно расчлененному рельефу с асимметричными узкими водоразделами.
Гидросеть имеет коротковетвистый, перистый рисунок. Основные долины широкие, древовидно-ветвящиеся.



Рис. 8. Конгломераты (N_1). Закавказье.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 300—420 м). Предгорья денудационно-эрозионные, грядовые, покрытые широколиственными лесами.

Конгломераты с прослоями и линзами песков миоцена (1); при пологом залегании дешифрируются по приуроченности к грядовому, резко расчлененному рельефу предгорий. Характерны уплощенные водоразделы, крутые склоны, расчлененные субпараллельной, неглубоко врезанной гидросетью с короткими боковыми притоками, образующими в плане дробный параллельно-перистый рисунок. Серый тон и крупнозернистую структуру создает широколиственный лес (2); светлые полосы в руслах (3) обусловлены цветом карбонатной гальки.



Рис. 9. Песчаники, глины, алевролиты, мергели (K), пестрые глины (P), песчаники, пески и глины (N). Средняя Азия:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 300—550 м); *б* — схема дешифрирования.

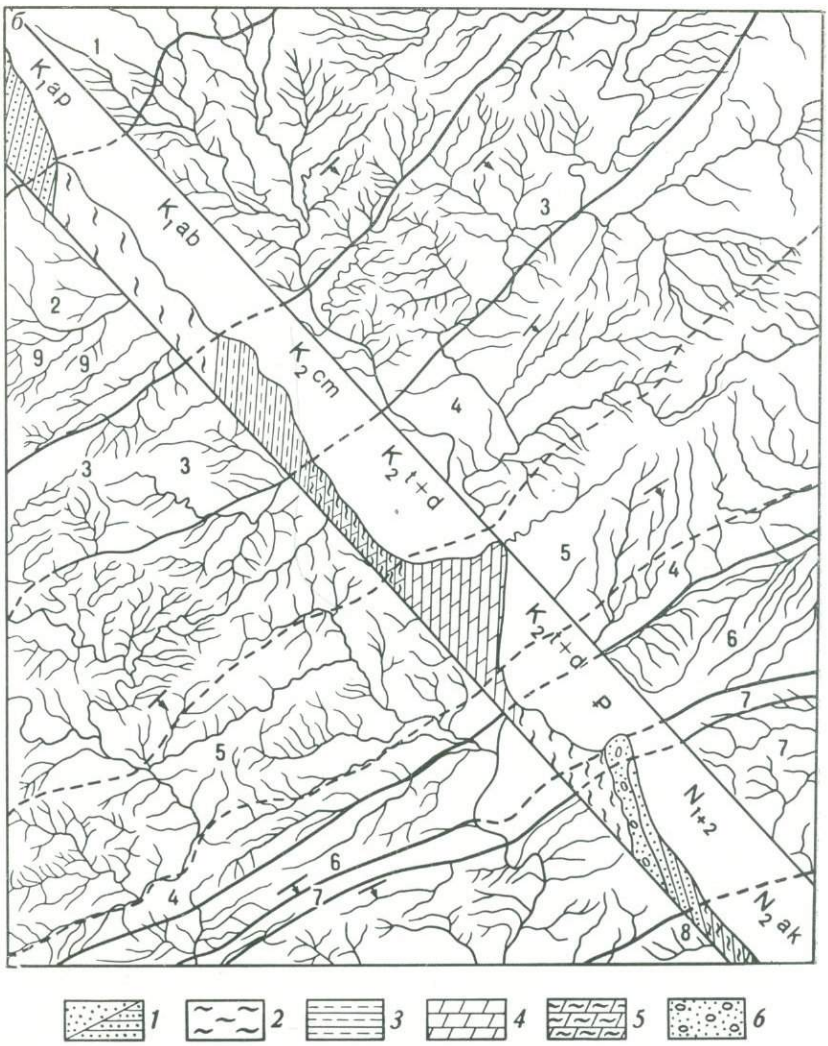
1 — пески, песчаники; *2* — глины; *3* — алевролиты; *4* — мергели; *5* — глины известковистые и глинистые мергели; *6* — конгломераты.

Горы низкие структурно-эрозионные, пустынные.

Разнообразные осадочные породы, слагающие крыло крупной антиклинальной складки, легко различаются на аэрофотоснимке по характеру рельефа, гидросети и рисунку фотоизображения. Песчаники глауконитовые (1) массивные, трещиноватые, с подчиненными прослоями алевролитов (K_1ap) *образуют острогребневые скалистые водоразделы и прямые склоны, совпадающие с направлением* слоистости пород (аз. пад. 150—180°, ∠30—50°). Эрозионная сеть глубоко врезанная, удлиненно-ветвистая, субпараллельная, часто следует системам трещин; рисунок фотоизображения *крупночешуйчатый. Рыхлый щебнистый материал (мощностью до* 1,5 м) *скапливается в днищах* ложбин.

Глины (2) с прослоями песчаников (K_1ab) уплотненные, мелкощебнистые; распознаются по сочетанию мягких сглаженных пологоувалистых заплывших склонов и острогребневых асимметричных водоразделов, сложенных песчаниками (9). Эрозионная сеть часто бессистемно- и древовидно-ветвящаяся. С поверхности глины перекрыты мелкощебнистыми элювиально-делювиальными образованиями мощностью до 1 м.

На алевролитах (K_2cm) (3) формируется дробно и неглубоко расчлененный рельеф, с прямолинейными, резко выраженными водоразделами и асимметричными склонами. Эрозионная сеть ветвящаяся, с удлиненными притоками, направленными вдоль слоистости пород. С поверхности покрыты плащом (0,5 м мощности) рыхлых песчано-щебнистых образований. В понижениях рельефа скапливаются щебень и мелкозем мощностью до 1,5 м.



1 2 3 4 5 6

Глинистые мергели (4) пестрые, мелкощебнистые (K_2t+d) образуют мягкие сглаженные формы рельефа, с дробным, коротко струйчатым, дендритовидным рисунком гидросети, созданным временными водотоками. Рыхлые образования представлены мелкоземом со щебнем мощностью до 1,5 м.

Мергели (5) крепкие, мелкотрещиноватые, массивные, с прослоями глинистых мергелей (K_2t+d) распознаются по скалистым, островерхим, вытянутым в направлении слоистости водоразделам и асимметричным склонам (куэсты), глубоко расчлененным параллельной, направленной по слоистости, гидросетью с короткими промоинами, создающими тонкоструйчатый «кружевной» рисунок. На глинах (6) пестрых, загипсованных, мелкощебнистых (P) формируется пологохолмисто-грядовый рельеф с заплывшими склонами, дробно расчлененными временными водотоками; рисунок струйчатый и ветвисто-струйчатый. С поверхности глины перекрыты щебнистым мелкоземом мощностью до 1,5 м.

Песчаники слабо сцементированные и пески (7) в основании содержат прослои и линзы конгломератов, местами переходящие в уплотненные пески (N_{1+2}). Породы дешифрируются по куэстовым грядам с отчетливо ориентированными асимметричными склонами и параллельному расчленению неглубоко врезанной гидросети. Плоские поверхности трапецеидальных плит песчаников совпадают со слоистостью (аз. пад. 160°, ∠25°) и создают чешуйчатый рисунок фотоизображения. Рыхлый покров представлен песками с редкой галькой, которая скапливается в долинах рек и на пологих склонах куэстовых гряд.

На глинах (8) пластичных, слабо загипсованных, с маломощными прослоями углей (N_2ak) формируются пологие сглаженные возвышенности, постепенно переходящие в предгорную равнину. Расчленение дробное диагонально-ветвистое, местами ажурное. С поверхности глины перекрыты мелкощебнистыми песчано-глинистыми образованиями мощностью до 2,5 м.

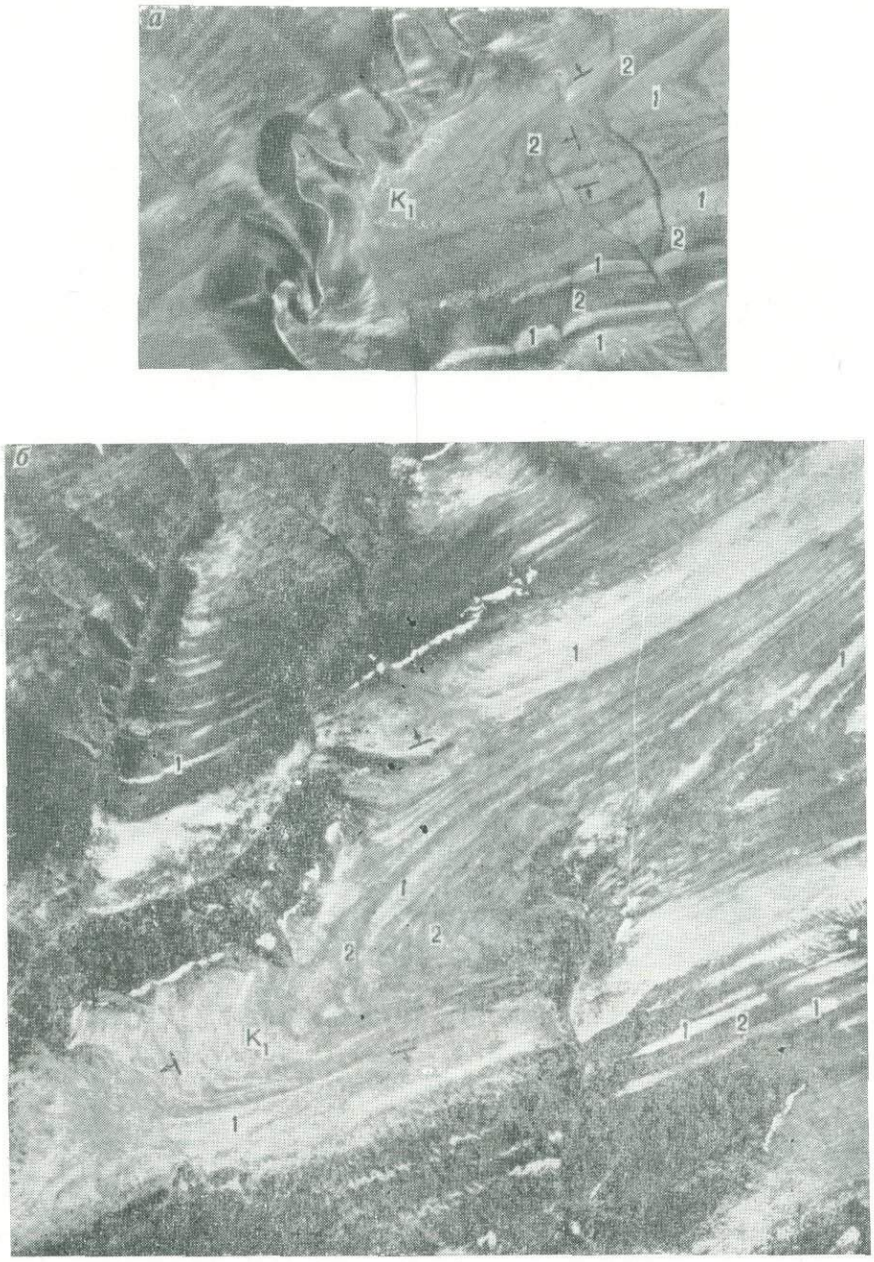


Рис. 10. Песчаники, переслаивающиеся с алевролитами, реже аргиллитами (K_1) плитчатые, трещиноватые. Северная Якутия:

а — планозый аэрофотоснимок мелкого масштаба (абс. выс. 250—400 м); *б* — перспективный *аэрофотоснимок.*

Плато денудационно-эрозионное, с кочкарной и каменисто-лишайниковой тундрой, с участками лиственничных лесов в долинах.

Слоистая терригенная толща дешифрируется по характерному полосчатому рисунку поверхности плато, обусловленному чередованием песчаников, местами образующих скалистые гривки, а также алевролитов (реже аргиллитов), образующих понижения в рельефе. На песчаниках развивается каменисто-лишайниковая тундра (1). Она выделяется широкими расплывчатыми светло-серыми полосами. Прослои алевролитов (2) создают темно-серые полосы за счет осоково-моховой растительности и интенсивного увлажнения. Породы слагают антиклинальную складку субширотного простирания. Светлые и темные полосы, дугообразно изгибаясь, подчеркивают тектоническую структуру толщи. Породы мерзлые.

Карбонатные

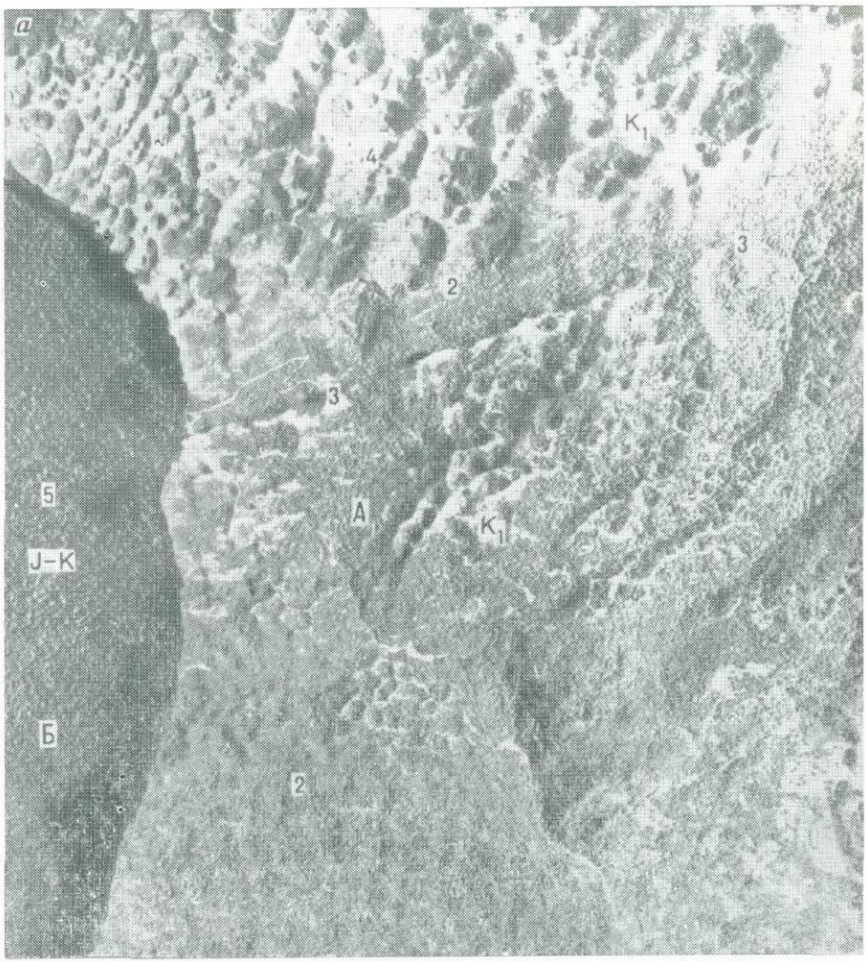


Рис. 11. Известняки массивные (K_1), толстоплитчатые, закарстованные, трещиноватые. Закавказье:

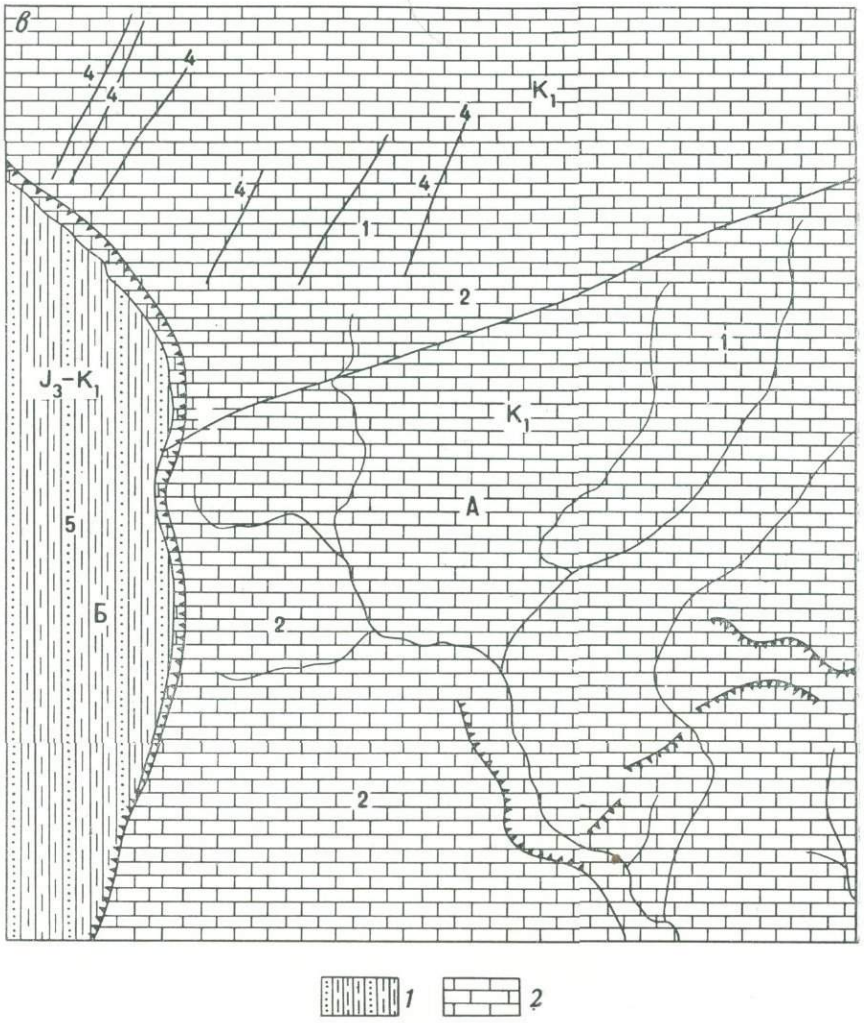
а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1200—1900 м); *б* — схема дишифрирования; *в* — перспективный аэрофотоснимок.

1 — глины, песчаники; *2* — известняки.

А. Горы средневысотные, залесенные. Плато с карстовыми формами рельефа, покрытое криволесьем. Б. Котловина с оползневыми формами рельефа, покрытая широколиственными лесами. Известняки нижнего мела (1) дешифрируются по слабонаклонной ступенчатой закарстованной позерхности плато (А) с карровым рельефом. Светлый тон соответствует цвету пород; серый точечный крап (зернистая структура) обусловлен растительностью (2). Известняки нарушены разломом (3) небольшой амплитуды, выраженным в рельефе прямолинейным уступом. По разлому приподнят северный блок; здесь более интенсивно протекают процессы карстообразования; карстовые формы зарождаются вдоль субмеридиональных трещин (4). Гидросеть выражена только в опущенном блоке, где она слабо развита и бессистемна. Вода появляется по контакту с подстилающими породами.

Песчано-глинистые отложения верхней юры и нижнего мела (5) выполняют котловину (Б) с характерными оползневыми (бугристыми) формами микрорельефа.


б


в
4
4
4
4
4
4
K_1
1
2
1
J_3–K_1
K_1
5
А
Б
2
2
1
2

Метаморфические

Слабо метаморфизованные



Рис. 12. Углисто-глинистые сланцы с подчиненными прослоями песчаников (I_1), плитчатые, местами листоватые, мелкотрещиноватые, с оскольчатой щебнистой отдельностью. Закавказье.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 2500—3500 м). Горы высокие, эрозионные, покрытые субальпийскими лугами. Сланцеватая толща нижней юры, интенсивно дислоцированная, дешифрируется по дробно расчлененному рельефу с острогребневыми зубчатыми водоразделами (1), крутыми скалистыми склонами и мощными осыпями (2). Характерна интенсивная трещиноватость (3); крупные трещины часто подчеркиваются *прямолинейными временными* водотоками (4). Иногда трещины «просвечивают» сквозь чехол рыхлых образований (5). Гидросеть глубоко врезана, имеет перисто-бетвистый и метелкообразный, занозистый рисунок. Наличие слоистости выражается полосчатым рисунком (5). На склонах долин рек и в эрозионных ложбинах скапливаются мелкощебнистые образования (7) мощностью до 3 м; они выделяются однородным, реже пятнистым серым фототоном.

Сильно метаморфизованные



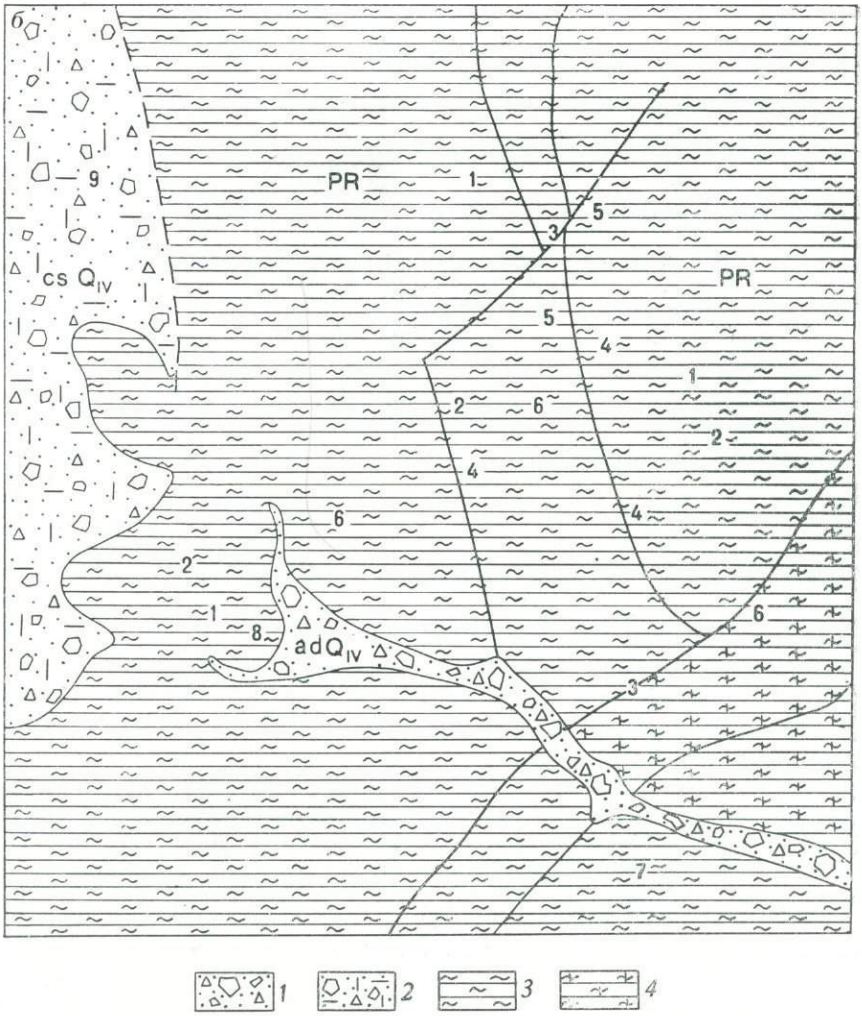


Рис. 13. Гнейсы (PR) грубослоистые, сланцеватые, трещиноватые и анортозиты (PR). Дальний Восток:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 450—1200 м); *б* — схема дешифрирования.

1 — галька, щебень, глыбы, песок; *2* — глыбы, щебень, суглинки; *3* — гнейсы; *4* — анортозиты.

Горы низкие, денудационные, с тундровой растительностью и разреженными лесами.

Гнейсы биотитовые, роговообманковые и плагиоклазовые имеют отчетливо выраженную полосчатую текстуру. Различные разности их образуют пачки мощностью 50—250 м. Рельеф пологоувалистый, с массивными водоразделами (1) и выпуклыми склонами (2). Породы нарушены разломами (3). Наиболее трещиноватые пачки обладают повышенной влагообильностью, что подчеркивается темными полосами моховой растительности (4) с участками смешанных лесов (5). Светлые полосы (6) обусловлены развитием на гнейсах крупноглыбовых элювиально-делювиальных образований мощностью не более 3 м, покрытых мохово-лишайниковой растительностью. Чередование темных и светлых полос создает параллельно-полосчатый рисунок. Гидросеть ветвистая с коленообразными изгибами русел подчеркивает более податливые к разрушению прослои пород. Анортозиты (7) с глыбовой отдельностью отличаются более резкими формами рельефа и отсутствием слоистости.

Образования:

аллювиально-делювиальные (8) и осыпно-солифлюкционные (9).

Эффузивные



Рис. 14. Базальты (βQ_{III}). Южная Сибирь.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1500—2500 м). Горы высокие эрозионные, покрытые кедрово-лиственничными лесами. А. Ущелье крупной реки. Б. Крутые склоны гор. Крупная река (1) прорезала ущелье в лавовом потоке (2), спускавшемся вниз по глубоко врезанной долине. Базальты образуют структурную террасу, имеющую четкую границу у тылового шва с крутыми склонами долины (3). В структурных уступах (4) обнажается несколько горизонтов плотных серых и бурых оливиновых базальтов, чередующихся с пористыми базальтами. Плотные разности базальтов образуют в обрывах карнизы с характерной столбчатой отдельностью. Уступ выс. 150—200 м снизу оконтурен крупноглыбовой осыпью (5), спускающейся к валунно-галечниковой пойме (6) и руслу. У основания базальтов из-под осыпи вскрываются выходы гранитов (7). Ущелья в базальтах (8).

Интрузивные

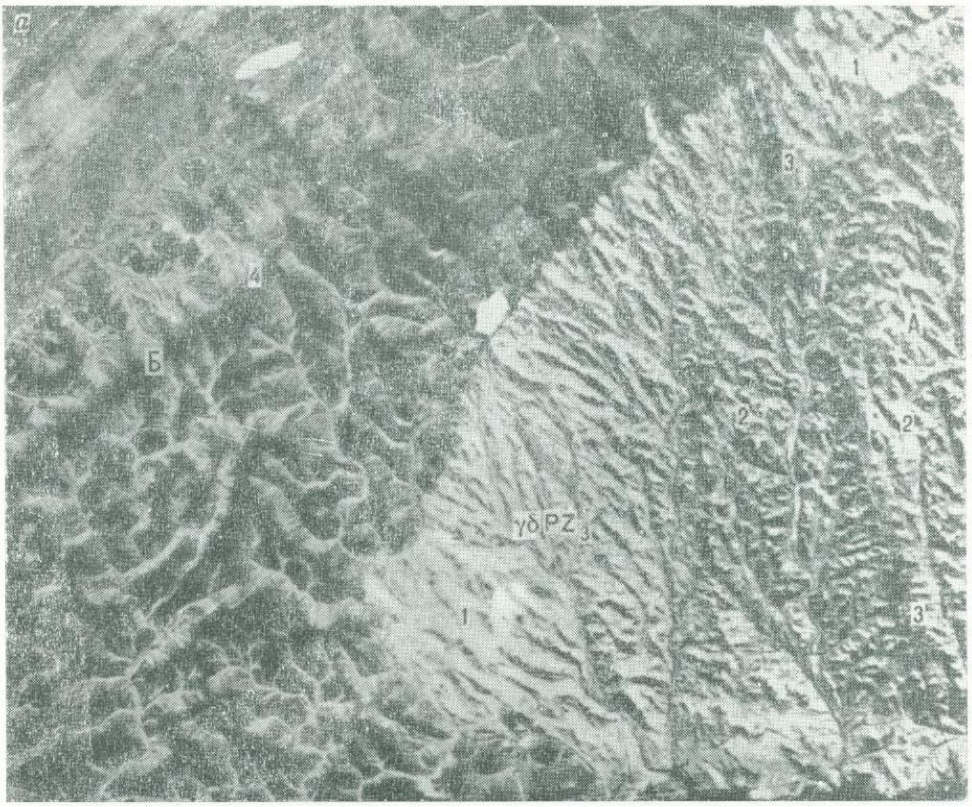


Рис. 15. Граниты и гранодиориты ($\gamma\delta PZ_3$) среднезернистые, трещиноватые. Средняя Азия:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 200—300 м); *б* — аэрофотоснимок крупного масштаба; *в* — перспективный аэрофотоснимок.

Горы низкие, денудационно-эрозионные, аридные.

А. Гранитоиды палеозоя. Б. Метаморфические породы девона. В. Пролювиальные образования предгорий.

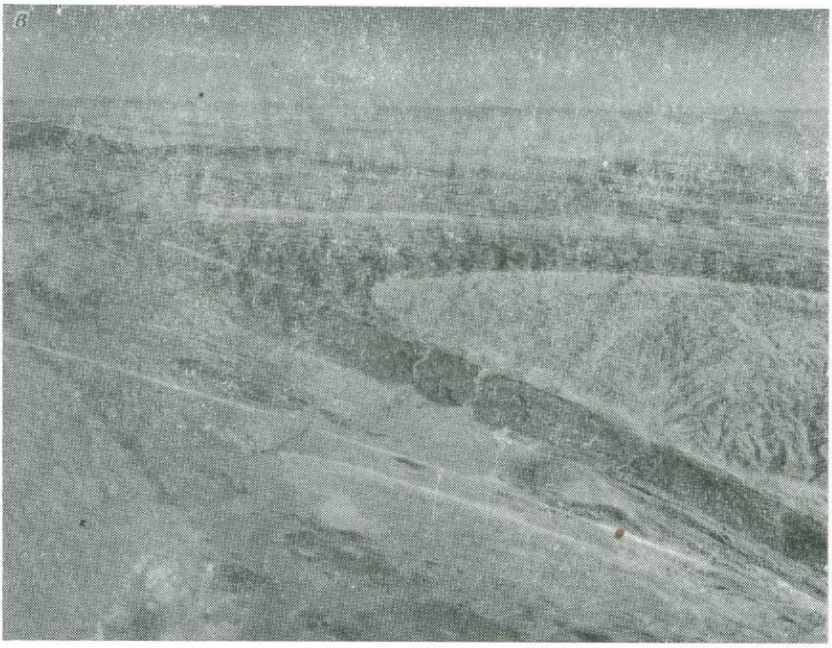
Массив гранитоидов овальной формы четко выделяется серым фототоном и диагонально-ветвистым рисунком фотоизображения. Краевая часть его, сложенная более кислыми породами, отвечает составу гранитов (1) и характеризуется более светлым фототоном, чем центральная, представленная гранодиоритами (2).

Граниты (1) светло-серые и розово-серые, разнозернистые, трещиноватые, образуют глыбовую, реже матрацевидную отдельность, с поверхности выветрелые.

Гранодиориты (2) серые и зеленовато-серые, среднезернистые и порфировидные, трещиноватые, с поверхности выветрелые. Эрозионная сеть диагонально-ветвистая подчеркивает систему трещин. Долины выполнены щебнисто-гравийными отложениями. Рельеф характеризуется интенсивным эрозионным расчленением с островерхими узкими водоразделами и крутыми склонами. Гряды даек гранодиорит-порфиров (3) приурочены к разломам ССЗ направления и выделяются узкими темными полосами.

Вмещающие породы (дислоцированные песчаники, кремнистые сланцы, роговики девона) отличаются от гранитного массива более темным тоном и прямоугольно-ветвистым рисунком изображения эрозионной сети (4).


б
2
2
2
3
4
1
Б
γδ PZ3
1
3
2
А


в

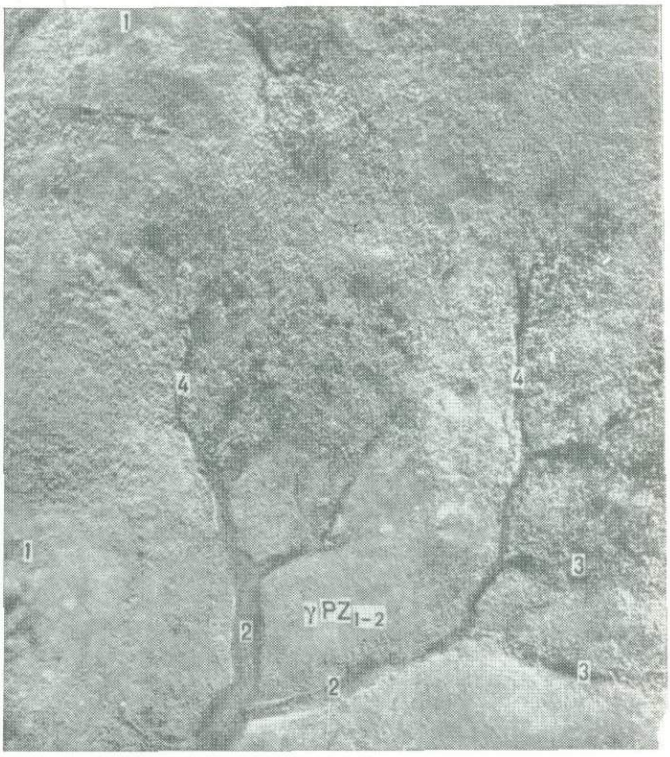


Рис. 16. Граниты биотитовые (γPZ_{1-2}), разнозернистые трещиноватые Дальний Восток.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 380—700 м). Горы низкие денудационные, покрытые елово-лиственничными лесами.

Граниты биотитовые, палеозойского возраста, разнозернистые, светло-серого цвета, трещиноватые, массивные, сильно обводненные по трещинам, образуют широкие массивные низкогорья, с выпуклыми пологими (10—15°) склонами, покрытыми щебнистыми суглинками. На куполообразных уплощенных вершинах (1) местами наблюдается глыбовая россыпь порфировидных крупнозернистых гранитов. Характерны неглубоко врезанные и неясно выраженные долины, выполненные мелкогалечниковым аллювием и занятые моховыми болотами (2), чередующимися с еловыми сырыми лесами (3), где выходят трещинные воды. Система трещин и разрывных нарушений дешифрируется по прямолинейным участкам рек (4).


а
1
2
3



Рис. 17. Глубинный разлом, сопровождаемый цепью шлаковых вулканических конусов. Закавказье:

а — планозый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 2500—2900 м), *б* — схема дешифрирования; *в* — перспективный аэрофотоснимок.

Высокогорное вулканическое плато с разреженной горнолуговой растительностью.

К региональному глубинному разлому (1) субмеридионального направления приурочены шлаковые вулканические конусы четвертичного возраста.

Разлом подчеркивается цепочкой четвертичных эруптивных аппаратов конусовидной формы с кратерами, кратерными озерами, баранкосами. Последующие новейшие тектонические движения устанавливаются по разорванным стенкам конусов вулканов (2), по смещению коренных пород и неправильно удлиненной форме кратера (3).

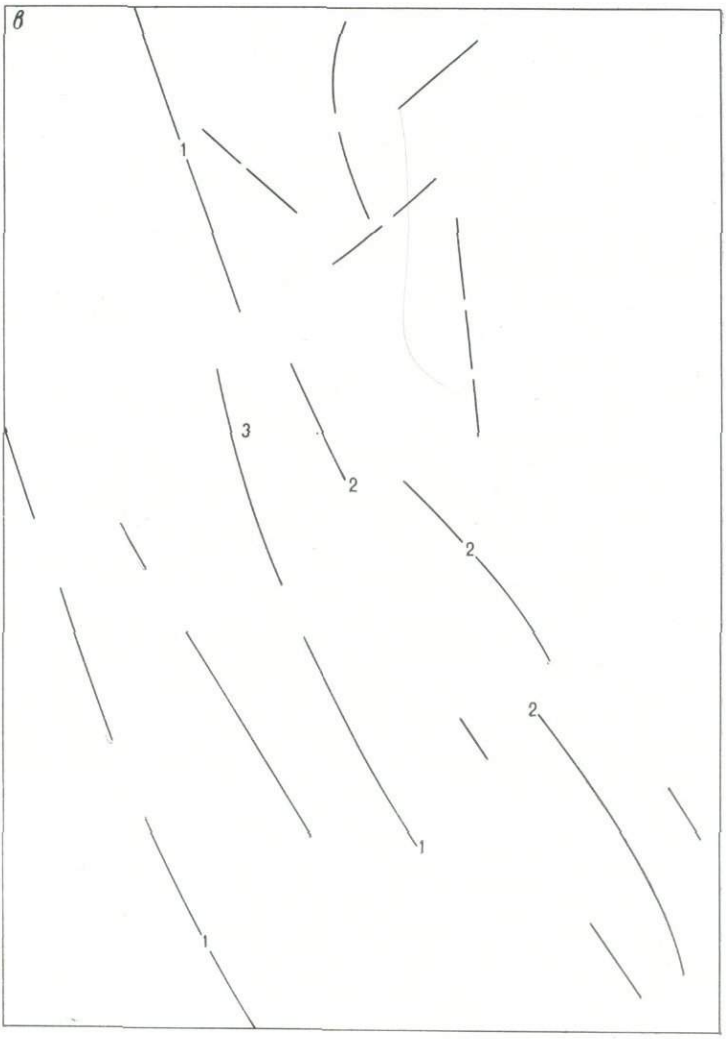

в
1
3
2
2
2
1
1



Рис. 18. Антиклинальная складка. Средняя Азия:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 100—660 м); *б* — схема дешифрирования. Горы низкие, аридные.

Антиклинальная, несколько асимметричная складка погружается в юго-западном направлении. Ее ось совпадает с осевой линией хребта. Ядро выполняют пологолежащие скальные кварцево-глауконитовые трещиноватые песчаники (1) с массивными формами рельефа, глубоко расчлененные удлиненно-прямолинейной субпараллельной гидросетью; последняя часто приурочена к трещиноватости пород. Крылья антиклинали слагают глины с подчиненными прослоями алевролитов, песчаники и алевролиты, мергели и известковистые глины. Глины (2), слагающие понижения, перекрытые плащом аллювиально-пролювиальных отложений (мощностью до 1,8 м), на аэроснимках выделяются однородным серым тоном. Местами к этим понижениям приурочены долины рек, создающие ветвисто-струйчатый рисунок фотоизображения. Песчаники и алевролиты (3) выделяются невысоким гребнем, разделяющим межгрядовые понижения, выполненные глинами (2). Они дешифрируются по отчетливо выраженному полосчатому рисунку, обусловленному слоистостью пород (светлые полосы — песчаники, более темные — алевролиты), с отчетливыми пластовыми треугольниками, указывающими на асимметричность крыльев: крутое (50—60°) северо-западное и более пологое (35—40°) юго-восточное.

Алевролиты и песчаники с прослоями глин (4) образуют параллельные асимметричные острогребневые гряды, разделенные понижениями, сложенными глинами. На снимке они выделяются полосчатым рисунком с растянутыми пластовыми треугольниками. Мергели и известковистые глины (5) слагают резко возвышающуюся острогребневую куэсту, расчлененную узкими ущельеобразными долинами. Наличие полосчатости обусловлено слоистостью.

Различные литологические разности пород выделяются резкой дугообразной полосчатостью. Они оконтуривают ядро антиклинальной складки и подчеркиваются тенью от гребней водоразделов, а в понижениях — растительностью.

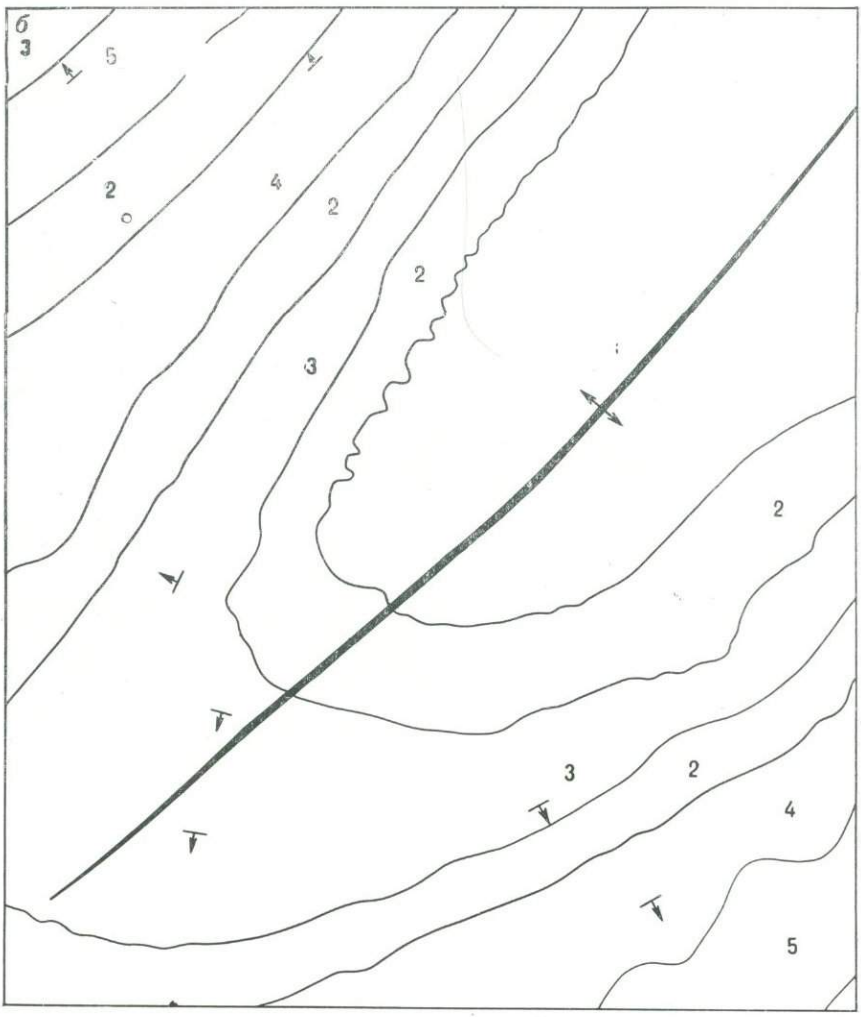

б
з
5
2
4
2
2
3
2
3
2
4
5



Рис. 19. Синклинальная складка. Закавказье:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 2200—2500 м); *б* — схема дешифрирования. Горы высокие с горно-луговой растительностью.

Синклинальная сундучная складка (1) погружается в ВСВ направлении. Она нарушена разломами (2) и крупными тектоническими трещинами, с которыми, вероятно, связаны выходы источников (3). Ядро складки слагает терригенно-карбонатная слоистая толща (известняки, песчаники, глины и алевролиты) верхнего мела, залегающая полого (15—25°) с угловым несогласием на известняках верхней юры. Породы дешифрируются по структурным уступам (4), отвечающим устойчивым к выветриванию пластам известняков (светлый тон) и песчаников (светло-серый тон), слабо расчлененной сглаженной поверхности и однородному серому тону, обусловленному растительностью.

Крылья сложены крутопадающими (50—65°) известняками (I_2) образующими структурные гряды (5), резко возвышающиеся в рельефе, с ровными слабо расчлененными склонами; цвет породы светло-серый, пятнистый. Направление наклона пластов на крыльях складки совпадает с наклоном рельефа и обращено к центру структуры. Вулканогенные породы (I_2) затянуты чехлом рыхлых грубообломочных элювиально-делювиальных образований мощностью до 3 м и более (6); они дешифрируются по неоднородному серому тону и (местами) зернистой структуре (6), созданной глыбами свалившихся известняков. У подножия крутого склона известняков скапливаются мелкие конусы осыпания ярко-белого тона (7). Синклинальная складка дешифрируется по дугообразно расположенным структурным грядам известняков (5) и подчеркивается структурным уступом терригенно-карбонатной толщи (4), оконтуривающим центроклинальное замыкание складки.

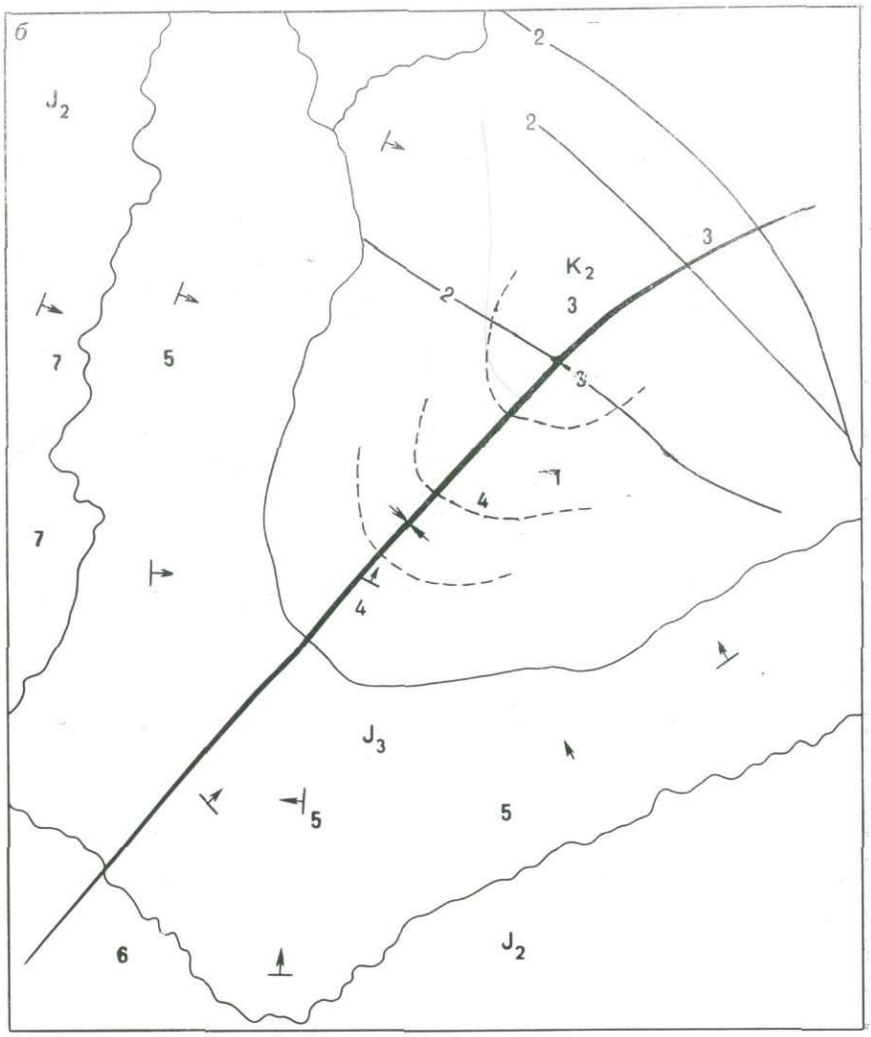
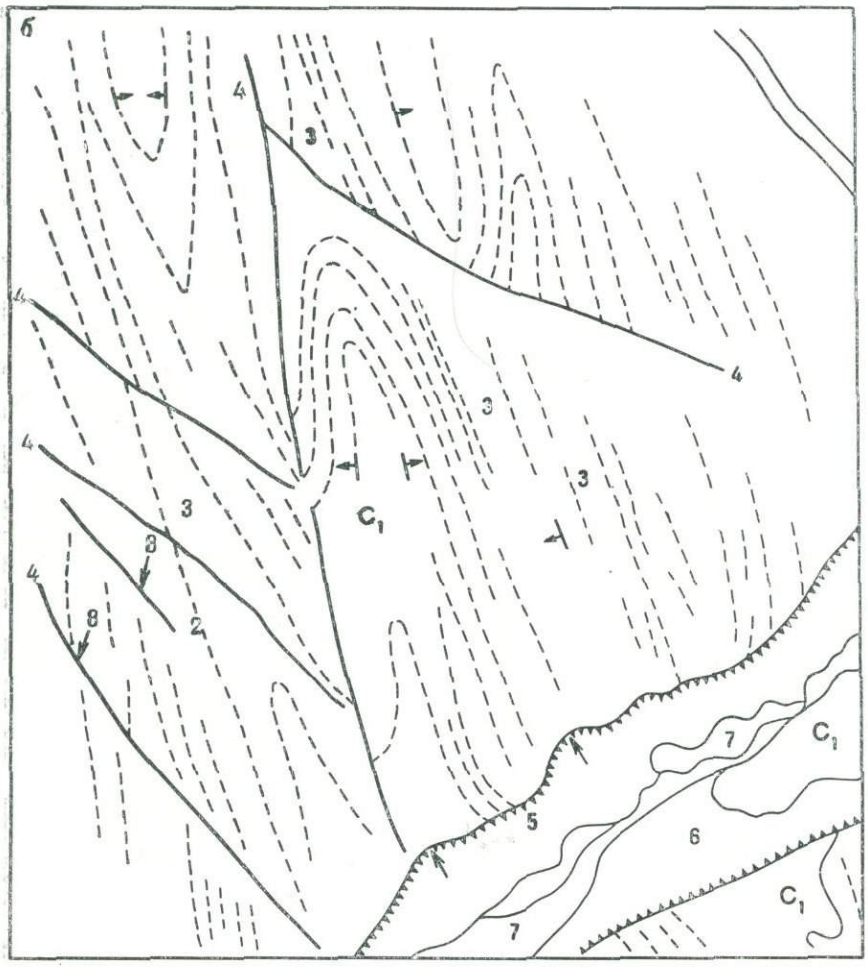

б
J2
2
2
3
K2
3
2
3
7
5
7
4
4
J3
5
5
6
J2



Рис. 20. Мелкая линейная складчатость. Горный Алтай:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1200 м); *б* — схема дешифрирования. Горы средневысотные со степной растительностью.

Узкие, линейные, прямые, реже асимметричные складки (1), вытянутые в меридиональном направлении, распознаются в вулканогенно-осадочной толще карбона. Крылья складок имеют крутое падение (60—90°), размах крыльев 250—300 м. Складки дешифрируются по ясно выраженной полосчатости, где светлые гривки (2) соответствуют горизонтам плотных лав и кислых туфов; темным пониженным участкам — пачки алевролитов (3). Породы интенсивно трещиноватые, разбиты разломами субмеридионального и северо-западного простираний (4), последние часто обводнены (8); 5 — первая надпойменная терраса; 6 — вторая надпойменная терраса; 7 — пойма.


б
4
3
4
4
3
3
3
4
3
3
4
3
2
C1
7
C1
5
6
7
C1

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ РАВНИННЫХ ОБЛАСТЕЙ И МЕЖГОРНЫХ КОТЛОВИН

Грунтовые воды



Рис. 21. Воды современных и верхнечетвертичных аллювиальных отложений (aQ_{III-IV}). Центр европейской части СССР:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 110—130 м); *б* — схема дешифрирования.

1 — торф; *2* — иловатые пески; *3* — пески; *4* — суглинки с прослоями песков; *5* — (0,5—3 м) — глубина залегания грунтовых вод.

Крупная речная долина с луговой, местами болотной растительностью, с участками соснового леса.

А. Пойма низкая высотой 0,5—3 м. Б. Пойма высокая (от 4 до 6 м). В. Первая надпойменная терраса высотой 12—16 м.

Грунтовые воды в современных аллювиальных отложениях (aQ_{IV}) приурочены к низкой и высокой пойме. Низкая пойма (А) характеризуется многочисленными веерами блуждания, образованными береговыми валами (1), протоками (2) и старицами (3); сложена преимущественно песками (4), покрыта влажными и сырыми лугами. Глубина залегания грунтовых вод устанавливается по приуроченности к данному типу низкой поймы, уточняется по высоте над урезом воды в реке, в старицах и протоках равна 0,5—5 м.

Высокая пойма (Б) характеризуется плоским рельефом, наличием стариц (6), небольших болот; сложена суглинками, местами торфянистыми, с прослоями песков и торфа. Дешифрируется она по наличию уступа (8) высотой 1—3 м, обращенному к низкой пойме, и характерному серому фототону с черными пятнами стариц; разрабатываемые торфяники (9) распознаются по мелкозернистому рисунку торфяных ям и темным пятнам озер (10). Глубина залегания грунтовых вод определяется стереоскопически по высоте берегов стариц, наличию болот и колеблется от 0,3—1 м на болотах до 2—6 м на незаболоченных участках.

Грунтовые воды в верхнечетвертичных аллювиальных отложениях (aQ_{III}) приурочены к I-й террасе, сложенной песками. Терраса обрывается уступом к высокой пойме (11) высотой 6—8 м. Глубина залегания грунтовых вод у бровки террасы примерно равна высоте уступа над высокой поймой с поправкой на глубину уровня воды в болотах и старицах, расположенных у подошвы уступа (7—10 м). Вдали от бровки террасы глубина грунтовых вод может быть определена по появлению воды в ручье (16) *при глубине вреза более* 4—5 м; 12 — Незадернованные участки террасы (светлый фототон); 13 — русло реки; 14 — молодой сосновый лес; 15 — спелый сосновый лес с примесью березы.

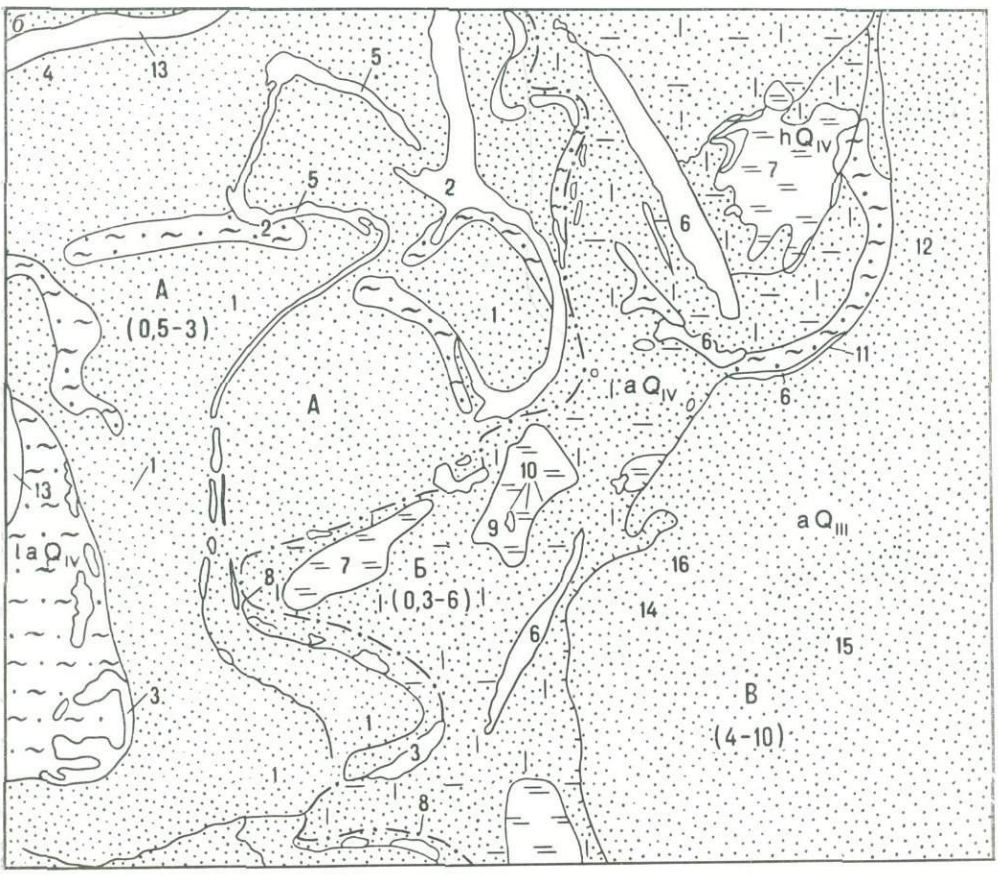

б
4
13
5
5
2
2
A
(0,5-3)
1
1
A
2
6
hQIV
7
12
6
11
aQIV
6
10
9
aQIII
13
1
aQIV
8
7
Б
(0,3-6)
16
14
6
15
3
B
(4-10)
1
3
1
8
1
2
3
4
(0,5-3)
5



Рис. 22. Воды в среднечетвертичных аллювиальных отложениях (aQ_{II}) *. Южная Сибирь.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 190—208 м).
А. Вторая подпойменная терраса, покрытая степной растительностью. Б. Первая надпойменная терраса и пойма, покрытые широколиственными лесами и лугами.
Древняя аллювиальная равнина (А), образованная II-й надпойменной террасой высотой 15—18 м, наклоненная от реки на северо-запад; она расчленена густой сетью ложбин (1), широкие днища которых заняты влаголюбивой растительностью (2). По изгибам этих ложбин местами прослеживаются следы блуждания древней реки (3). Терраса сложена аллювиальными галечниками (aQ_{II}) с прослоями гравия, песков с валунами и суглинками. Грунтовые воды в древнеаллювиальных отложениях у реки залегают на глубине 15—18 м, а у северо-западного края аэроснимка в ложбинах на глубине 7—10 м. Воды пресные, пригодные для питья и технических целей; водоносный горизонт водообилен.
Грунтовые воды дешифрируются по приуроченности к древнеаллювиальной равнине, распознаваемой по уступу террасы и наличию следов блуждания реки — изогнутых полос темно-серого фототона; состав отложений определяется по однородному серому фототону водоразделов с мелкими светлыми пятнами и точками обнаженного грунта (4). Глубина грунтовых вод у реки определяется по высоте террасы, а на северо-западе аэроснимка — по развитию в ложбинах влаголюбивой растительности, изображающейся в виде темных пятен, местами с мелкозернистой структурой, и глубине вреза ложбин (3—7 м). Значительная водообильность водоносного горизонта обуславливается питанием его водами крупной реки и хорошими коллекторными свойствами галечников. Небольшая минерализация вод подтверждается отсутствием следов засоления в ложбинах.
На первой террасе (6) и пойме (7) глубина залегания грунтовых вод может быть отдешифрирована по их высоте над урезом воды и соответственно равна 5—7 и 0,5—3 м; 5 — грунтовая дорога; 8 — шоссе.

---

* Аэроснимок отдешифрирован по данным ЛАЭМ и дополнительным литературным материалам.



Рис. 23. Воды в среднечетвертичных флювиогляциальных отложениях. Европейская часть СССР.

Плановый аэрофотоснимок крупного масштаба (абс. выс. 160—200 м).

А. Равнина возвышенная, волнистая, с песчаными дюнами, поросшая сосновыми лесами. Б. Равнина плоская, преимущественно распаханная, с участками сосновых и смешанных лесов. Мощные флюзиогляциальные пески на возвышенной волнистой равнине (А) дешифрируются по типичному зернистому и пятнисто-серповидному рисунку высокоствольных сосновых лишайниковых лесов (1) с песчаными дюнами (2) и разновозрастных посадок сосны (3 и 4). Грунтовые воды во флювиогляциальных песках дешифрируются косвенно по принадлежности к возвышенным флювиогляциальным равнинам с песчаными дюнами, поросшими высокоствольными сосновыми лишайниковыми лесами. Глубина залегания грунтовых вод в междюнных понижениях 7—10 м, на дюнах, достигших высоты 5—10 м, до 17 м и более. Грунтовые воды в пределах этой равнины развиты в толще мела и мергелей; глубина залегания вод ориентировочно определяется по глубине вреза ручья и равная 10—15 м; 5, 6 — освоенные земли; 7 — выходы коренных пород; 8 — грунтовая дорога; 9 — смешанный лес; 10 — шоссе.

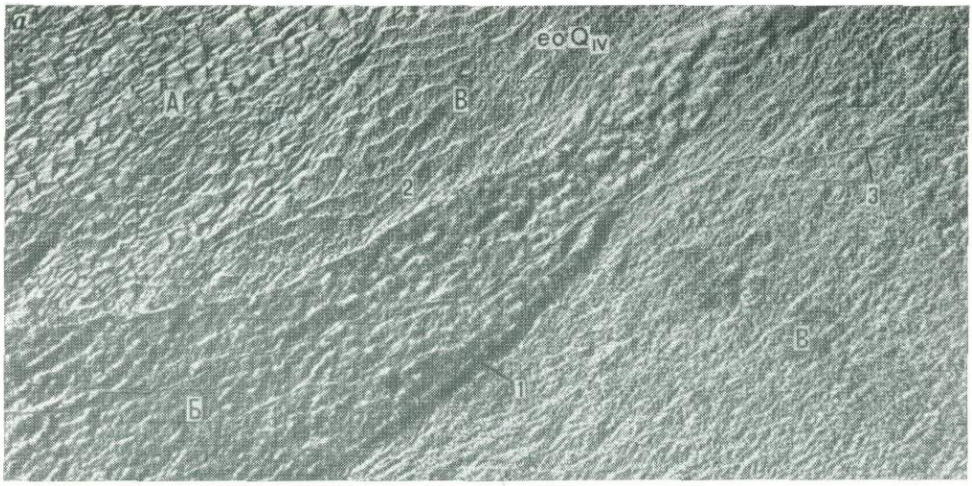


Рис. 24. Воды в лёссовидных суглинках (saQ_{III-IV}). Центр европейской части СССР.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 180—200 м).

А. Водораздельные поверхности возвышенной равнины. Б. Балки с широкими слабо заболоченными днищами.

Лёссовидные суглинки (saQ_{III-IV}) дешифрируются по типичному пятнисто-оспенному рисунку суффозионных западин (1), соединенных между собой темными полосами слабо выраженных потяжин (2), крутым склонам балок (3) и оврагов (4), а также ветвисто-перистому рисунку эрозионной сети. Мощность суглинков 8—15 м, определяется по высоте крутых склонов балок с плоскими широкими днищами. Наличие грунтовых вод в суглинках и глубина их залегания дешифрируются по появлению в днищах балок, при врезе более 6—10 м, водотоков (5) и местами по заболоченности днищ долин (6). в лёссовидных суглинках, кроме того, имеется верховодка, на что указывает обводненность наиболее крупных (диаметр до 50 м, глубина до 2 м) суффозионных западин (1), которые дешифрируются по темно-серому фототону; 7 — грунтовая профилированная дорога; 8 — грунтовая дорога; 9 — посадка сосны; 10 — одноколейная железная дорога; 11 — пашни; 12 — плотина.



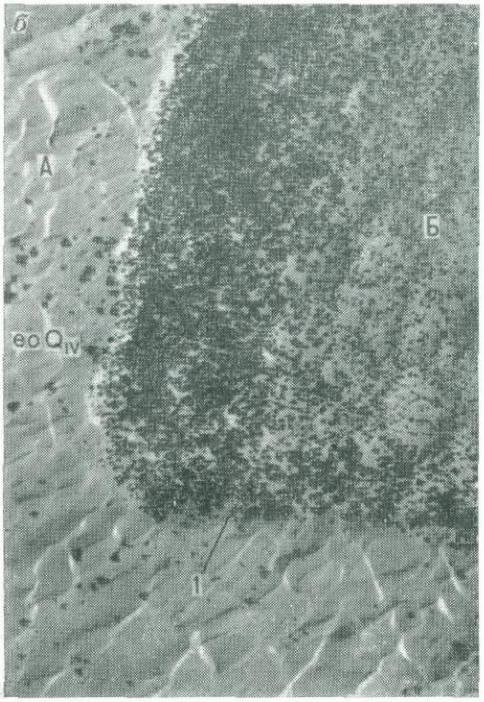


Рис. 25. Линзы пресных и солоноватых грунтовых вод в эоловых песках (eoQ_{IV}) *. Средняя Азия:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (*абс. выс. 180—205 м*); *б* — плановый аэрофотоснимок крупного масштаба.

Эоловая пустынная равнина с барханными и бугристыми закрепленными и полузакрепленными песками.

Линза пресных или слабосолоноватых вод индицируется понижением (Б) с бугристо-ячеистыми песками, закрепленными мощными зарослями черного саксаула, расположенным среди барханных песков (А). Сама линза расположена под барханными песками. Глубина залегания этих вод обычно колеблется от 5 до 10, реже 15 м. Близкое залегание вод наблюдается в местах наиболее густых зарослей черного саксаула (1).

Линзы солоноватых, реже пресных вод приурочены к бугристым пескам (В), полузакрепленным черным саксаулом (2). Глубина залегания вод здесь 15—20, реже до 40 м; 3 —тропа.

* *Аэроснимок отдешифрирован по материалам* ЛАЭМ К. И. *Нефедовым и* Т. А. Поповым (1969 г.).



Рис. 26. Карстовые воды в известняках карбона (C_1). Центр европейской части СССР.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 130—140 м).
Равнина моренно-зандровая, плоская, преимущественно распаханная, с участками широколиственных и мелколиственных лесов.
На аэроснимке четко видны карстовые воронки (1) в известняках (C_1) — темные округлые и овальные пятна, ориентированные в направлении трещиноватости известняков (азимут 30—40 и 300—320°); у овальных и слившихся воронок (2) к этим направлениям приурочены длинные оси воронок. На дне отдельных воронок имеются действующие поноры (3). Часть воронок заилена, вследствие чего в них образуются мелкие временные озера (4).
Карстовые грунтовые воды в известняках дешифрируются по наличию многочисленных воронок. Интенсивные закарстованность и трещиноватость известняков указывают на относительную водообильность водоносного горизонта, а глубина воронок — на залегание вод глубже 10 м. В окружающих населенных пунктах (5) карстовые воды вскрыты колодцами на глубине 12—18 м. Воды пресные гидрокарбонатные (минерализация 0,6 г/л).

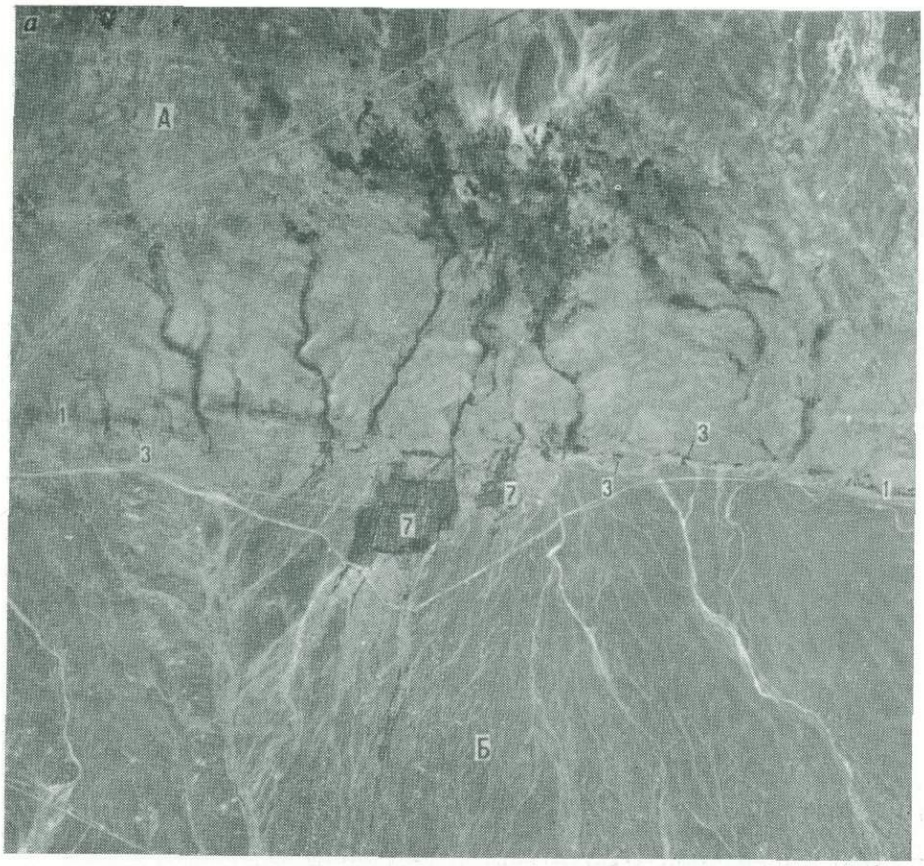


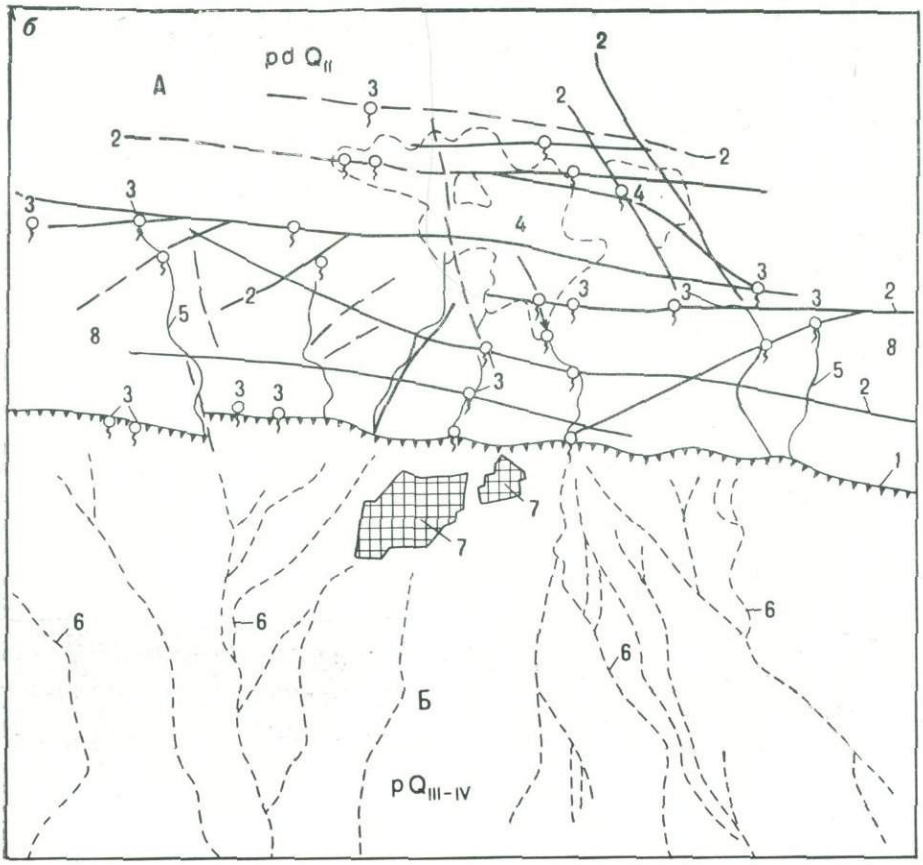
Рис. 27. Выходы трещинных вод из терригенных пород палеозоя. Тянь-Шань:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1000—1200 м); *б* — схема дешифрирования.

А. Предгорная равнина, покрытая полупустынной растительностью. Б. Предгорная равнина аккумулятивная с пустынной растительностью.

Наклонная предгорная аккумулятивная денудационная равнина (А) отделена от предгорной аккумулятивной равнины (Б) крупным разломом (1) субширотного простирания, который выражен в рельефе в виде уступа высотой 5—10 м. В пределах равнины прослеживается серия разломов и трещин (2), «просвечивающих» через маломощный чехол рыхлых отложений. По этим разломам трещинные воды палеозойских отложений выходят на поверхность в виде родников (3) и мочажин (4), приуроченных к наиболее раздробленным участкам коренных пород. Родники дают начало небольшим ручьям (5) с постоянным течением. Воды пресные, пригодные для питья и технических целей. Ручьи прослеживаются только до границы аккумулятивно-денудационной равнины (А). На аккумулятивной равнине (Б) ручьи исчезают, поглощаясь аллювиально-пролювиальными отложениями, и в ее пределах видны лишь сухие русла временных блуждающих потоков (6).

Выходы подземных трещинных вод в виде родников и мочажин распознаются по приуроченности черных пятен (3 и 4) влаголюбивой растительности к прямым линиям-разломам (2), участкам интенсивного дробления коренных пород, а также по черным извилистым линиям — ручьям (5). На небольшую минерализацию подземных вод косвенно указывают отсутствие солончаков и использование вод ручьев на орошение полей (7); 8 — выходы коренных пород.


б
pd Q_{II}
А
Б
pQ_{III-IV}
1
2
3
4
5
6
7
8

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ГОРНО-СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Грунтовые воды



Рис. 28. Пластово-трещинные воды лавового потока андезито-базальтов ($\alpha\beta Q_{II}$). Закавказье.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1470—1800 м).

А. Лавовое плато распаханное, с участками горно-степной растительности. Б. Горы средневысотные эрозионные, покрытые горно-степной растительностью.

Лавы андезито-базальтового потока, слагающие плато (А), пористые, интенсивно трещиноватые, выветрелые, обводненные. Края плато обрывистые, образуют карниз (1) высотой 25—30 м в верхней части склона современной долины; у подножия карниза на контакте лав с подстилающими их вулканогенно-осадочными (Р) породами (2) наблюдаются выходы грунтовых пластово-трещинных вод в виде мелких родников (3). Воды пресные, пригодные для питья и технических целей; глубина залегания вод 25—40 м.

Глубина залегания вод может быть определена по высоте карниза с учетом колебания высот поверхности плато. На небольшую минерализацию вод указывает отсутствие следов засоления; 4 — пашни; 5 — нераспаханные участки; 6 — слоистость в вулканогенно-осадочных породах; 7 — разлом; 8 — участки с лесной растительностью по дну долины.



Рис. 29. Пластово-поровые и трещинные воды в песчано-глинистых отложениях и слабо сцементированных рыхлых конгломератах (N_2—Q), связанные с тектоническими нарушениями. Тянь-Шань

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 2200—3100 м).

Горы высокие, эрозионные с пустынной и полупустынной растительностью.

Трещинные и пластово-поровые воды разгружаются по тектоническим нарушениям (1) в виде родников (2) и рассредоточенных выходов вод (3). Питание водоносного горизонта происходит за счет стока и поглощения атмосферных осадков густой сетью сухих саев и оврагов (4). Возможно также и подпитывание этих вод трещинными водами подстилающих палеозойских пород. Местами наблюдаются оползни (5), приуроченные к контакту водопроницаемых (песчаных) и водоупорных (глинистых) прослоев. Дебиты источников непостоянны и подвержены сезонным колебаниям. Воды пресные или слабосолоноватые.

Выходы вод дешифрируются по черным пятнам влаголюбивой растительности, расположенным преимущественно по линиям тектонических нарушений, реже по наличию оползней. Небольшая минерализация вод определяется по отсутствию следов засоления у родников и наличию арыков (6). Иногда в местах пересечения разломами долин пятна влаголюбивой растительности имеют треугольную форму (7), обращенную вершинами вверх по течению ручья, и занимают все днище долины. Вероятно, это связано с подпруживанием вод родников и подруслового потока ручья тектоническим уступом или изменением наклона падения коренного ложа долины, вызванного неотектоническими движениями.



Рис. 30. Выход на поверхность подземной карстовой реки из известняков верхнего мела. Большой Кавказ.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 120—400 м).

А. Предгорья денудационно-эрозионные, частично распаханные, поросшие широколиственными лесами и кустарниками. Б. Равнина аллювиально-пролювиальная, распаханная, с участками широколиственных лесов.

Подземная карстовая река вырывается на поверхность мощным потоком (1) у подножия скалистого обрыва (2), сложенного закарстованными массивными известняками мела. Поток дает начало реке (3) с постоянным течением и глубоко врезанной долиной (4). Расход реки непостоянный, после сильных дождей и снеготаяния в горах может увеличиваться в десятки раз. Воды пресные (минерализация 0,3 г/л), пригодные для питья и технических целей.

Выход на поверхность подземной реки дешифрируется по ее истоку из обрыва (2), водной поверхности потока — черного фототона (1), а также по глубоко врезанной долине (4). Косвенными указаниями на значительный расход воды подземной реки могут служить ширина потока (1) и наличие разработанной долины.



Рис. 31. Трещинные воды в песчано-сланцевых отложениях нижнего мела (K_1). Дальний Восток.

а — плановый аэрофотоснимок мелкого масштаба (абс. выс. 200—550 м); *б* — схема дешифрирования.



А. Склоны низких гор, покрытые лиственничными и еловыми лесами. Б. Долина реки, сильно заболоченная, местами залесенная. Низкие горы разбиты серией тектонических нарушений СВ и СЗ простираний (1). Зоны тектонических нарушений обводнены в нижних частях склонов и вдоль них выходят источники (2), местами через 10—20 м с дебитом 0,01—0,3 л/с; часто наблюдаются и рассредоточенные выходы вод (3). Воды пресные, пригодные для питья и технических целей. Обводненные зоны тектонических нарушений дешифрируются по резким прямолинейным перегибам рельефа и по приуроченности к ним выходов источников, изображаемых на аэроснимке в виде темных пятен с плотной мелкозернистой структурой, образованных влаголюбивыми еловыми лесами. Источники дают начало многочисленным ручьям (4), четко читаемым на аэроснимке. Большое количество источников и ручьев косвенно указывает на относительно высокую водообильность этой зоны: 5 — острые гребни водоразделов; 6 — низинное болото, местами поросшее лиственным лесом.



Рис. 32. Трещинные воды в эффузивах силура — девона. Тянь-Шань.

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1350—2400 м); *б* — схема дешифрирования.

А. Высокие аридные эрозионные горы, покрытые горно-степной растительностью. Б. Межгорная котловина с солончаками, поросшая полупустынной растительностью.

Выходы трещинных вод в эффузивах и туфах приурочены к серии разломов и трещин северо-восточного, субширотного и субмеридионального простираний (1). Родники (2) и мочажины (3) располагаются линейно по простиранию тектонических нарушений, они индицируются влаголюбивой растительностью черного фототона. Воды слабо сочатся, накапливаясь в заболоченных понижениях типа «саз», и стекают в соленое озеро (6) по слабо выработанным заболоченным и заросшим руслам (4). Дебиты родников подвержены резким сезонным колебаниям; в конце лета родники пересыхают. В горах подземные воды пресные, вблизи озера соленые.

Соленое озеро (6), питаемое паводковыми и подземными водами, находится в стадии усыхания, о чем свидетельствуют уровни верхнего стояния воды, индицируемые полосой солончака белого фототона (7); 5 — скалистые гребни водоразделов; 8 — солончаки на поверхности межгорной котловины.

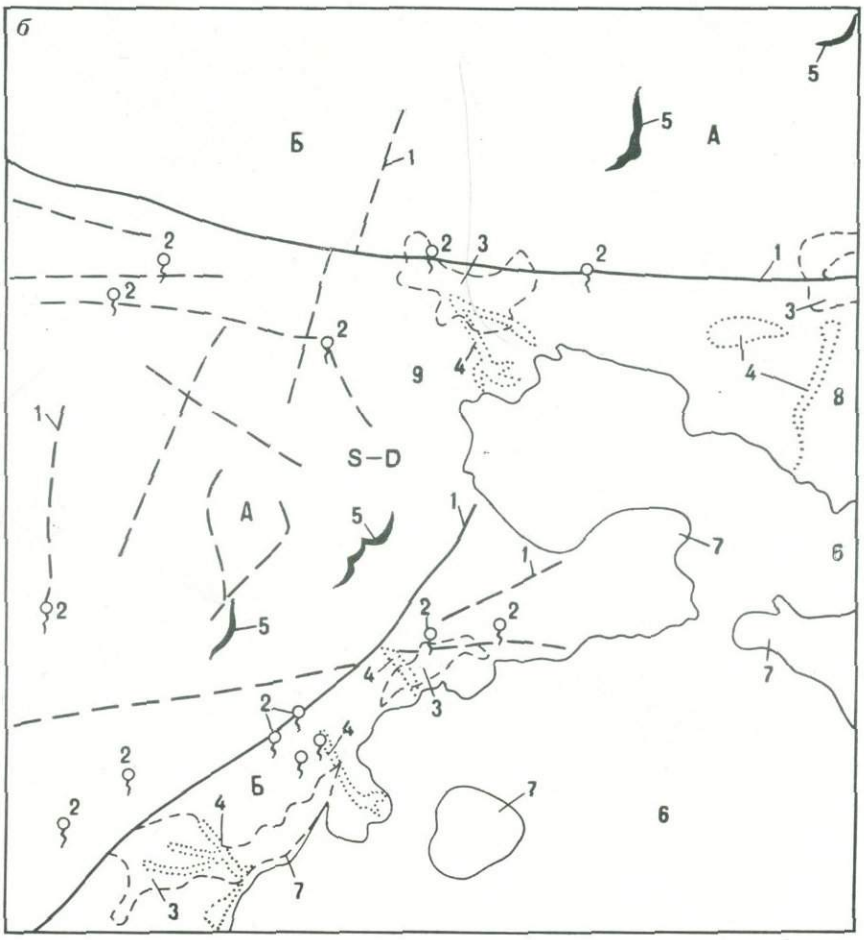

б
Б
А
S–D
9
8
6
7
6
Б
А



Рис. 33. Выход восходящего источника по разлому в метаморфических породах (AR—PR). Восточный Саян.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 900—1500 м).
А. Горы средневысотные, эрозионные, покрытые хвойными лесами. Б. Днище межгорной впадины с лесной растительностью.

Средневысотные эрозионные горы (А) граничат с межгорной впадиной (Б) по тектоническому уступу (1) высотой 10—15 м, образованному крупным разломом. Тектоническое происхождение уступа подтверждается его прямолинейностью на значительном протяжении и развитием местами вдоль его подножия рва глубиной 1—3 м, шириной до 5 м. Из этого разлома выходит минеральный восходящий источник (2). Дешифрируется источник по приуроченности к разлому, сосредоточенности выхода и наличию небольшого ручья (3), вытекающего из него. Отсутствие лесной растительности на пойме этого ручья косвенно указывает на минерализацию его вод, препятствующую произрастанию лесной растительности.

Грунтовые воды

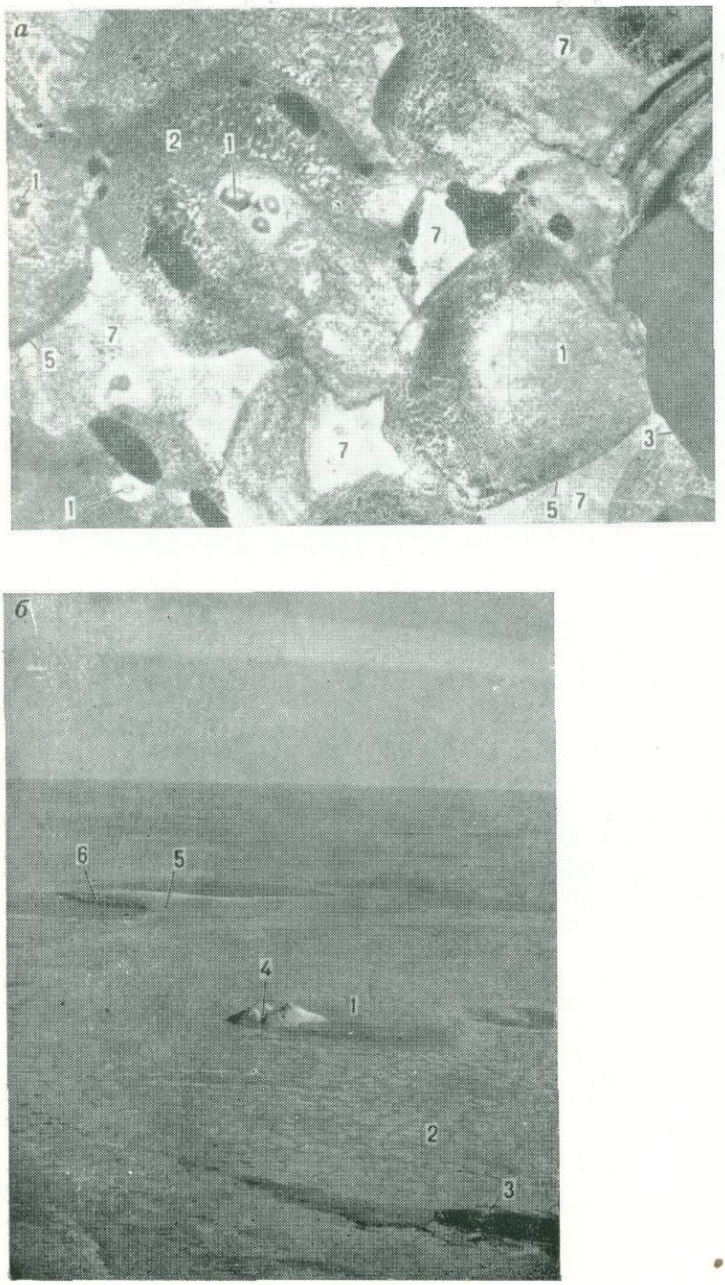


Рис. 34. Грунтовые надмерзлотные воды, обладающие местным напором. Чукотка:

а — плановый аэрофотоснимок мелкого масштаба (абс. выс. 5—25 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок.

Равнина озерно-аллювиальная, тундровая, интенсивно переработанная термокарстовыми процессами. Индикаторами надмерзлотных грунтовых вод, обладающих местным напором, являются бугры булгуняхи (1), развитые преимущественно в днищах аласов. Бугры булгуняхи имеют округлую форму: диаметр 50—200 м, высота 5—20 м. В центре бугра залегает ледяное ядро, прикрытое сверху торфом и суглинками, разбитое трещинами, по которым поступают напорные надмерзлотные воды. В поздней стадии развития бугров вершина у них бывает разрушена (4) и в ней часто располагаются озера глубиной до 5—7 м. Дешифрируются бугры (1) по типичной форме и приуроченности к днищам аласов.

Аласы дешифрируются по ориентированному крупнопятнистому рисунку темного фототона с черными пятнами термокарстовых озер (3) и мелкопятнисто-ячеистому рисунку полигонально-валиковой тундры (2). Участки межаласных повышений с кочкарной тундрой (7) возвышаются над днищами аласов на 1—5, реже до 10—20 м; дешифрируются по светло-серому фототону с мелким черным крапом, а также по наличию уступов (5) к аласам, часто осложненных байджарахами (6).

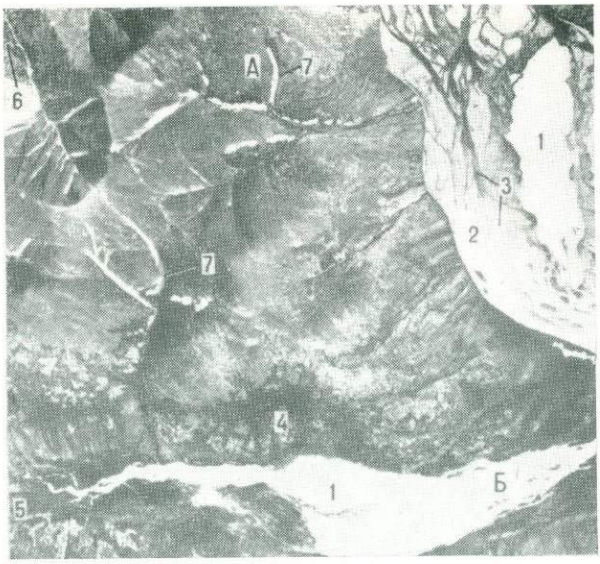


Рис. 35. Грунтовые воды подруслового потока (aQ_{IV}). Чукотка.

Плановый аэрофотоснимок мелкого масштаба (абс. выс. 320—600 м).

А. Склоны гор низких, эрозионно-денудационных, покрытых каменисто-лишайниковой тундрой, с участками лиственничного редколесья на южных склонах. Б. Долины рек с широкими днищами, с участками лиственных лесов и зарослей кедрового стланика.

На расширенных участках днищ речных долин (Б), занятых поймой, имеются небольшие наледи (1), разделенные на отдельные участки галечниковыми отмелями (2), *освободившимися* ото льда, и речными протоками (3). Подобные небольшие наледи со следами интенсивного таяния обычно являются сезонными и служат индикаторами подрусловых потоков грунтовых вод, непромерзающих круглый год. Расширенные участки пойм дешифрируются по характерному струйчатому рисунку протока (3) черного и серого фототона и светло-серому фототону галечниковых отмелей (2). Наледи (1) дешифрируются по бесструктурному белому фототону и приуроченности к расширенным участкам пойм; 4 — лиственничное редколесье; 5 — лиственные леса; 6 — заросли кедрового стланика; 7 — снежники в горах.

Подмерзлотные воды

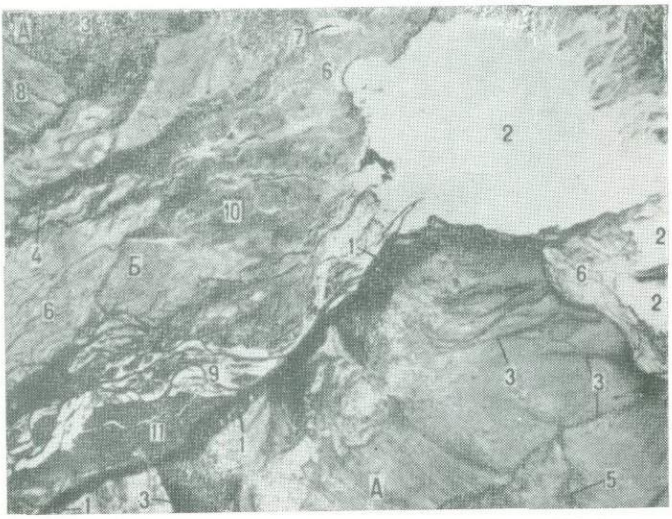


Рис. 36. Наледь, приуроченная к зоне разлома. Чукотка.

Плановый аэрофотоснимок мелкого масштаба (абс. выс. 293—400 м).

А. Склоны гор низких, эрозионно-денудационных, покрытых каменисто-лишайниковой тундрой. Б. Долина реки широкая, прямолинейная, с участками лиственных лесов и зарослей кедрового стланика.

Индикатором подмерзлотных вод в области развития многолетнемерзлых пород являются наледи в долинах рек, заложенных по тектоническим нарушениям.

Зона тектонического нарушения дешифрируется по широкой прямолинейной долине (Б), наличию обрывистого уступа (1) на ее правом склоне и обширной наледи (2), не соответствующей размерам водного потока в долине. Зона тектонического нарушения также подтверждается наличием многочисленных мелких разломов и тектонической трещиноватости в породах, слагающих склоны долины и окружающие горы (А). Мелкие разломы и тектоническая трещиноватость дешифрируются по прямолинейным долинам мелких ручьев (3) и речек (4), местами к ним приурочены родники (5). Наледь (2) дешифрируется по бесструктурному пятну ярко-белого фототона и струйчатому рисунку изображения русел, вытекающих из-под нее. Приуроченность наледи к долине, проходящей по зоне тектонического нарушения, указывает на образование ее за счет выхода межмерзлотных или подмерзлотных напорных вод. Подтверждением этого является значительный размер наледи, тем более, что, судя по размерам наледной площади (6), величина ее была значительно больше видимой на аэроснимке; 7 — снежник; 8 — конусы выноса; 9 — *галечниковые отмели*; 10 — *кустарниковая растительность* на пойме; 11 — лиственные леса на пойме.

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

ГРАВИТАЦИОННЫЕ

Обвалы



Рис. 37. Крупный обвал, перегородивший долину реки. Кавказ:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 960—1790 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок.

Горы средневысотные эрозионные, глубоко расчлененные, покрытые широколиственными лесами. Четко прослеживается тело обвала (1), перегородившее ущелье. Обвальная масса образована крупными (до 15—20 м в диаметре) глыбами светло-серого известняка, иногда скапливающимися в громадные валы (2), обращенные выпуклой стороной вниз по склону и подчеркнутые полосами и пятнами широколиственных лесов (3). Положение обвала фиксируется расширенной частью озера, где и наблюдаются крупноглыбовые образования. Область отрыва обвала проходит вдоль зоны тектонического нарушения (6), выраженного в рельефе отвесной стеной высотой 200—300 м. 4 — озеро; 5 — культурные земли.

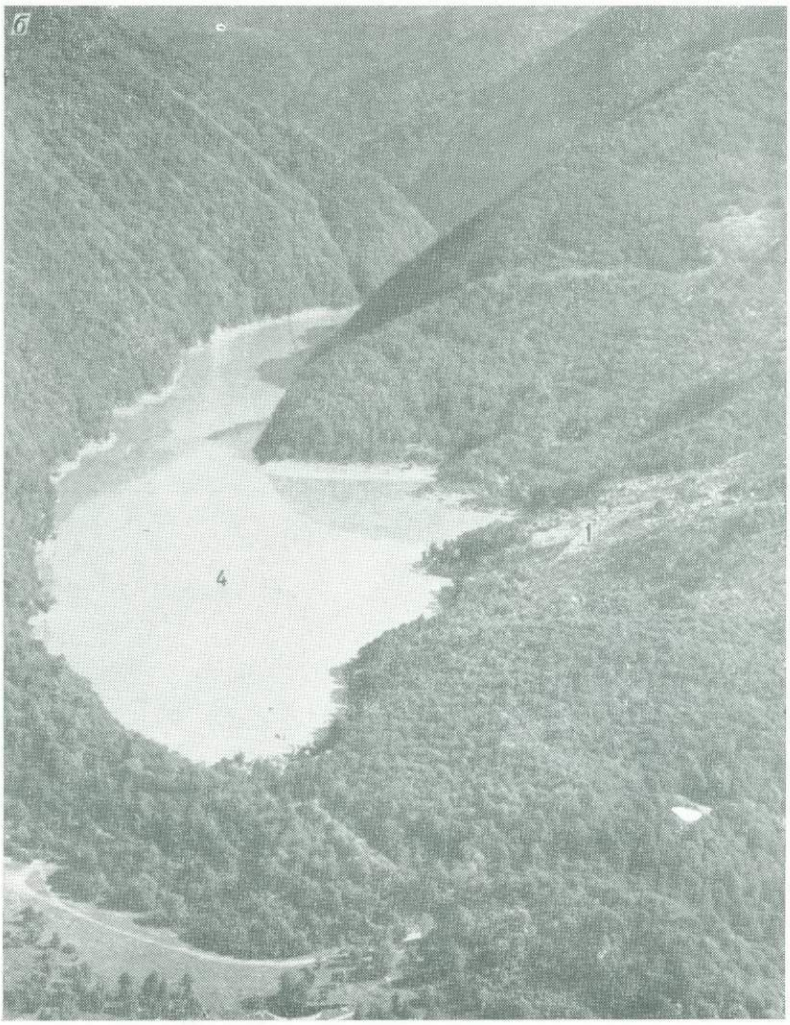

б
4
1



Рис. 38. Крупный обвал, перегородивший долину небольшой реки. Тянь-Шань.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 2900—3200 м).
А. Склоны гор высоких, эрозионных, сильно расчлененных, с альпийскими лугами. Б. Днище речной долины.
Крупный обвал (1) возник на крутом склоне гор (2), где видны обнаженные горные породы в области отрыва и транзита (3). В области аккумуляции четко дешифрируется тело обвала, имеющее характерную выпуклую натечную форму переднего края. Зернистая структура рисунка обусловлена крупноглыбовыми (до 20 м в диаметре) отложениями. Тело обвала образовало запруду долины небольшой реки (4), в результате чего возникло озеро (5). Запруда прорезана ущельем (6); 7 — отдельные крупные глыбы; 8 — террасы реки; 9 — конусы выноса

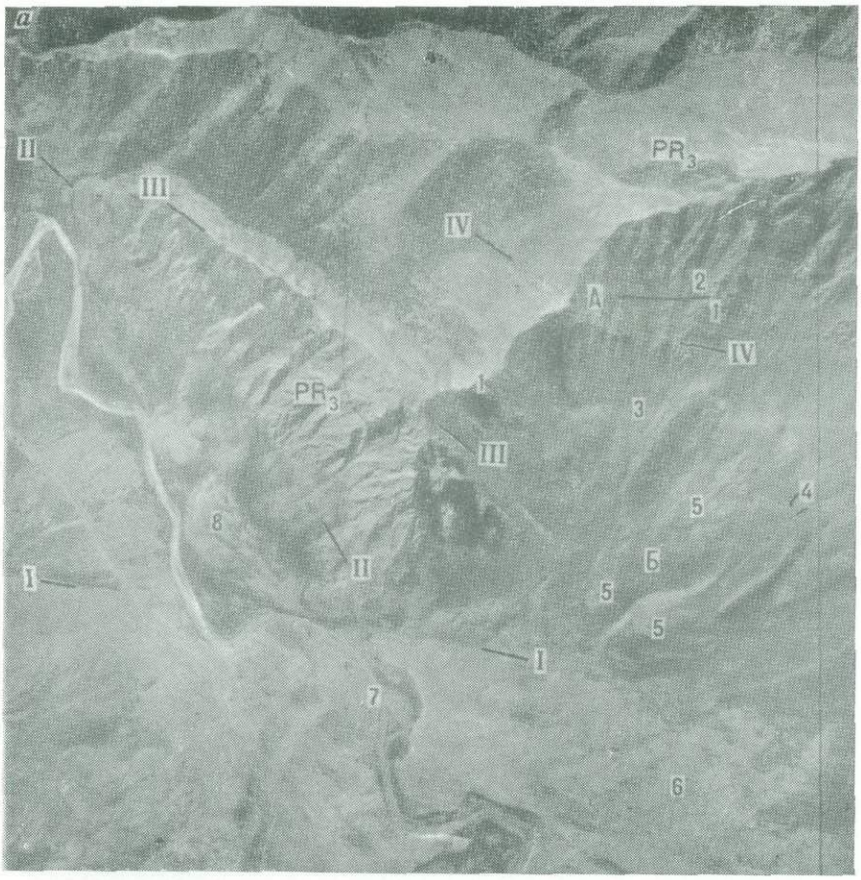


Рис. 33. Крупный обвал-оползень. Южная Сибирь:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 2000—2500 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок.

Горы эрозионные, умеренно расчлененные, покрытые субальпийскими лугами и лиственнично-кедровыми лесами.

Крупный обвал произошел в зоне тектонических нарушений, (I—I, II—II, III—III, IV—IV), где породы сильно трещиноваты и раздроблены. Ниша отрыва (А) расположена на 300—400 м выше основания обвалившейся массы (Б). Обвальная ниша выражена неровной дугообразной стеной с многочисленными скалистыми останцами (1), разделенными кулуарами (2) и крутыми конусами осыпания (3), чередующимися с многочисленными лотками (4) — путями движения камнепадов и лавин. Обвалившаяся масса (Б) сложена щебнисто-глыбовым материалом; имеет характерную выпукло-фестончатую форму, обусловленную солифлюкционным оползанием (5). У основания обвалившейся массы, вдоль тылового шва днища долины отмечаются нагромождения глыб — зона аккумуляции древних камнепадов (6), закрепленных почвенно-растительным покровом. Обвал древний покрыт лиственнично-кедровым лесом; 7 — русло реки; 8 — оплывы.


б
PR3
IV
2
2
1
A
1
3
4
IV
3
Б
I
5
5
I
6





Рис. 40. Крупнообломочные осыпи. Средняя Азия: *а* — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 3650—4800 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок.

Описание планового аэрофотоснимка. Горы высочайшие, эрозионные, пустынные. Коренные склоны глубоко врезанной троговой долины имеют выпуклый профиль, сложены трещиноватыми гранитами; склоны испещрены эрозионными бороздами и кулуарами (1), по которым движется крупноглыбовый материал. Характерен сетчатый контрастный рисунок изображения (система трещиноватости гранитов). Конусы осыпания имеют удлиненную форму, их углы наклона близки к углам естественного откоса (2). Характерны камнепады, идущие по лоткам (3), пролювиальные конусы выноса (4), обвалы (5).

Описание перспективного аэрофотоснимка. Коренной берег глубоко врезанной долины крупной реки расположен в зоне разлома и сложен метаморфическими породами, сильно трещиноватыми и раздробленными. Крутой, местами отвесный склон долины расчленен многочисленными глубокими эрозионными бороздами и ложбинами (1), по которым скатываются лавины, камнепады и осыпи. Осыпи образуют крутосклонные конусы осыпания (2), сложенные крупноглыбовым материалом; верхние части осыпей местами поросли елово-лиственничным лесом (3), среди которого отчетливо дешифрируются оголенные полосы осыпей (4) — пути скатывания отдельных крупных глыб (камнепады), которые доходят до русла реки (5). Нижние части осыпей активны (6). В устьевых частях глубоко врезанных ущелий (7) образуются конусы выноса, сложенные делювиально-пролювиальным материалом (8); 9 — пойма реки.

Оползни

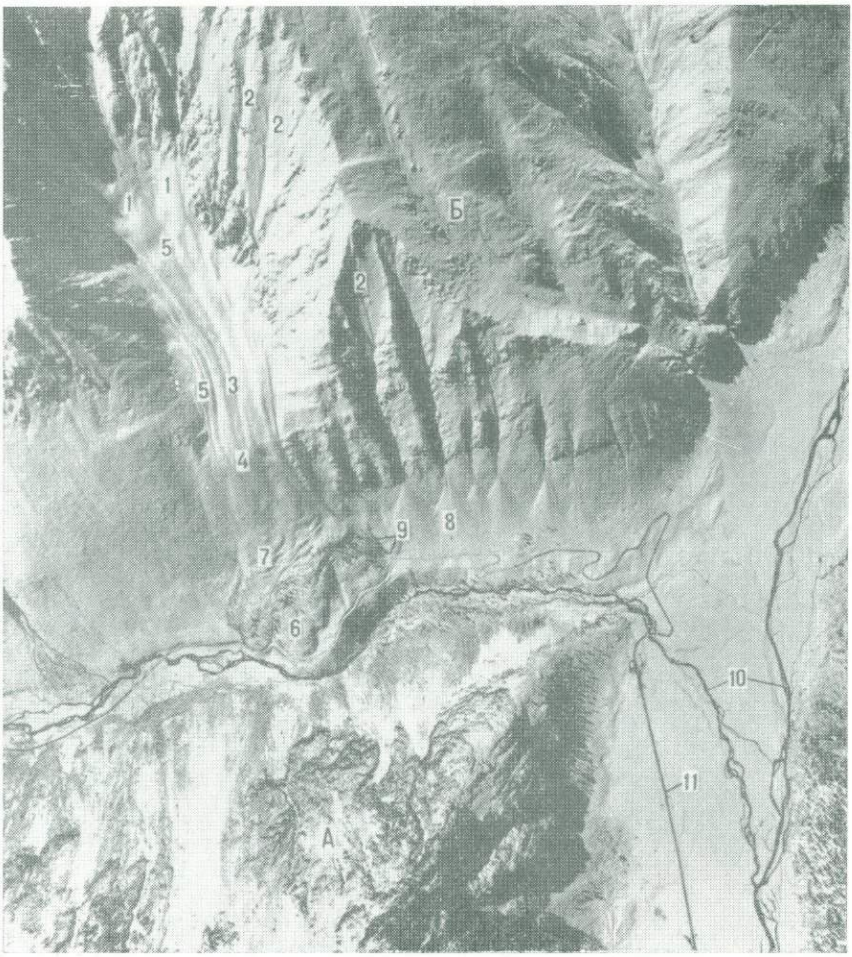


Рис. 41. Оползень глетчерообразный и осыпи. Тянь-Шань:

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 2300—3000 м). Горы высокие, резко расчлененные.

Оползень возник на днище эрозионного цирка, возможно, разрушенного кара, где скапливается крупноглыбовый материал конусов осыпания (1) и камнепадов, поступающих из расходящихся веером эрозионных борозд (2) и кулуаров. Масса оползня состоит из переувлажненного делювия (глыбы и щебень с суглинком и дресвой). Склоны цирка скалистые, почти отвесные, сложены легко разрушающимися трещиноватыми песчаниками и сланцами (S). Область транзита (3) проходит по днищу цирка, уступу ригеля (4) и очень крутому склону долины (трога?). Наиболее длинные полосы течения грунта (5) начинаются от устьевых частей отдельных эрозионных борозд, что создает полосчатый рисунок изображения потока. Область аккумуляции оползня (6) имеет натечную фестончатую форму благодаря наличию валообразных, поперечных

течению гребней. Древняя часть оползня огибается руслом реки и поросла лесом (9). Характерны свежие оползни (7), поступающие из области питания. Осыпи (8) скапливаются у подножия склонов, формируясь за счет тех же трещиноватых пород. Они спускаются по эрозионным бороздам (2), кулуарам, образуя крутосклонные конусы осыпания. Характерен струйчатый фестончатый рисунок шлейфа и зернистая структура, обусловленная наличием крупных глыб (до 2,5 м); 10 — русло реки; 11 — дорога



Рис. 42. Оползни фронтальные. Дальний Восток.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 125—230 м).

А. Плато аккумулятивно-эрозионное, холмисто-увалистое, поросшее сосново-дубовыми лесами.

Б. Аллювиальная равнина, пойменная, с заболоченными лугами и древесно-кустарниковой растительностью.

На большом протяжении берег реки высотой 50—70 м подвержен оползням. Формирование оползней древних и действующих определяется геологическими условиями: в основании оползневого склона лежат пластичные глины и алевриты, а также алевролиты олигоценового возраста, смятые в мелкие складки, обводненные по трещинам. На них залегают водоносные глинистые пески с гравием и галькой.

Рельеф оползней параллельно-увалисто-грядовый (1); между грядами наблюдаются понижения (2). Надоползневой откос высокий, местами обнаженный (3), чаще залесен (4). Оползни имеют в плане циркообразную форму. Рисунок изображения пятнисто-полосчатый.



Рис. 43. Крупногрядовый фронтально-вытянутый оползень. Русская равнина.

Перспективный аэрофотоснимок. Равнина денудационно-эрозионная, степная.

Оползень образовался в толще мергельно-меловых отложений (K_2), содержащих ряд водоносных горизонтов. Решающее значение непрочного основания склона в оползневом процессе имела толща глауконитовых водонасыщенных песков сеномана.

Надоползневой откос (1) крутизной 25—75° оконтуривает пологоволнистую поверхность равнины, покрытую лёссовидными суглинками, изрезанную потяжинами (2) и оврагами (3), заканчивающимися промоинами (4), глубоко врезанными в надоползневой откос. Вдоль откоса березово-дубовый лес (5); оползневые гряды (6) покрыты степной растительностью и имеют светлый тон; межгрядовые понижения (7) заняты куртинами клена, дуба, березы. Отдельные гряды отделены от основного тела водной поверхностью водохранилища. Структура рисунка оползневого тела крупнополосчатая, изогнутой формы. Общая длина оползня 5 км (на аэроснимке — фрагмент оползня).

Возраст оползня — средне — верхнечетвертичный.

Оползень стабилен; отмечаются обвалы и оплывины в нижней части склона (8), в зоне воздействия водохранилища; 9 — дорога; 10 — культурные земли.



Рис. 44. Крупноступенчатые оползни-сдвиги. Средняя Азия:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. —30, +75 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок.

Плато пластовое с пустынной растительностью.

Оползни развиваются вдоль чинка плато; происходит обрыв крупных блоков пород (1) чинка и сползание их по водоупорным глинам. Наряду со сползанием отмечается опрокидывание блоков (2). Трещины (3), широко развитые у края чинка, способствуют отрыву и перемещению блоков вниз по склону. Межблоковые понижения (4) выражены нечетко. Надоползневой откос (5) крутой, почти отвесный. Рисунок изображения оползней широкополосчатый, полого изогнутый. Отмечается поперечная полосчатость, обусловленная наличием многочисленных промоин (6), прорезающих оползневые блоки. В устьевых частях промоин формируются пролювиальные конусы выноса (7). На поверхности плато четко прослеживаются структурные уступы (8) высотой 1,5—2 м.

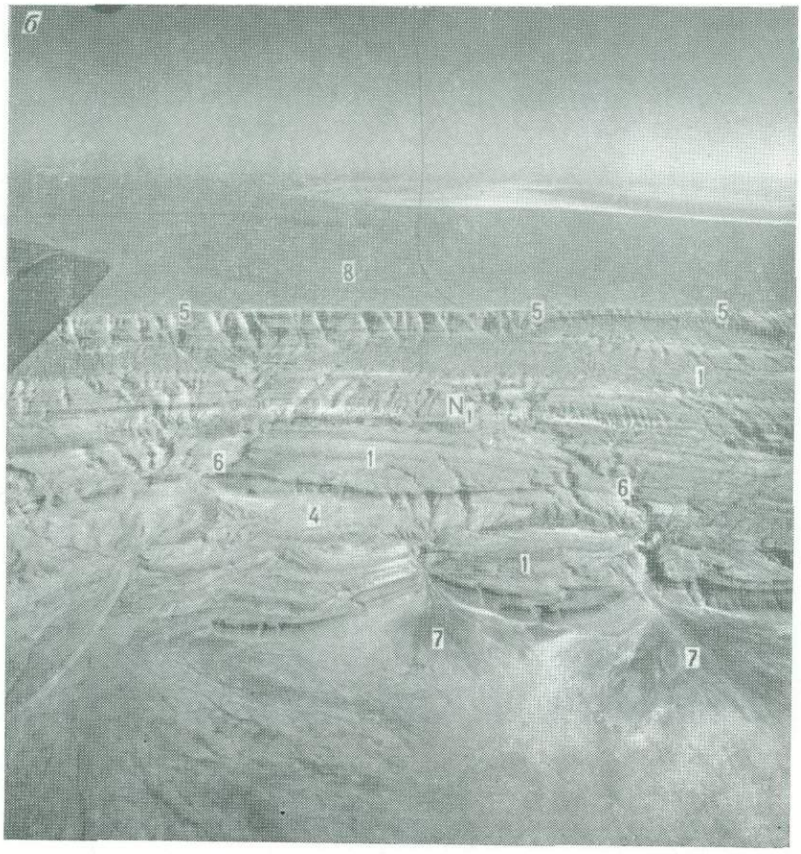

б
8
5
5
5
1
N
1
6
1
6
4
1
7
7



Рис. 45. Оползни-сплывы на древнеоползневых склонах. Центр Русской равнины.
Перспективный аэрофотоснимок (абс. выс. 90—140 м). Равнина денудационно-эрозионная, лесостепная.
Действующие оползни-сплывы (1) возникли под воздействием колебания уровня водохранилища и волноприбойных процессов. Оползни образовались на древнеоползневых склонах, сложенных карбонатно-глинистыми отложениями мела в нижних частях межоползневых гребней (2). Оползни четко выделяются по изогнутому надоползневому откосу (3) и мелкополосчатому, поперечному склону, рисунку поверхности. В зоне действия водохранилища дешифрируется абразия берега (4); 5 — широколиственный лес; 6 — культурные земли.

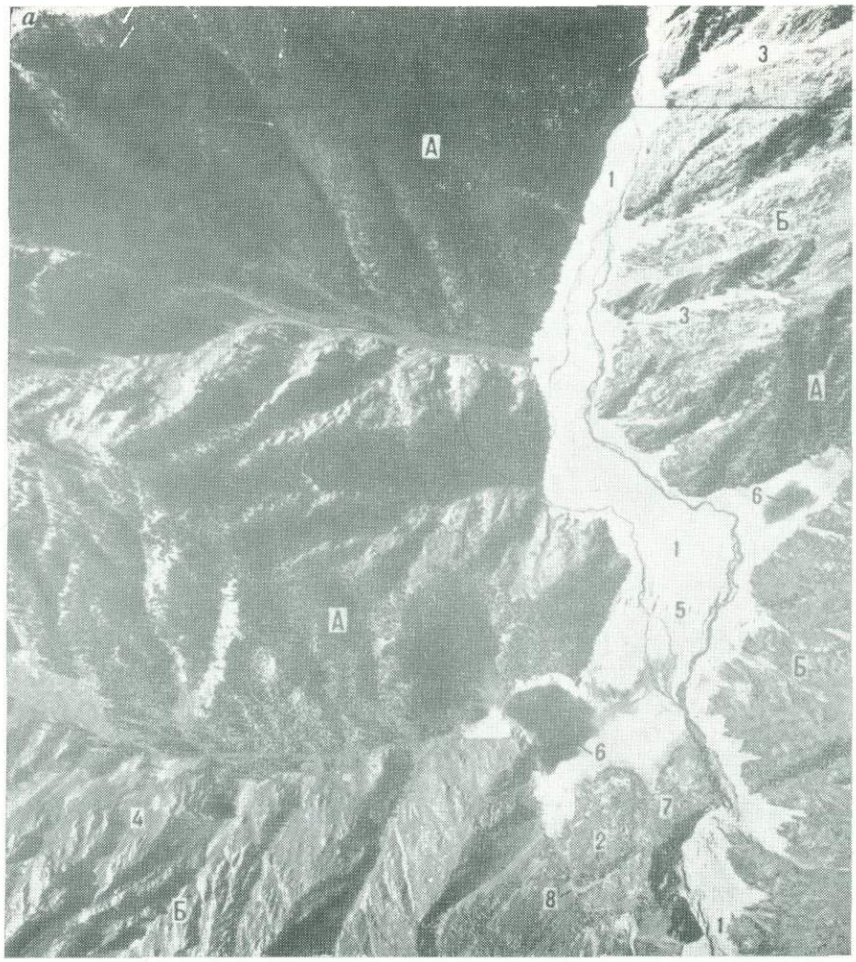


Рис. 46. Селевый поток. Тянь-Шань:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1800—2500 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок.

Горы высокие, эрозионные, покрытые еловыми лесами (А) и горными степями с арчевым стлаником (Б).

Сель (1) образовался в верховьях реки вблизи ледника, расположенного за пределами аэрофотоснимка. Двигаясь вниз по ущелистой долине реки, он заполнил ванну обвального озера (пунктир на аэрофотоснимке) и прорвал тело древнего обвала (2). Выплеснувшаяся масса размыла русло реки ниже обвала и устремилась вниз. Масса селя (1) представляет собой механическую смесь глыб, валунов, щебня и древесных стволов, «сцементированных» песчано-глинистым материалом.

Питание селя происходило за счет размыва моренных отложений в верховьях реки и щебнисто-глыбового материала, сносимого с безлесных склонов долины, сильно расчлененных эрозионными бороздами (3) и кулуарами (4).

Широкая извилистая полоса селя имеет ярко-светлый тон, обусловленный высохшей и растрескавшейся коркой глинистого материала, образовавшейся на поверхности селевой массы; 5 — уступ селевого потока; 6 — остаточные озера; 7 — турбаза; 8 — шоссе.


б
А
Б
3
3
А
1
6
Б
5
1
7
6
2
8



Рис. 47. Сель каменногрязевый. Тянь-Шань.

Плановый аэрофотоснимок (абс. выс. 2500—3100 м). Горы высокие, эрозионные, с субальпийскими лугами и горными степями.

Грязекаменный сель (1) расположен в устье крутопадающей долины небольшой реки (2). Формирование селя в зоне питания происходило за счет обвальных и осыпных масс, поступающих со скалистых склонов, и эрозии более пологих склонов гор, покрытых чехлом щебнисто-суглинистых отложений (3). На присутствие этих отложений по склонам указывает характерный узковетвистый рисунок резко врезанных эрозионных рытвин (4) и потяжин (5). Зона транзита (6) селя проходит по глубоко врезанной крутосклонной V-образной долине с крутым (<15°) уклоном. Долина выполнена крупноглыбовым (глыбы до 2,5 м и более в диаметре) и щебнисто-суглинистым материалом. Крупнонатечный шагреневый рисунок (7) указывает на большую скорость течения селя и на высокий процент содержания каменного материала, глыбы (8) которого усиливают волнистую поверхность потока. Зона накопления селя выражена в виде четкого конуса выноса (1), наложенного на древний пролювиальный шлейф (9), последний, возможно, также селевого происхождения. Мелконатечный шагреневый рисунок в зоне накопления говорит о замедлении скорости потока и резком сокращении объема крупноглыбового материала, почти отсутствующего на поверхности потока; 10 — река; 11 — тектоническое нарушение; 12 — кустарники арчи.



Рис. 48. Карст в соленосных и гипсоносных отложениях юрского возраста (J). Средняя Азия:

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 400—1334 м).

А. Горы низкие и средневысотные, сильно расчлененные, с кустарниковыми зарослями и арчевым редколесьем. Б. Предгорья степные.

Карстующиеся породы — слабо дислоцированные соленосные и гипсоносные отложения белого, серого и розового цвета, с прослоями глин и песчаников красновато-зеленоватых тонов. Карст открытый: многочисленные карстовые воронки сплошь покрывают склоны гор.

Форма воронок округлая и овальная, диаметр поверху от 3 до 100 м; глубина 0,5—10 м. Наиболее крупные карстовые воронки располагаются вдоль зон тектонических нарушений (1), по которым, по-видимому, происходит подток грунтовых вод и выщелачивание пород. Рисунок изображения закарстованной поверхности (1) — пятнистый, мелкояченистый.



Рис. 49. Карст в известняках верхней юры. Большой Кавказ.

Плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1700—1900 м).

Горы средневысотные, структурно-эрозионные, покрытые хвойно-широколиственными лесами. Карстующиеся известняки верхней юры светлоокрашенные, *глинистые, массивные, трещиноватые*. Многочисленные карстовые воронки и блюдца (1) приурочены к выположенным участкам водоразделов (2). Они имеют в плане округлую или овальную форму, диаметр от 10—30 до 100—200 м, часто конусообразные, глубиной до 10 м. Карстовые воронки располагаются одна от другой на расстоянии 10—100 м. Водоразделы и склоны гор залесены. Днища воронок покрыты луговой растительностью. Вода отсутствует на мощность известняков.

Карст в залесенном среднегорье *дешифрируется по пятнисто*-западинному микрорельефу, выраженному пятнистым ноздреватым рисунком. Мелкозернистую структуру создает лес. Белые и светло-серые пятна (3) — выходы коренных пород, покрытые горно-луговой растительностью.

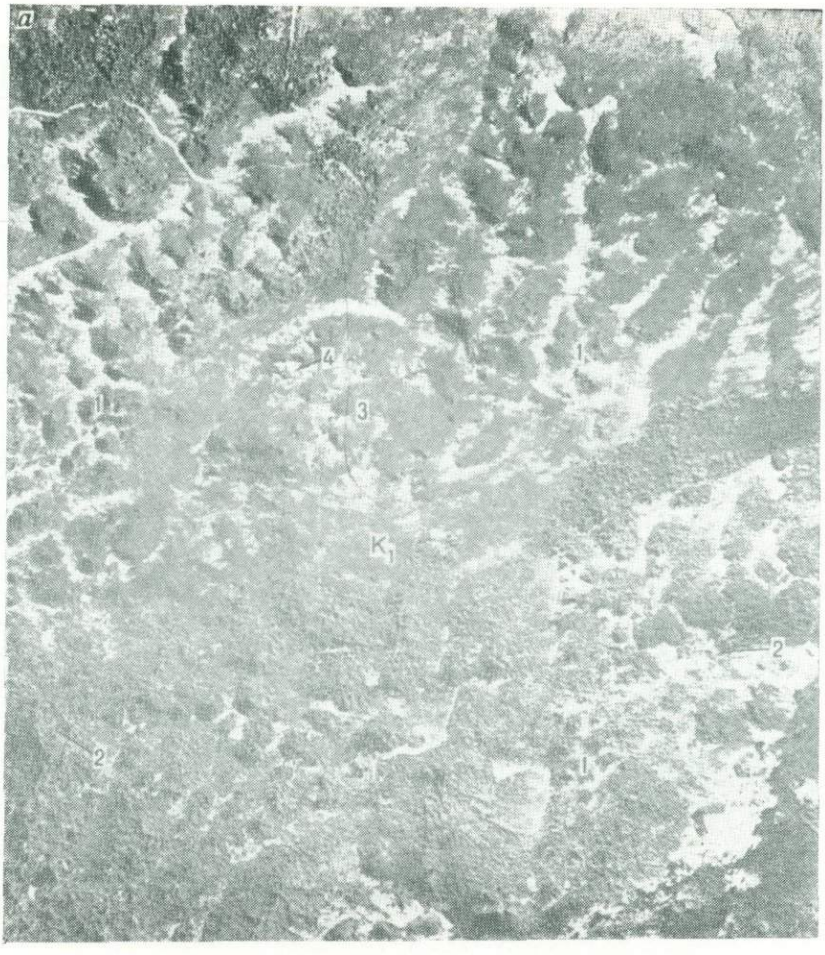


Рис. 50. Карст в известняках нижнего мела. Кавказ:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 1500—1800 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок; *в* — схематический профиль.

Плато среднегорное, покрытое хвойно-широколиственными лесами и криволесьем. Карст (1) развивается в пологолежащих известняках нижнего мела, толстоплитчатых, трещиноватых, нарушенных субширотным разломом (2). Более интенсивно процессы карстообразования протекают в северном, приподнятом блоке, создавая холмисто-западинный микрорельеф. Карст зарождается по трещинам субмеридионального направления и, разрастаясь, образует карстовые ванны, воронки, поноры, пещеры. Отдельные, наиболее крупные формы I порядка — карстовые ванны или котловины (3), имеют овальную или округлую форму глубиной до 250 м и в поперечнике 500—700 м. На склонах котловин располагаются более мелкие карстовые формы II порядка — воронки (4) глубиной 30—50 м, в диаметре — до 100 м. На дне воронок отмечаются поноры, пещерные ходы. Склоны воронок имеют крутизну 30—60°, иногда обрывистые. Карстовые воронки располагаются друг от друга на расстоянии от 5—10 до 30—50 м, обводнены по контакту с подстилающими породами.

Карст дешифрируется по холмисто-западинному микрорельефу, выраженному пятнисто-ноздреватым рисунком фотоизображения, а также светлому тону, обусловленному цветом коренных пород, слагающих незадернованные склоны.


б
4
4
K_1
3
1


в
Карстовые воронки и котловины
I порядка
I порядка
500м
II порядка
II порядка
250м

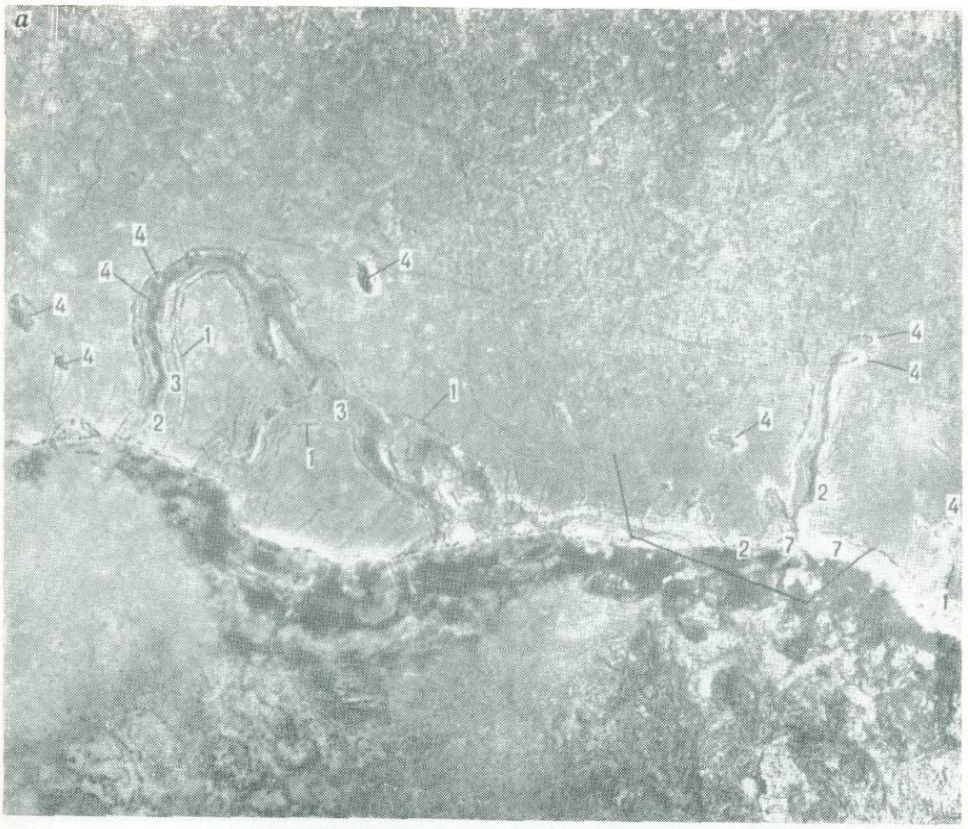
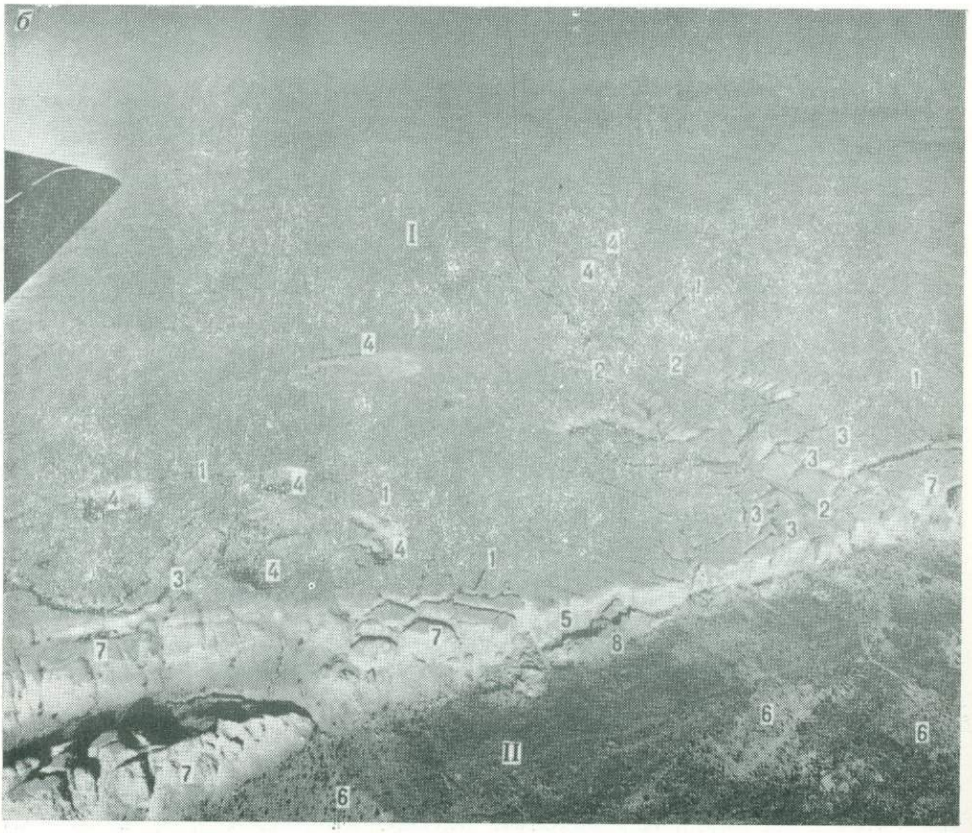


Рис. 51. Карст в карбонатных породах неогена. Средняя Азия:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 25—80 м); *б* — перспективный аэрофотоснимок. I — плато структурно-эрозионное; II — озерно-солончаковая равнина.

Карстовые процессы развиваются вблизи чинка плато, сложенного трещиноватыми известняками, мергелями, гипсами, глинами. Трещины оседания (1) образуются вдоль сухих долин (2), развивающихся над подрусловыми временными потоками, действующими в период выпадения осадков и таяния снега. Система блоков оседания (3) шириной 200—300 м формируется вдоль сухих долин. Продольный профиль этих долин, имеющих глубину до 30 м, ступенчатый. Цепочки карстовых воронок (4) приурочены или к осевым частям этих долин (2), или к зонам подрусловых потоков, образующих на поверхности озерно-солончаковой равнины серию конусов выноса (6). Карстовые воронки имеют округлую или овальную форму, размер в поперечнике 80—120 м, при глубине до 25—30, с крутыми обрывистыми склонами.

Системы сухих долин и карстовых воронок у чинка (5) часто образуют намечающиеся оползневые блоки (7); 8 — обвалы.


б
I
II
1
2
3
4
5
6
7
8

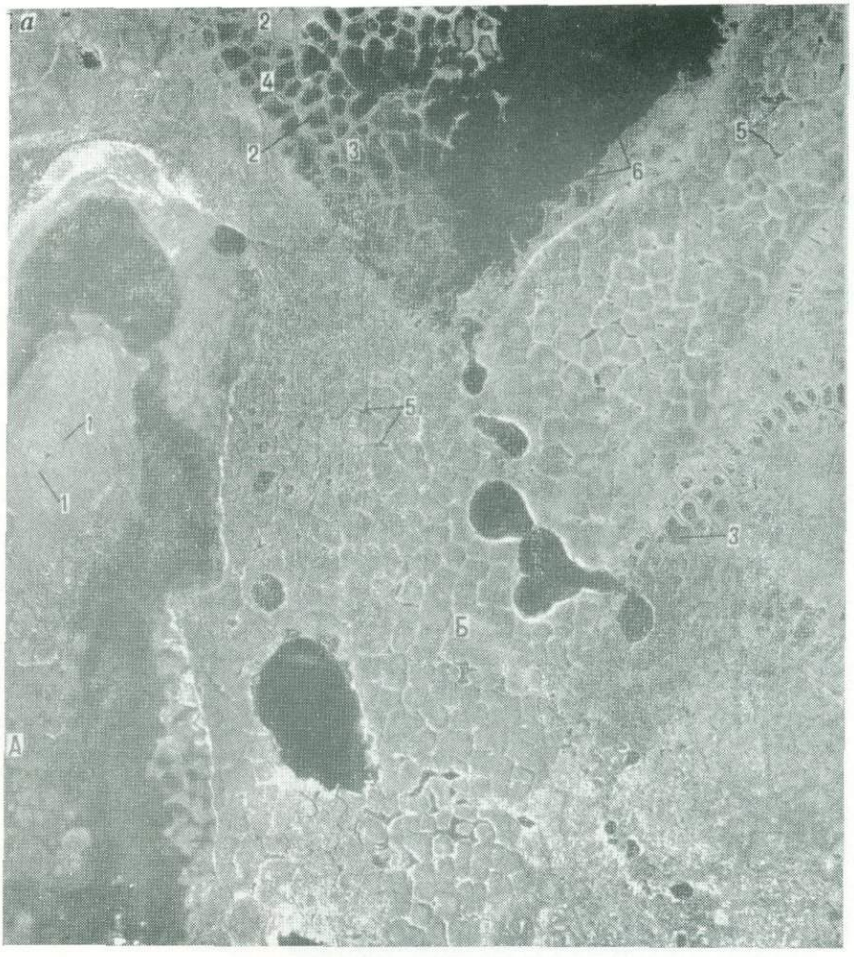
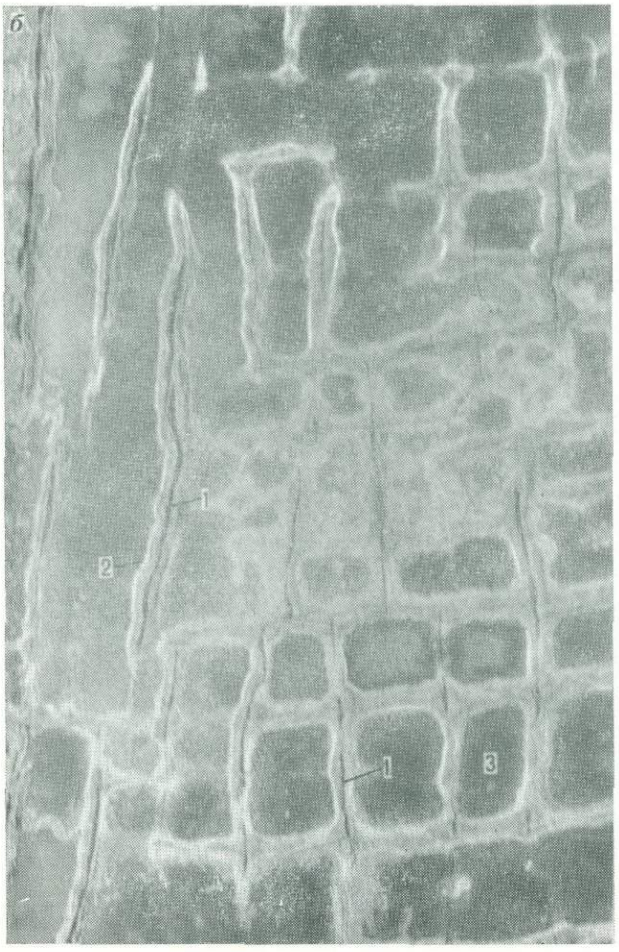


Рис. 52. Полигонально-жильные льды. Северо-Восток:

а — плановый аэрофотоснимок крупного масштаба (абс. выс. 5—20 м); *б* — фрагмент планового аэрофотоснимка крупного масштаба.

Равнина низменная, аллювиальная, тундровая; А. Аласы, Б. Межаласные повышения. Полигонально-жильные льды приурочены к поймам рек, низким морским побережьям, днищам зарастающих озерных ванн.



Морозобойные трещины шириной 1—3 м, имеющие на крупномасштабных снимках вид тонких линий (1). Эти трещины заполняются водой, а затем ледяными клиньями, образующими *решетчатую (полигональную)* систему жильных льдов. Ледяные жилы, увеличиваясь в объеме, деформируют вмещающие глинистые, суглинистые породы или тонкие супеси. В результате деформации по обеим сторонам жил образуются валики (2) высотой 0,2—0,7 м. Центральные вогнутые части полигонов заболочены или залиты водой (3). Мощность слоя сезонного протаивания в центральной части полигонов 0,5—1,0 м, на валиках 0,2—0,5 м; 4 — сеть морозобойных трещин на торфяниках; 5 — полигонально-решетчатые озерки; 6 — спущенные озера с фестончатыми берегами.

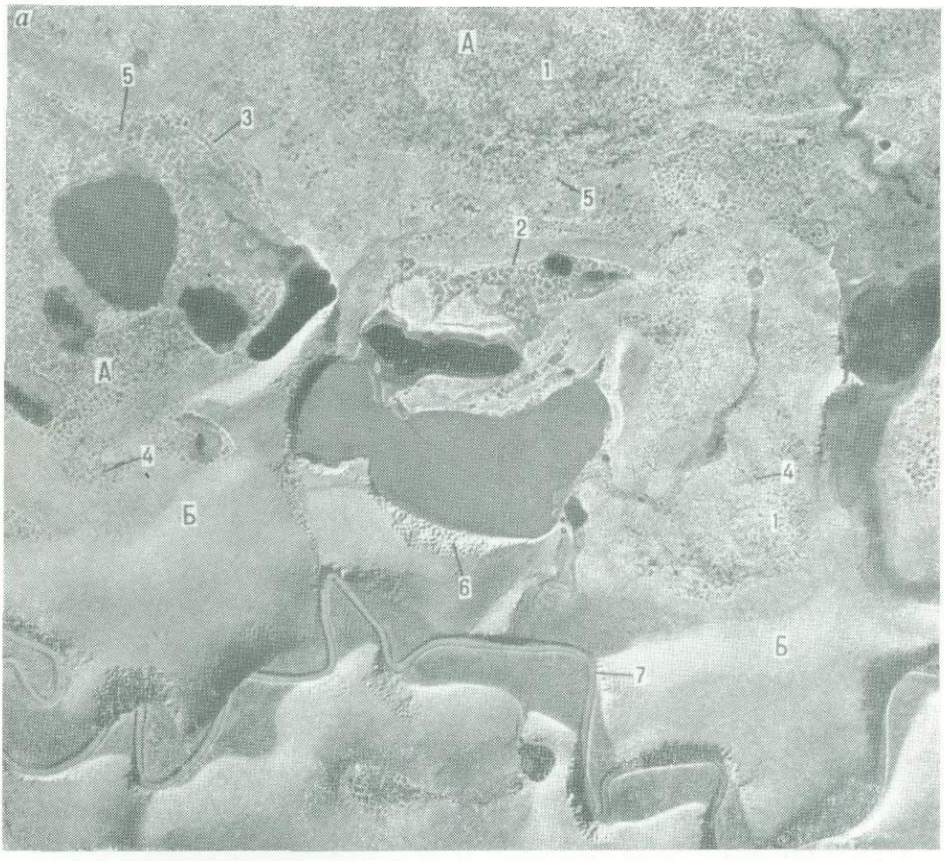


Рис. 53. Термокарст. Северо-Восток:

а — плановый аэрофотоснимок среднего масштаба (абс. выс. 10—30 м); *б* — плановый аэрофотоснимок крупного масштаба; *в* — перспективный аэрофотоснимок.

Равнина озерно-аллювиальная, тундровая. А. Аласы. Б. Межаласные поверхности.

В результате вытаивания подземных (полигонально-жильных) льдов образуются трещинные полигоны, термокарстовые озера, бугры-байджарахи и т. д. Трещинные полигоны (1) приурочиваются обычно к заболоченным низинам-аласам *(а)* и распознаются по характерному сетчатому рисунку; полигоны темного тона (2) окоптурены узкими полосками-валиками светлого тона (3). На пересечении трещин, разделяющих валики, наблюдаются полигонально-решетчатые озера (4). Вогнутые центральные части полигонов часто заболочены или заняты озерами (5).

На береговых уступах озер и рек образуются байджарахи (6), выявляющиеся по характерной конусовидной форме и мелкояченистому рисунку. Термокарстовые процессы выражаются и в развитии коленчатой гидросети (7).


б
Б
б

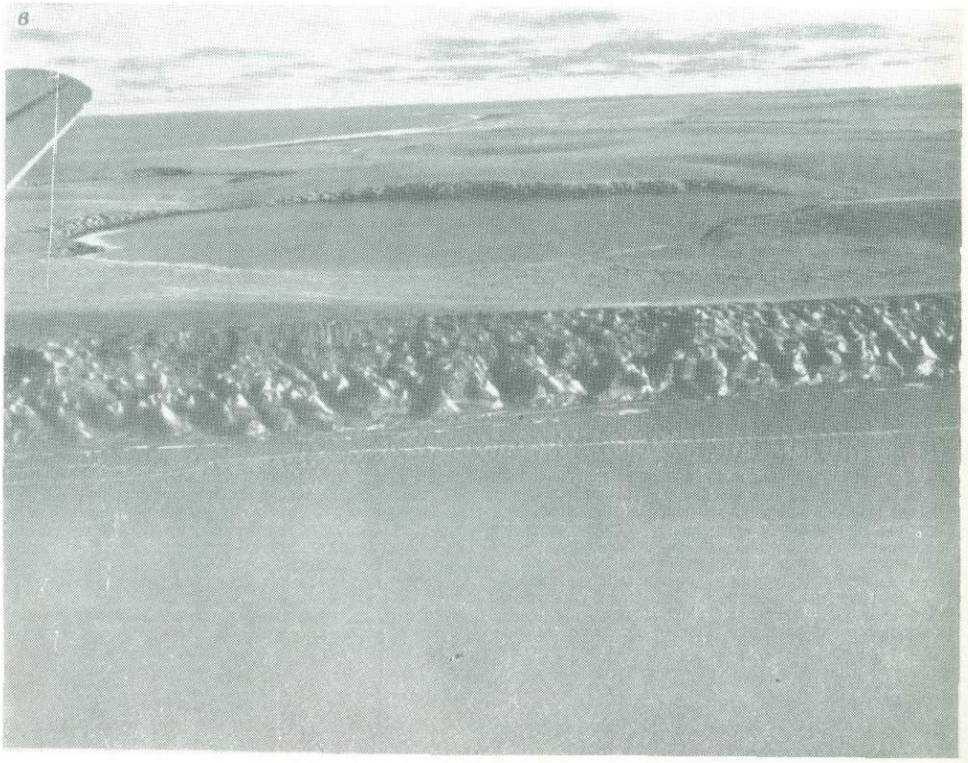

в



Рис. 54. Бугристые торфяники. Дальний Восток:

а — плановый аэрофотоснимок (абс. выс. 10 м).

Равнина аллювиальная, озерно-болотная.

На поверхности террасы, перекрытой торфом, развиты кустарничково-моховые болота с бугристым (1), грядово-озерковым (2) и подушкообразным (3) микрорельефом. В породах развита островная многолетняя мерзлота. Многолетнемерзлые породы приурочены к участкам бугристых болот (1), верхняя ее граница сливается со слоем сезонного протаивания, нижняя — залегает на глубине от 15 до 30 м. На участках развития грядово-озерковых (2) и подушкообразных болот (3) многолетнемерзлые породы не обнаружены. Бугристые торфяники имеют характерный мелкопятнистый рисунок.

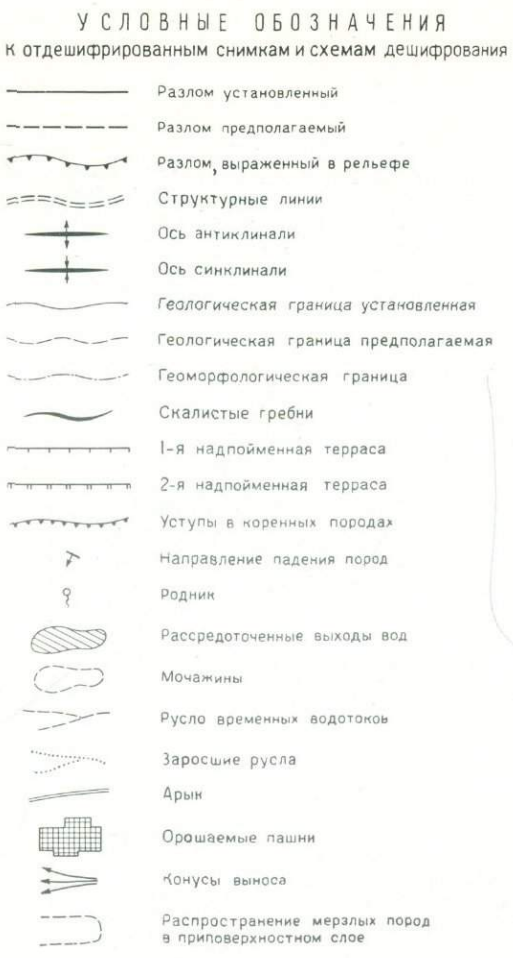
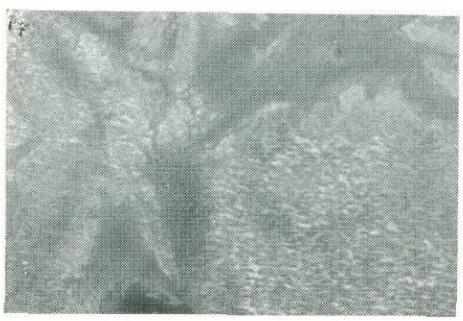


Рис. 55. Условные обозначения к отдешифрированным снимкам и схемам дешифрирования.

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭТАЛОНЫ

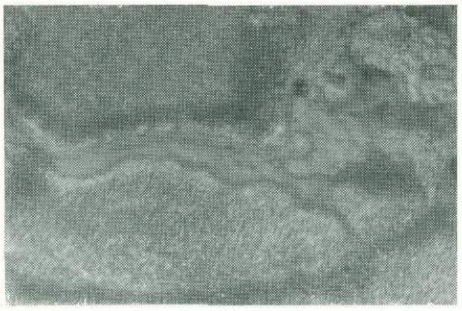


$V_{Б}^{ст-1а}$



$V_{Б}^{ст-1б}$

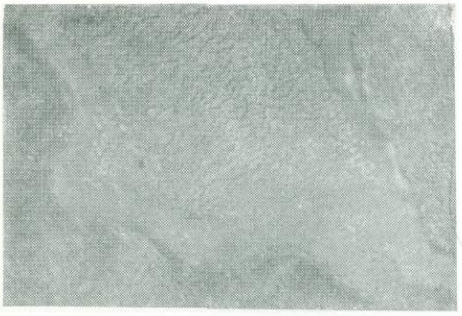
Рис. 56. Эталонные аэроснимки равнинных северо-таежных районов



$V_{Б}^{ст} - 5а$



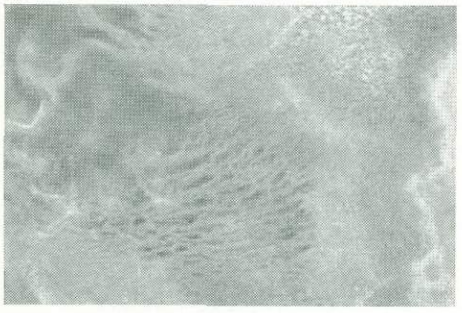
$V_{Б}^{ст} - 7$



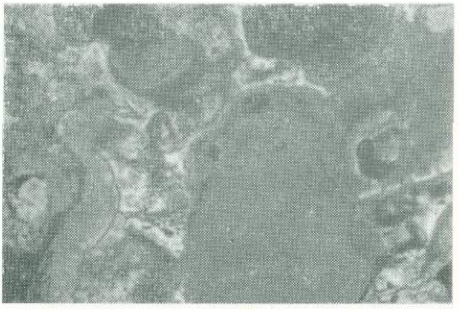
$V_{Б}^{ст} - 8б$



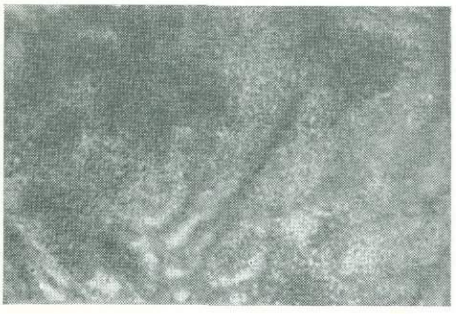
$V_{В}^{ст} - 1г$



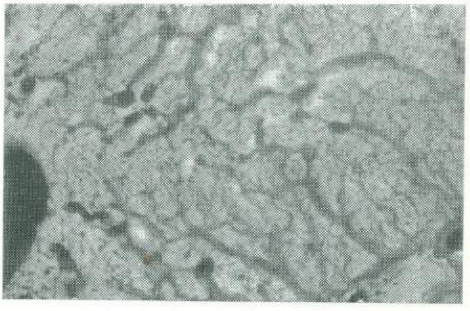
$V_{В}^{ст} - 6а$



$V_{В}^{ст} - 10д$

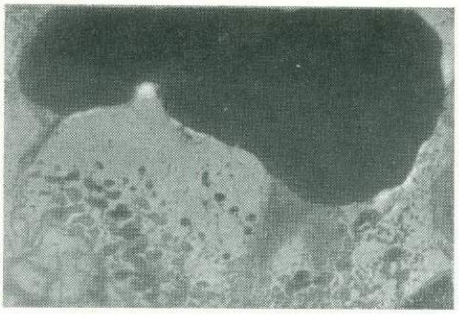


$III_{А}^{ст} - 1г$



$III_{А}^{ст} - 4$

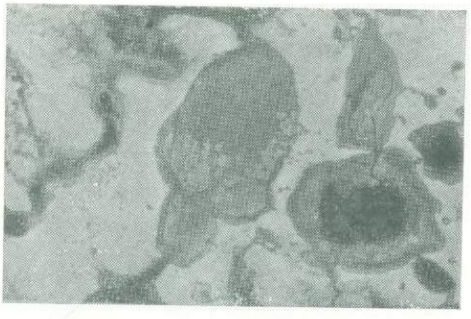
Рис. 56.



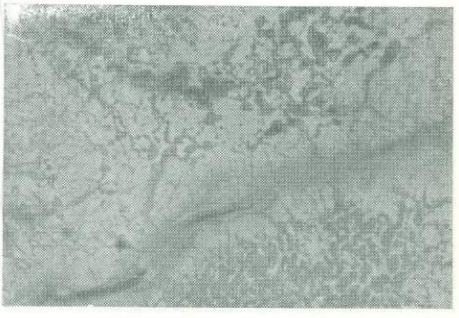
III$_{А}^{ст}$ — 7



III$_{Б}^{ст}$ — 1а



III$_{Б}^{ст}$ — 5а



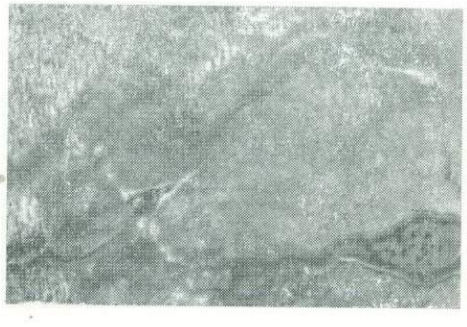
III$_{Б}^{ст}$ — 9



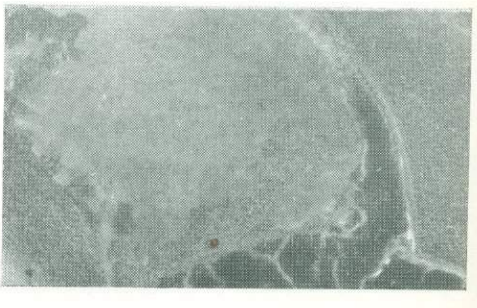
Iст — 1а



Iст — 1б



Iст — 4

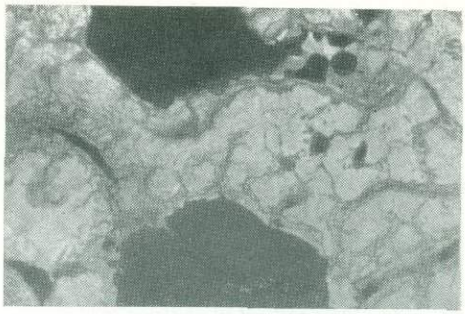


Iст — 5а

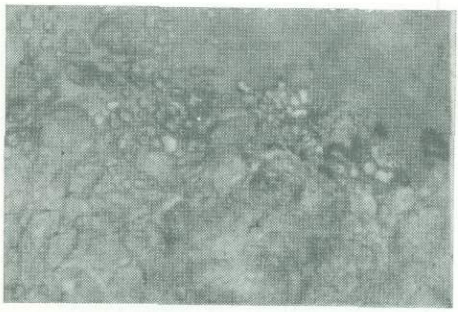
Рис. 56.



Ист — 6а



Ист — 7



Ист — 8б



Ист — 9



Ист — 10а



Ист — 2

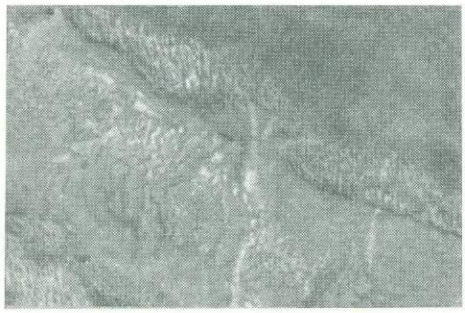
Рис 56.



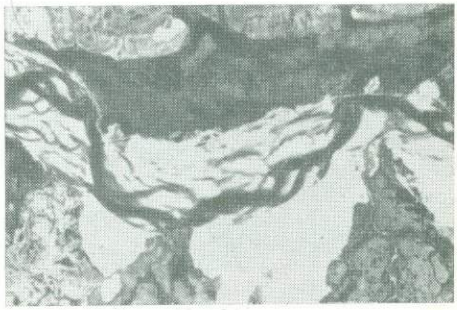
П — 2а
2б
5а



П — 2в



П — 7



П — 3

Рис. 56 (окончание).

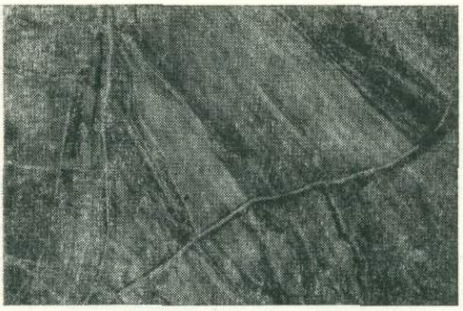


I — А — 1



I — А — 2

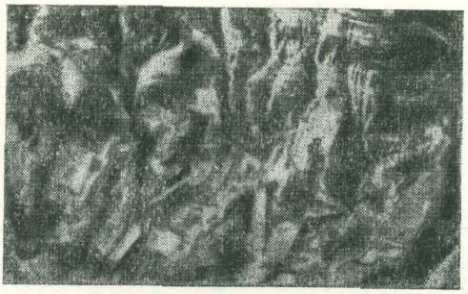
Рис. 57. Эталонные аэроснимки горных районов



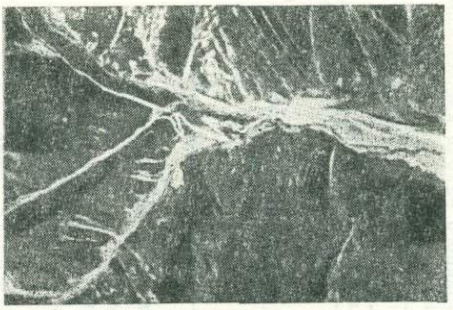
I — Б — 1



I — В — 1



I — В — 2



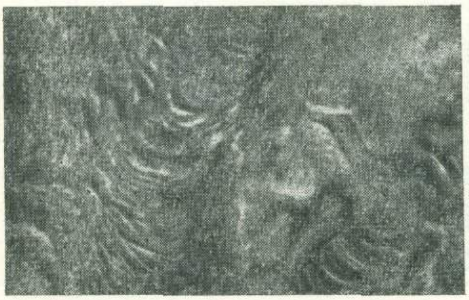
I — (А, Б, В)



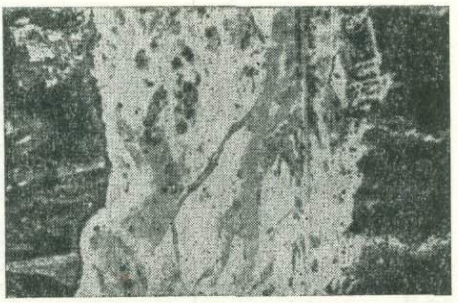
II — А — 1



II — А — 2



II — Б — 1



II — (А, Б)

Рис. 57.

Макет ландшафтно-индикационной таблицы равнинного района криолитозоны
(составила Л. Н. Тагунова)

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы: Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Индицируемые условия: Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	Литологический состав: слоя СТС — СМС	Литологический состав: подстилающих пород	Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
V. Северотаежный ландшафт прибрежноморской равнины											
$V^{ст}_{Б-Ia}$	$V_{ст}$* Б** Пологохолмистая залесенная часть равнины, слабо расчлененная долинами ручьев и ложбинами стока	Ia*** Пологие холмы нередко с западинно-бугристым рельефом, со смешанными и хвойными кустарничково-лишайниковыми редколесьями и рединами	Структура изображения мелкозернистая рыхлая, сквозь разреженный древостой темно-серого тона виден наземный покров светлого тона. Дешифрируются по мелкозернистой структуре и светлому тону покрова	m, pmQ^{2-4}_{II}	СМС 2—3	Пески, супеси	Пески, супеси, иногда с прослоями суглинков	Талое	—	1—4	—
$V^{ст}_{Б-Iб}$		Iб Выположенные участки с березово-лиственничными редколесьями с участками незакрепленных песков	Участки незакрепленных песков — белые пятна, редкий древостой — точки и штрихи	m, pmQ^{2-4}_{II}	СМС 2—4	Пески	Пески	Талое	—	1—6	Развевание песков
$V^{ст}_{Б-5а}$		5а Полосы и ложбины стока с кочковатыми и кустарничково-моховыми болотами на грядах и травяно-сфагновыми в мочажинах	Тон темно-серый. Изображение гомогенное. Дешифрируются по темно-серому тону и приуроченности к отрицательным элементам рельефа	bQIV	СТС — 0,5—0,8 СМС 0,6—1,2	Пески, супеси, реже торф	Пески, супеси, суглинки	ММП отсутствуют под травяно-моховыми болотами с окнами воды на поверхности, сплошное распространение ММП под кустарничково-моховыми болотами	Близка к 0	0—0,8	Заболачивание, пучение
$V^{ст}_{Б-7}$		7 Низкие торфяники. Плоские с кустарничково-мохово-лишайниковыми и травяно-моховыми сообществами	Рисунок изображения пятнистый: чередование светло-серых повышенных участков с темно-серыми мочажинами и почти черными озерами. Дешифрируются по пятнистому рисунку изображения и светло-серому тону	bQIII—IV pmQ^{2-4}_{II}	СТС 0,3—0,7	Торф мощностью от 0,5 до 2,0 м	Супеси, суглинки, их переслаивание	Сплошное распространение ММП	—1÷—3	0—0,5	Пучение, термокарст

* Индекс типа ландшафта по классификации.
** Индекс типа местности.
*** Индекс типа урочища.

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия							
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	Литологический состав		Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
						слоя СТС — СМС	подстилающих пород				
$V_{Б-8б}^{ст}$		8б Ложбины стока с выпукло-бугристыми торфяниками с кустарничково-лишайниковыми сообществами на буграх и травяно-моховыми в мочажинах	Рисунок изображения выпукло-пятнистый; скопление четких округлых и овальных мелких пятен (в диаметре до 0,5 см) светло-серого тона (бугры), разделенных узкими темно-серыми полосками (ложбины). Дешифрируются по выпукло-пятнистому рисунку и общему светлому тону изображения	bQ_{IV}	СТС 0,5—0,8	Торф мощностью до 1—1,5 м	Суглинки	То же	—0,5÷2	0,2—0,5	То же
$V_{B-1а}^{ст}$	$V_B^{ст}$ Холмистая залесенная	Iа Холмы со смешанными	Тон темно-серый. Редкий	m, pmQ_{II}^{2-4}	СМС 1,5—2 м	Суглинки, супеси	Суглинки	Талое	—	—	Эрозия
	краевая часть равнины, сильно- и среднерасчлененная логами и долинами ручьев	(кедрово-елово-лиственничными) кустарничковыми зеленомошно-лишайниковыми лесами, на старых гарях с мелколиственными лесами	рисунок эрозионной сети. Структура разнозернистая. Сквозь разрывы древесного полога местами проглядывает напочвенный покров светлого тона. Хорошо дешифрируются по ветвистому рисунку, зернистой структуре и темно-серому тону								
$V_{B-1г}^{ст}$		Iг Небольшие понижения между холмами с кочковатыми смешанными (березово-еловыми) и хвойными (еловыми) сфагновыми редколесьями	Структура изображения разреженная, мелкозернистая; сквозь редкий темно-серый древостой везде виден наземный покров серого тона	m, pmQ_{II}^{2-4}	СТС 0,3—0,5 СМС 0,6—1,5	Суглинки, перекрытые торфом мощностью до 2 м	Суглинки	Перелетки и линзы ММП пород под кочками	Близка к 0	0,5—1,5	Заболачивание, новообразование ММП

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия							
						Литологический состав					
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	слоя СТС—СМС	подстилающих пород	Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
$V_{В-5а}^{ст}$		5а Полосы и ложбины стока с кочковатыми травяно-моховыми кустарничково-моховыми болотами	Тон серый. Изображение гомогенное. Дешифрируются по серому тону и приуроченности к отрицательным элементам рельефа	bQ_{III-IV}, mpQ_{II}^{2-4}	СТС 0,5—0,8 СМС 0,6—1,2	Пески, супеси, реже торф мощностью до 2 м	Суглинки, пески, супеси	ММП отсутствуют под травяно-моховыми болотами с водой на поверхности; сплошное распространение ММП под кустарничково-моховыми болотами	0÷1	0—0,5	Заболачивание, пучение
$V_{В-6а}^{ст}$		6а Грядово-мочажинные болота по полосам и ложбинам стока с мелкими грядами, с кустарничково-сфагновыми сообществами	Рисунок извилисто-полосчатый, обусловленный чередованием узких низких гряд серого тона и темно-серых мочажин. Четко дешифрируется по	bQ_{III-IV}, mpQ_{II}^{2-4}	СМС 0,6—1,2	Торф мощностью до 2 м	Суглинки, пески	Преимущественно талое, перелетки и маломощные линзы ММП только под крупными грядами	Близка к 0	0—0,5	Заболачивание, пучение, новообразование ММП
$V_{В-10а}^{ст}$		10а Бугры пучения высотой 2—3 м до 50—150 м в поперечнике с кустарничково-лишайниковыми сообществами и отдельными деревьями	извилисто-полосчатому рисунку Рисунок изображения выпукло-пятнистый, связанный со скоплением четких овальных или округлых пятен светло-серого и серого тона с мелкой темной редкой зернистостью (бугры), разделенных узкими серыми и темно-серыми полосками (межбугровья). Дешифрируются по выпукло-пятнистому рисунку и редкозернистой структуре. Под стереоскопом различаются отдельные бугры	bQ_{IV} mpQ_{II}^{2-4}	СТС от 0,3—0,8; до 1,0—1,5	Торф мощностью 0,5—2 м	Супеси, суглинки	Сплошное распространение ММП	—2	Надмерзлотные 0,2—0,4	Пучение

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия							
						Литологический состав					
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	слоя СТС — СМС	подстилающих пород	Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
III. Северотаежный ландшафт озерно-аллювиальной равнины											
$III_{А-Iг}^{ст}$	$III_{А}^{ст}$ А. Центральные нерасчлененные и слаборасчлененные заболоченные части водоразделов	Iг Плоские кочковатые и мелкобугристые участки, ложбины стока с угнетенными елово-лиственничными и смешанными кустарничково-сфагновыми рединами и редколесьями	Структура изображения редкозернистая; на сером фоне наземного покрова хорошо видна мелкая редкая темно-серая зернистость, обусловленная редким древостоем	IaQ_{III}^{2}	СМС 0,6—1,5 СТС 0,3—0,7	Торф мощностью 0,2—0,5 м; оторфованные пески, супеси	Пески, суглинки, супеси	Перелетки и линзы (острова) ММП	0—0,5	0—0,5	Заболачивание, новообразование
$III_{А-4}^{ст}$		4 Плоские кочковатые и мелкобугристые поверхности с кустарничково-сфагново-лишайниковыми сообществами на буграх и	Рисунок изображения крапчатый: на светло-сером и сером фоне четко выделяется мелкий, но частый темно-серый крап мочажин	IaQ_{III}^{2}	СТС 0,4—1 м СМС 0,6—0,8	Торф мощностью до 0,5 м; суглинки, супеси	Супеси, суглинки	Сплошное распространение ММП под бугорками, ММП отсутствуют под мочажинами	Около 0	0—0,5	Заболачивание, пучение
		травяно-сфагновыми — в мочажинах	и почти черный крап озерков. Дешифрируются по крапчатому рисунку								
$III_{А-7}^{ст}$		7 Низкие торфяники с кустарничково- и травяно-сфагновыми сообществами	Рисунок изображения пятнистый: чередование светло-серых повышенных участков с темно-серыми, реже серыми мочажинами и почти черными озерками. Дешифрируются по пятнистому рисунку изображения и общему светлому тону	bQ_{III-IV}; IaQ_{III}^{2}	СТС 0,3—0,7	Торф	Пески, супеси	Сплошное распространение ММП	—2—3,5	0—0,5	Пучение
$III_{Б-Ia}^{ст}$	Б. Выровненная краевая залесенная часть равнины, расчлененная редкими долинами небольших ручьев	Ia Слабоволнистая и ровная поверхность равнины с березово-лиственничными или березово-елово-лиственничными или сосновыми лишайниковыми лесами	Структура изображения мелкозернистая, рыхлая; сквозь разреженный древостой темно-серого тона проглядывает наземный покров светлого, реже светло-серого тона.	IaQ_{III}^{2}	СМС 2—3	Пески	Пески, супеси, реже суглинки	Преимущественно талое	Выше 0	2—5	—

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия							
						Литологический состав					
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	слоя СТС — — СМС	подстилающих пород	Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
			Дешифрируются по мелкозернистой структуре и светлому тону покрова								
$III_{Б-Iг}^{ст}$		Iг Плоские кочковатые участки с угнетенными лиственнично-еловыми редколесьями и рединами	Структура изображения редкозернистая: на сером фоне наземного покрова хорошо видна мелкая редкая темно-серая зернистость, обусловленная редким древостоем	IaQ_{III}^{2}	СТС 0,3—0,7 СМС 0,6—2,0	Пески, перекрытые торфом, мощностью до 0,2—0,3	Пески, супеси	Талое, перелетки и линзы ММП	0—0,5	0,5—1,5	Заболачивание, новообразование ММП
$III_{Б-4}^{ст}$		4 Плоские кочковатые мелкобугристые участки с кустарничково-сфагново-лишайниковыми сообще-	Рисунок изображения крапчатый: на светло-сером и сером фоне четко выделяется мелкий и	IaQ_{III}^{2}	СТС 0,6—1,5 СМС 0,6—0,8	Торф, мощностью 0,2—0,5	Суглинки, супеси, реже пески	Сплошное распространение ММП	0—1	0—0,5	Пучение, заболачивание
		ствами на бугорках и травяно-моховыми в мочажинах	частый темно-серый и почти черный крап мочажин и озерков. Дешифрируются по крапчатому рисунку								
$III_{Б-5а}^{ст}$		5а Понижения на водоразделах, ложбины стока, хасыреи с травяными сфагновыми и кустарничково-моховыми болотами	Тон светло-серый и серый. Изображение гомогенное. Дешифрируются по светло-серому тону изображения и приуроченности к отрицательным элементам рельефа	bQ_{IV}, IaQ_{III}^{2}	СТС 0,5—0,8 СМС 0,6—1,0	Пески, супеси, торф мощностью от 0,2 до 2,0 м	Пески, супеси, суглинки; переслаивание	Преимущественно талое под травяно-моховыми болотами с водой на поверхности; сплошное распространение ММП под кустарничково-моховыми болотами	0—1,0	0—0,8	Заболачивание, новообразование ММП; сезонное пучение

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия							
						Литологический состав					
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	*Характеристика* рисунка фотоизображения	*Генезис и* возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	слоя СТС — — СМС	подстилающих пород	Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	*Уровень* грунтовых вод, м	*Современные* геологические процессы
$III^{ст}_{Б-9}$		Низкие торфяники с множеством озерков и мочажин	Рисунок изображения пятнистый: чередование серых (повышенных) участков с темно-серыми мочажинами и почти черными озерками и озерами. Дешифрируются благодаря наличию множества почти черных пятен озерков и озер	bQ_{IV} laQ_{III}	СТС 0,6—0,8	Торф, мощностью до 2,5	Пески	Прерывистое распространение ММП	0—2	0—0,5	Термокарст
$III—IV^{ст}_{Б-6а}$	6а	Грядово-мочажинные болота с кустарничково-травяно-сфагновыми сообществами на грядах и травяными и	Рисунок извилистополосчатый, обусловленный чередованием гряд серого тона и темно-серых мочажин. Четко дешиф-	bQ_{IV}: laQ^{1-2}_{III}	СТС 0,5—0,8	Торф	Пески	Талое. Линзы и перелетки ММП под грядами	Около 0	0—0,5	Заболачивание, новообразование ММП
		сфагновыми в мочажинах	рируются по извилистополосчатому рисунку								
$III—IV^{ст}_{Б-7}$	7	Низкие торфяники с кустарничково-лишайниковыми и травяно-сфагновыми сообществами	Рисунок пятнистый, обусловленный чередованием светло-серых и серых повышенных участков с темно-серыми мочажинами и почти черными озерками. Дешифрируются по пятнистому рисунку	bQ_{IV}; laQ^{1-2}_{III}	СТС 0,3—0,8	Торф	Пески, супеси, суглинки	Сплошное распространение ММП	0—0,5	—	Локальное пучение
I. Северо-таежный ландшафт I надпойменной террасы											
Привровочные части террасы $I^{ст}_{Ia}$	Ia	Слабоволнистая и ровная поверхность с сосновыми и смешанными (ель, кедр, береза) кустарничково-лишайниковыми и зеленомошными лесами и рединами	Структура аэрофотоизображения штриховая, обусловленная разреженными древостоем на светлом фоне наземного покрова	aQ^{4}_{III}	СМС 2—3	Пески	Пески	Талое	Выше 0°	1,5	—

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия							
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	Литологический состав		Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
						слоя СТС — — СМС	подстилающих пород				
$I^{ст}_{1б}$		1б Плоская поверхность террасы с древними береговыми валами с кедрово-сосновыми или кедровыми и смешанными кустарничково-лишайниковыми кустарничковыми редколесьями и участками незакрепленных песков		aQ^4_{III}	СМС 2—4	То же	То же	То же	То же	1,6	Развевание песков
$I^{ст}_{1г}$		1г Плоские кочковатые и мелкобугристые участки с лиственными и смешанными кустарничковыми моховыми и лишайниково-моховыми рединами	Структура изображения точечная: на сером фоне наземного покрова мелкие темные точки образуют древостой	aQ^4_{III}	СТС 0,3—0,7 СМС 0,6—1,5	Торф до 0,3 м, песок	Пески, супеси	Талое. Линзы и перелетки ММП	Близка к 0°	0—0,5	Заболачивание, сезонное и многолетнее пучение, новообразование ММП
$I^{ст}_{4}$		4 Плоские кочковатые и мелкобугристые участки с кустарничковыми моховолишайниковыми сообществами на буграх и травяно-моховыми сообществами в мочажинах	Рисунок изображения крапчатый: на сером фоне частый темно-серый крап мочажин и светлый крап бугорков Дешифрируются по крапчатому рисунку	aQ_{III}	СТС 1—2	Торф мощностью до 0,3; пески	Пески	Перелетки ММП под бугорками с торфом	Близка к 0	0,5—1,5	Пучение, новообразование ММП
$I^{ст}_{5а}$		5а Низинные болота с кустарничково-моховыми и травяными сообществами, с группами деревьев	Серый тон. Бесструктурное изображение с редкой штриховатостью и точечностью	aQ^4_{III}	СМС 0,5—0,8	Торф, мощностью до 3	Супеси, суглинки	Преимущественно талое. Острова ММП встречаются в краевых частях болот	0	0,0—0,5	Заболачивание, сезонное пучение
$I^{ст}_{6а}$		6а Грядово-мочажинные болота с мелкими грядами с кустарничково-сфагновыми сообществами на грядах и травяно-сфагновыми сообществами в мочажинах	Рисунок изображения полосчатый: чередование светлых гряд и темных мочажин и озер	aQ^4_{III}	СТС 0,3—0,5	Торф, мощностью до 1,5	Пески	Талое, перелетки ММП под кочками и грядами	Близка к 0		То же

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия							
						Литологический состав					
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	слоя СТС — СМС	подстилающих пород	Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
$I^{ст}_{7}$		7 Низкие торфяники с кустарничково-лишайниково-сфагновыми сообществами	Рисунок крапчатый: на светло-сером фоне темный крап мочажины	bQ_{IV}; aQ^{4}_{III}	СТС 0,3—0,8	Торф до 4 м	Пески	Сплошное распространение ММП Под крупными озерами кровля ММП опущена	—0,5—1	0—0,5	Пучение, термокарст
$I^{ст}_{8б}$		8б Выпукло-бугристые торфяники с кустарничково-лишайниковыми сообществами на буграх и травяно-моховыми в мочажинах	Рисунок изображения выпукло-пятнистый, образованный скоплением четких округлых или овальных мелких пятен светло-серого тона (бугры), разделенные узкими темно-серыми полосками (ложбины). Дешифрируются по выпукло-пятнистому рисунку	bQ_{IV}; aQ^{4}_{III}	СТС 0,3—0,5	Торф до 1,5—2,5	Пески на супесях и суглинках	Сплошное распространение ММП, под мочажинами кровля ММП опущена	—1—2	0—0,5	То же
$I^{ст}_{9}$		9 Низкие торфяники с множеством озерков и мочажин с кустарничково-лишайниковыми и осоково-сфагновыми сообществами	и общему светлому тону Рисунок пятнистый, крапчатый, скопление черных пятен (озера) с полосами (участки торфяника)	bQ_{IV} aQ_{III}	СТС 0,6—1,9 м	Торф, до 2,5 м	Пески	Прерывистое распространение мм, ММП отсутствуют или глубоко залегают под озерками и топями	—0,6—1,9	0—0,5	Термокарст, пучение
$I^{ст}_{10а}$		10а Бугры пучения с кедровыми рединами и кустарничково-лишайниковыми и моховыми сообществами	Округлые серые пятна, обычно более темные, чем окружающий тон; дешифрируются по особой стереоскопичности рисунка	bQ_{IV} aQ_{III}	СТС 0,3—0,6	Торф, пески	Пески на суглинках	Сплошное распространение ММП	—0,5—3,5		Пучение, локальный термокарст, эрозия
$I^{ст}_{2}$		2 Долины малых рек и ручьев с хвойными и смешанными травяным и кустарничково-моховыми лесами и редколесьями с фрагментами травяно-моховых и травяных болот	Тон темно-серый, структура изображения разнозернистая. Дешифрируются по темно-серому тону, зернистой структуре изображения и приуроченности к руслу реки	aQ^{4}_{III}—Q_{IV}	СМС 0,6 –2,0	Пески с прослоями супесей и суглинков, торф, до 0,5 м	Пески с прослоями супесей и суглинков	Талое; под моховыми лесами редко встречаются острова ММП	Близка к 0	0—1	Заболачивание, новообразование ММП

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия								
						Литологический состав						
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	слоя СТС — СМС	подстилающих пород	Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
				II. Северо-таежный ландшафт поймы							
Высокая пойма П—2а		Гривистая и плоская пойма с разреженными елово-березовыми, березово-елово-лиственничными, кедрово-березовыми кустарничково-лишайниковыми лесами и редколесьями (СК—0,2—0,5)	Рисунок дугообразный-чередование грив и понижений. Структура изображения разреженно зернистая, четко прослеживается светлый тон покрова. Дешифрируется по светлому тону покрова и зернистости	aQIV	СМС 2—2,5	Пески	Пески	Талое	Свыше 0	2—6	Эрозия
		2б									
П—2б		Гривистая и безгривная пойма с сомкнутыми елово-кедровыми, березовыми, елово-лиственничными кустарничково-моховыми и травяно-моховыми лесами (СК—0,3—0,9)	Редко в центральной части поймы. Дешифрируется по серому тону пятен, повторяющих дугообразный рисунок. Иногда редкая мелкая зернистость	aQIV	СТС 0,5—1 СМС 2—2,5	Торф, супеси, пески	То же	Талое, острова ММП	Около 0	2—4	Заболачивание, новообразование ММП, эрозия
		2в									
П—2б		Плоская, редко плоскогривистая пойма с угнетенными, заболоченными, кедрово-березово-еловыми кедровыми и лиственнично-сосновыми кустарничково-сфагновыми редколесьями и рединами	Структура разреженно-зернистая с пятнами серого тона. Дешифрируется по разреженному древостою и мелким фрагментам болот серого тона	aQIV	СТС 0,4—0,6	Торф, супеси	Супеси, пески	Прерывистое, участками сплошное распространение ММП	—0,1— —1,5	0,5—1	Заболачивание, пучение
		3									
П—3		Пляжи и косы, лишенные растительности, а также с травяными ивняками	Тон очень светлый, почти белый. Изображение гомогенное, иногда светло-серый тон с мелкозернистой структурой пятен (ивняки группами). Дешифрируется по светлому тону и положению вдоль русел рек	aQIV	СТС 1,5—2,5 м	Пески	Пески	Талое	Выше 0	0,5—2,5 м	Эрозия, эоловые процессы

Продолжение табл.

Номер эталона аэрофотоизображения, рис. 56	Комплексные индикаторы			Индицируемые условия								
	Ландшафт, тип местности	Внешний облик урочища	Характеристика рисунка фотоизображения	Генезис и возраст отложений	Слой сезонного протаивания (СТС) — промерзания (СМС) и его мощность	Литологический состав		Состояние пород, характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП)	Температура — ММП, °С	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы
						слоя СТС — — СМС	подстилающих пород				
		5а									
Низкая пойма П—5а		Плоская пойма со следами старичных понижений, низинные болота кустарничково-сфагновые, травяно-сфагновые, травяные, иногда с группами деревьев и перелесками	Тон темно-серый, изображение гомогенное, иногда мелкая темная зернистость (залесенность) Может быть веерообразный рисунок контуров	aQIV	1,0—1,3	Торф, от 0,2 до 1,5 м супеси	Супеси, пески	Талое	Выше 0	0—0,5	Заболачивание
		7									
П—7		Низкие торфяники с комплексом кустарничково-мохово-лишайниковых и травяно-моховых сообществ	Рисунок изображения пятнистый: светло-серые пятна овальной формы средних размеров чередуются с серыми мочажинами и почти черными мелкими озерками. Дешифрируются по светлому тону и пятнистому рисунку	aQIV	СТС 0,3—0,8	Торф, 1—4	Торф, пески	Сплошное распространение ММП, под крупными озерами кровля ММП опущена	—0,5—1	0—0,5	Начальные стадии термокарста

Макет индикационной таблицы к карте предварительного дешифрирования

(Составили И. С. Гудилин и З. В. Мусиенко)

Комплексные индикаторы			Индицируемые условия			
Рисунок фотоизображения	Характеристика комплексного индикатора и его индекс на карте	Характеристика рисунка фотоизображения	Состав горных пород	Тектоника, трещиноватость пород	Современные геологические процессы	Обводненность пород
	I. Горы и плато в области интенсивных современных поднятий					
	I — А. Горы высокие, сложенные скальными осадочными породами					
I—А—I	I — А — 1. Горы высокие экзарационно-эрозионные, глубоко и часто расчлененные, с осыпями, обвалами, оползнями, оплывинами и селями, покрытые высокогорными лугами, местами хвойно-широколиственными лесами (внизу)	Узкополосчатый, перистоветвистый в верхних частях склонов; мелкопятнистый — в нижних частях склонов (оползни, оплывины рыхлого чехла)	Глинистые сланцы, аргиллиты, песчаники (J^3_1) Глыбы, щебень, суглинки у подножия склонов мощностью >6 м (dpQ_{VI})	Интенсивно дислоцированы; нарушены разломами; трещиноваты наиболее интенсивно до глубины 25 м	Обвалы, осыпи, сели, оползни, оплывины в рыхлом чехле	Полускальные породы обводнены в верхней трещиноватой зоне с 5 до 25 м, реже 60 м. Грубообломочные породы обводнены у основания
I—А—2	I — А — 2. Горы высокие, эрозионные, глубоко и часто расчлененные, с осыпями, селями, оползнями, оплывинами, покрытые высокогорными лугами, широколиственными лесами	Крупнопятнистый (горные луга и леса); местами мелкопятнистый (освещенные и затемненные склоны); тонкополосчатый или сетчатый (слоистость, трещиноватость), общий светлый тон (цвет пород) Узкие полосы горных пород, развитых в ландшафте I — А — 1, дешифрируются фрагментарно	Мергели, известняки, конгломераты, глинистые сланцы с прослоями песчаников ($K_{IV}+J_3$); склоны покрыты чехлом щебнисто-суглинистых образований мощностью 3—6 м (dQ_{IV});	Интенсивно дислоцированы; нарушены многочисленными разломами; наиболее интенсивно трещиноваты до глубины 25 м	Осыпи, сели, оползни и оплывины в рыхлом чехле	Полускальные породы обводнены в верхней трещиноватой зоне 5—25 м. Грубообломочные и связные — у основания

Продолжение табл.

Комплексные индикаторы			Индицируемые условия			
Рисунок фотоизображения	Характеристика комплексного индикатора и его индекс на карте	Характеристика рисунка фотоизображения	Состав горных пород	Тектоника, трещиноватость пород	Современные геологические процессы	Обводненность пород
			I—Б. Плато высокогорное, сложенное скальными эффузивными породами			
	I — Б — 1. Плато высокогорное вулканическое, волнисто-бугристое, слаборасчлененное в центральных частях, резко и глубоко — по окраинам, с осыпями, россыпями, камнепадами, покрытое высокогорными лугами	Морщинисто-шагреневый — следы течения отдельных языков лавовых потоков. Неоднородный пятнистый в центральных частях плато и полосчато-пятнистый по окраинам (эрозионные врезы)	Андезиты и базальты ($\alpha\beta Q$). Глыбы, щебень в межбугровых понижениях мощностью до 3 м (edQ_{IV})	Залегают полого; трещиноваты наиболее интенсивно до глубины 2—5 м. Крупные трещины часто проникают на всю мощность	Осыпи, глыбовые, россыпи, камнепады	Обводнены по трещинам с глубины 5—30 м, реже 80 м
			I — В. Горы средневысотные, сложенные скальными осадочными породами			
I—В—I	I — В — 1. Горы средневысотные, эрозионные, неглубоко расчлененные, с оползнями, осыпями, с широколиственными, участками хвойно-широколиственными лесами и лугами	Крупнопятнистый: темные пятна лесов, светлые — безлесных участков. На плоских водоразделах и пологих склонах серые мелкие неясновыраженные, местами геометрической формы, пятна культурной растительности	Песчаники, глинистые сланцы, аргиллиты с прослоями конгломератов (K_2cm+K_1). Склоны и водоразделы покрыты чехлом щебнисто-суглинистых образований мощностью до 3 м (edQ_{IV})	Интенсивно дислоцированы, нарушены разломами, трещиноваты до глубины 25 м	Оползни коренных пород, оплывины в рыхлом чехле, осыпи	Обводнены с глубины 5—25 м, реже с 50 м
I—В—2	I — В — 2. Горы средневысотные денудационно-эрозионные, редко- и неглубокорасчлененные, за-	Мелкопятнистый: темные пятна широколиственных лесов крупнозернистой структуры и свет-	Известняки, мергели, аргиллиты с прослоями конгломератов (K_2t—d). Склоны и водоразделы	Дислоцированы; нарушены разломами; трещиноваты	Карст, осыпи, оползни и оплывины в рыхлом чехле	Обводнены по трещинам и иногда карстовым пусто-

	карстованные, с оползнями и оплывинами рыхлого чехла, освоенные, с участками широколиственных лесов	лые геометрической формы — освоенные участки	покрыты чехлом щебнисто-суглинистых образований мощностью 3, реже 6 м (edQ_{IV})	наиболее интенсивно до глубины 30 м		там с различной глубины (от 25 до 50 м)
I (А, Б, В)	I — (А, Б, В). Днища крупных ящикообразных и троговых глубоковрезанных долин, выполненные щебнисто-глыбово-галечными отложениями	Полосчатый: узкие, светлые, иногда прерывистые полосы русел, пойм и террас; струйчатый: конусы выноса и осыпания	Глыбы, щебень, галечник, дресва, на поверхности террас — суглинки со щебнем (a, d, pQ_{IV})		Глубинная эрозия, подмыв берегов, конусы выноса, осыпания, сели	Пойма обводнена с глубины 0,5—1 м; на террасах с глубины 15—20 м
			II. Горы, предгорья и равнины в области замедленных поднятий			
			II — А. Горы низкие и предгорья, сложенные полускальными и скальными осадочными и вулканогенно-осадочными породами			
II—А—I	II — А — 1. Низкие структурно-эрозионные горы неглубоко и редко расчлененные, с оползнями, местами с карстом, с участками широколиственных лесов, кустарников и культурной растительности	Мелкопятнистый: темные пятна зернистой структуры — широколиственные леса и светлые, геометрических очертаний,— культурная растительность; осложнен ветвистым рисунком гидросети	Порфириты, их туфы, туфобрекчии, туфопесчаники, глинистые сланцы (J_2b_j) Песчаники, конгломераты с прослоями глин (P^1_3). Известняки, мергели, аргиллиты, песчаники, глинистые сланцы с прослоями конгломератов (K_2t—d) Склоны и водоразделы перекрыты чехлом щебнисто-суглинистых образований мощностью до 6 м (edQ_{IV})	Дислоцированы, трещиноваты наиболее интенсивно до глубины 25 м	Оползни, оплывины, карст, эрозия	Обводнены спорадически с глубины 10—30 м, реже 50 м

Продолжение табл.

Комплексные индикаторы			Индицируемые условия			
Рисунок фотоизображения	Характеристика комплексного индикатора и его индекс на карте	Характеристика рисунка фотоизображения	Состав горных пород	Тектоника, трещиноватость пород	Современные геологические процессы	Обводненность пород
II—А—2	II — А — 2. Холмистые структурно-эрозионные предгорья, слаборасчлененные, с оползнями, с культурными землями, шибляковыми зарослями, участками широколиственных лесов	Крупнопятнистый: темные пятна мелкозернистого рисунка — шибляковые заросли, крупнозернистого — широколиственные леса; светлые пятна геометрических очертаний — культурная растительность, мелкая полосчатость обусловлена искусственной терразированностью склонов	Конгломераты, песчаники с прослоями глин, известняки, мергели, известняковые песчаники (N_1s+N_2ph). Склоны и водоразделы перекрыты чехлом щебнисто-суглинистых и суглинистых образований мощностью до 6 м (edQ_{IV})	Слабо дислоцированы; трещиноваты до глубины 20—25 м	Оползни, суффозия, эрозия	Обводнены спорадически с глубины 10—35 м.
II — Б. Равнины возвышенные, сложенные грубообломочными, с прослоями связных, породами						
II—Б—I	II — Б — 1. Равнины возвышенные, пролювиальные, пологонаклонные, слаборасчлененные, сложенные галечно-песчаными отложениями, освоенные	Веерообразный крупнопятнистый; участки геометрических очертаний — культурная растительность (виноградники и др.) пересекаются сетью светлых полос (дороги и оросительные каналы)	Песчаники с прослоями галечников, супесей, суглинков и глин, мощностью более 6 м (Q_{II-IV})	Не дислоцированы	Подмыв берегов, участки развития овражно-балочной сети, суффозия	Обводнены спорадически с глубины 0,5—8 м
II (А, Б)	II — (А, Б). Днища неглубоковрезанных ящикообразных, реже u-образных террасированных крупных долин, выполненных преимущественно песчано-галечниковыми отложениями	Пятнистый: культурная растительность на террасах, бессистемный извилистый на пойме	Пески с прослоями галечников, супесей, суглинков и глин мощностью более 6 м (Q_{III-IV})	Не дислоцированы	Подмыв берегов, дефляция	Поймы обводнены с глубины 0,5 до 1 м, террасы — с глубины 15—20 м

Абразия и аккумуляция морских берегов— 57
Агрессивность воды по отношению к бетону— 28
Анизотропия геологических тел— 132, 135
Антропогенные индикаторы— 90
Апроксимирующая функция— 131
Аэровизуальные наблюдения— 104, 105
Аэрофотосъемка— 102

Болота— 14
Бугры пучения, булгуняхи— 62, 63
Буровой журнал— 215

Вероятностная бумага— 237
Верховодка— 27
Вибрационные методы бурения— 189, 193
Влажность естественная— 45, 46, 97, 189
— за счет незамерзшей воды— 45
— минеральных прослоев— 45
— объемная— 177, 179, 180, 183
Временное сопротивление сжатию— 46
Встречаемость (частота) компонент инженерно-геологических условий— 245, 246, 247
Выветрелость— 47
Выветривание— 61
Выпучивание каменного материала— 62
Выстаивание скважин— 206

Генетические типы четвертичных отложений— 18
Геоботанические индикаторы— 90, 95, 96, 97
Геокриологические наблюдения— 203
Геоморфологические индикаторы— 89, 94, 95
— исследования— 22
Геологическое тело— 44, 125, 127, 128, 129, 130, 133, 135, 232, 233, 234, 238, 240, 241, 242
Геофизические материалы готовые— 140
Гидрогеологические работы— 200
Гидрографические индикаторы— 90
Гидролакколит— 63
Гипотеза однородности— 234, 241, 242
Глубинность инженерно-геологической съемки— 6
Глубина проникновения температурных колебаний— 39
Горизонтальное расчленение рельефа— 11
Гранулометрический состав— 44, 45, 178
Грунтовые воды— 27
Грунтовые жилы— 63, 64
Граница геологического тела— 124, 130
График (диаграмма) зондирования— 175, 178, 179, 183
График рассеяния— 234

Дешифрирование предварительное— 103
— контурное— 103
— полевое— 106
— окончательное— 108
— выборочное измерительное— 109
Динамическое зондирование— 136, 137, 173—175
Дискриминатор (метод)— 179, 180, 183, 184
Достоверность ландшафтных индикаторов— 245

Жесткость воды— 28, 29
Журнал отбора образцов пород— 216
Журнал определения влажности пород— 217
— — объемной массы пород— 217
— — коэффициента фильтрации— 217
— — отбора проб воды на химанализ— 218
— — температурных измерений— 219
— — шурфов— 215

Засоление почв— 28
Засоленность— 45—46

Изменчивость пространственная— 124, 128
Инженерно-геологическая съемка— 101, 102
Инженерно-геологические карты— 5, 7, 19, 249—252, 253—254
— разрезы— 222, 250, 253
— процессы— 48, 65
Инженерно-геологическое опробование пород— 44, 124, 129
Интенсивность проявления процесса— 71
— землетрясения— 50
Информация количественная— 233, 238
— априорная— 233, 234
Искиметрия— 136, 137, 129

Каменные моря, каменные реки— 53
Карст— 59
Карта пораженности территории современными геологическими процессами— 70
— сейсмического районирования— 50
— типов сезонного промерзания и протаивания пород— 42
— фактического материала— 257
Каталог колодцев— 218
— родников— 218
Климат— 11, 12—13
Ключи перфокартотеки— 224—226
Ключевые участки— 25, 76, 77, 78, 79, 80, 232, 233, 237, 238
Коды дескрипторов— 224, 226, 227
Колонковое бурение— 189, 192, 193
Комплексирование полевых методов— 80
Комплексные ландшафтные индикаторы— 92, 93, 98, 99, 110
Консервирование и хранение проб воды— 194—195
Коэффициент изменчивости— 132—133, 245
— пораженности— 71
— сопряженности— 247
— температуропроводности— 207
Криогенное пучение— 62—63
— строение многолетнемерзлых пород— 40
Криогенные процессы— 62
— текстуры— 41
Крыльчатое зондирование— 136
Курумы— 53

Лавины— 54
Ландшафтно-индикационная карта— 109—110
Ландшафтно-индикационный метод— 105, 106, 107, 88, 93—94
Ландшафтные индикаторы:
генетических типов четвертичных отложений— 110
геокриологических условий— 117
гидрогеологических условий— 113
криогенных процессов— 120
разрывных нарушений— 112
складчатых нарушений— 113
современных геологических процессов— 118
состава горных пород— 111—112
Льдистость— 45, 46

Мастики и замази для консервирования— 195
Мера рассеяния— 125, 133
Мерзлотный прогноз— 32
Методы радиоизотопные— 307—318
Метод доверительных пределов— 133, 239, 243
— итераций— 130
— экстраполяции— 76
Микропенетрация— 136, 137
Минерализация грунтовых вод— 28, 155
Модуль изотропности— 132, 135
— общей деформации— 175, 176
Морозобойные трещины— 63

Набухание— 46
Накопление частости— 237
Наледи— 63, 64
Наливы в шурфы— 202
Напорные воды— 29
Направления изменчивости (главные)— 124, 125, 128, 129, 130, 132, 135, 174, 243
Неотектонические движения— 49
Номограмма достаточно больших чисел— 134
Нормированное отклонение— 134, 243

Обвалы и осыпи— 49
Обобщенные значения показателя— 124, 127, 232, 242, 243
Обследование инженерных сооружений— 210
Общий прогноз— 68
Объемная масса— 45, 177, 179—180 183—185
Объемы полевых работ— 78
Овраги— 55
Однородность геологических тел— 128, 176, 234, 237, 243
Описание горных пород— 197—198, 204
Оползни— 52
Опорные маршруты— 76
Осадка при оттаивании— 45, 47, 62, 63
Оценка существенности различия— 130, 132

Параметры вызванной поляризации— 149
— системы (сети) опробования— 125, 129, 132, 133
Пенетрационно-каротажные методы— 136, 177, 178, 180
Перфокарты— 223—224
Пластичность— 45, 178
Плотность— 45, 175, 176
Поверхностные воды— 11, 13—14
Повторно-жильные льды— 63
Подземные воды— 25
Показатели консистенции— 45, 46, 175—176
— классификационные— 44, 45, 125, 128, 131, 232

— расчетные — 44
— пенетрации— 44, 173, 174, 175, 180, 183
Показатель предельного напряжения сдвига— 44
— сжимаемости— 128
— сопротивления резанию (искиметрии)— 44
— структурной прочности— 46
— уплотненности— 44
— чувствительности— 44
Поле показателя (геологическое поле)— 131
Полная влагоемкость— 189
Пористость— 45, 175, 189
Породы (петрографический тип)— 46, 135, 175, 232
Породы глинистые— 44, 45
— песчаные— 44, 45
— крупнообломочные— 44, 45
— скальные— 45, 46
— мерзлые— 47
Последовательный анализ— 132
Почвенный покров, почвы— 14
Прессиометрия— 136
Приборы для измерения температуры пород— 207
Природно-территориальный комплекс— 88, 109
Прогнозное геодинамическое картирование— 70
Прогнозная геокриологическая карта— 43
Прогноз экзогенных геологических процессов— 68
Просадочность— 185
Пятнообразование— 63

Р*адиоволновое профилирование— 143*
Районирование территории по интенсивности проявления экзогенных процессов— 73—74
Размах значений показателя— 178, 235, 241
Размягчаемость (размокаемость)— 45, 46
Растворимость— 45, 46
Растительность— 14
Расчет параметров сети опробования— 133—135
Режим пространственной изменчивости— 130, 133, 174, 175, 132, 233, 243, 244
Режим подземных вод— 29
Рекогносцировочные работы по опробованию — 129, 131, 132, 135

Сезонное промерзание и протаивание горных пород— 33
Сейсмическая активность— 50
Сейсморазведка— 139, 142, 150, 151, 160, 162
Сели— 56
Сингенетически промерзшие рыхлые отложения— 41
Сингенетические льды— 64
Система опробования (пространственное размещение проб или испытаний)— 125, 128
Склоновый смыв— 55
Скоростные полевые испытания— 124, 125, 128, 133, 135, 136, 137
Содержание отчета— 255—257
— растительных остатков— 45—46
Солифлюкция— 63
*Сопряженность компонентов инженерно-*геологических условий и типов ПТК— 245, 246, 248
Сравнительно-геологический метод прогноза— 70
Способы отбора проб пород— 191—194
Статистические критерии— 130, 132, 179, 234—238
Стратиграфо-генетический комплекс— 8, 18, 130, 232
Суффозия— 60

Талики— 30
Температура на поверхности растительности и снежного покровов— 35
Температура на подошве слоя годовых колебаний— 35, 39
Температура средняя годовая на подошве слоя сезонного промерзания и протаивания— 30
Температура средняя годовая на поверхности почвы— 35
Температурная сдвижка— 30
Температурный градиент— 39
— режим грунтов— 35
Термокарст— 63
Тип промерзания пород— 40
Типологическая классификация ландшафтов— 92, 107, 108
Тождество геологических тел— 237, 238, 239
Точность определения— 128, 129, 133, 244
Трещиноватость горных пород— 21—22, 198

Ударное бурение— 192
Удельное электрическое сопротивление пород— 147—148

Угол естественного откоса— 45
Уровень значимости— 128, 234, 238, 242
Урочище— 88
Установки зондирования— 173, 174, 175

Фациальный комплекс пород— 8, 19
Фация (ландшафтная)— 88
Формация горных пород— 8, 17

Химический состав грунтовых вод— 27

Шнековое бурение— 189—190, 191
Шурфы и дудки— 189

Экзогенные геологические процессы— 50
Экстраполяция ландшафтных индикаторов— 93

Электропрофилирование— 142, 155, 157, 158, 162
Электромагнитное профилирование— 143—147, 158—159
Электроразведка методом ВЭЗ— 139, 142, 163, 147, 154, 157, 162
— методом вызванной поляризации (ВП)— 139, 149
Эндогенные процессы— 49
Энергия рельефа— 11
Эоловые процессы— 60
Эпигенетически промерзшие рыхлые отложения— 41
Эпигенетические льды— 64
Эрозия— 55

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

ЧАСТЬ I

СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Глава 1. **Цель и содержание инженерно-геологической съемки.** *Е. С. Мельников* 5

Целевое назначение и задачи съемки 5
Требования к содержанию инженерно-геологической карты 7

Глава 2. **Изучение географических условий.** *Н. Г. Верейский* 11

Рельеф 11
Климат 12
Поверхностные воды 13
Почвенный покров 14
Растительность 14
Население и народнохозяйственное освоение территории 15
Результирующие материалы 15

Глава 3. **Изучение геологического строения и геоморфологических условий.** *Н. Г. Верейский* 16

Общие положения 16
Литологические особенности и петрографический состав 19
Тектоника 20
Геоморфологические условия 22
Результирующие материалы 24

Глава 4. **Изучение гидрогеологических условий.** *Л. А. Островский, В. В. Ружанский* 25

Значение и роль подземных вод как компонента инженерно-геологических условий территории 25
Гидрогеологические характеристики, подлежащие изучению при инженерно-геологической съемке 26
Особенности изучения гидрогеологических условий в различных ландшафтно-климатических зонах 29
Результирующие материалы 31

Глава 5. **Изучение геокриологических условий.** *К. А. Кондратьева, В. А. Кудрявцев, Н. Н. Романовский, Н. И. Труш* 32

Особенности инженерно-геологических исследований в области распространения многолетнемерзлых пород 32
Изучение сезонного промерзания и протаивания горных пород 33
Изучение условий залегания многолетнемерзлых пород и их температурного режима 36
Изучение криогенного строения и свойств многолетнемерзлых пород . . 40
Результирующие материалы 42

Глава 6. **Изучение инженерно-геологических свойств горных пород** . . . 44

Общие положения. *Г. К. Бондарик, Е. С. Мельников* 44
Крупнообломочные, песчаные и глинистые породы *Г. К. Бондарик* . . 44
Скальные и полускальные горные породы. *С. В. Николаев* 46
Мерзлые горные породы. *Е. П. Шушерина* 47

Глава 7. **Изучение современных геологических и инженерно-геологических процессов** 48

Цели и задачи изучения геологических и инженерно-геологических процессов при инженерно-геологической съемке. *К. А. Гулакян, М. М. Максимов* 48
Эндогенные процессы. *М. М. Максимов* 49
Экзогенные геологические процессы. *Б. М. Гамалей, К. А. Гулакян, В. В. Кюнтцель, М. М. Максимов, И. А. Моссаковская, Н. Н. Романовский, Г. И. Тарасова, Г. Р. Хоситашвили, А. И. Шеко* 50
Гравитационные смещения пород на склонах и откосах 50
Процессы, связанные с действием поверхностных вод 55

Стр.
Процессы, связанные с действием подземных вод 59
Процессы развевания и выветривания 60
Криогенные процессы 62
Процессы и явления, вызванные инженерной деятельностью человека. *Г. Г. Скворцов* 65
О прогнозе экзогенных геологических процессов. *К. А. Гулакян, В. В. Кюнтцель* 68
Результирующие материалы. *М. М. Максимов, А. И. Шеко* 71

ЧАСТЬ II

МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Глава 8. **Общая методика инженерно-геологической съемки.** *Е. С. Мельников* 75

Метод ключевых участков 75
Выбор рационального комплекса полевых методов 80
Последовательность съемочных работ 86

Глава 9. **Ландшафтно-индикационные исследования и их применение в сочетании с аэрометодами** 88

Общие положения. *С. В. Викторов, Е. С. Мельников, А. В. Садов* . . . 88
Методика ландшафтно-индикационных исследований 93
Изучение и анализ различных карт. *С. В. Викторов, Е. С. Мельников, Л. Н. Тагунова* 93
Предварительное дешифрирование аэрофотоматериалов и топографических карт. *И. С. Гудилин* 101
Аэровизуальные наблюдения. *В. М. Валях, А. В. Садов* 104
Наземные ландшафтно-индикационные исследования. *Е. С. Мельников* 106
Камеральная обработка результатов исследований. *Е. С. Мельников, Л. Н. Тагунова* 107
Ландшафтные индикаторы инженерно-геологических условий и их дешифровочные признаки 110
Ландшафтные индикаторы геологического строения и геоморфологических условий. *И. С. Гудилин, З. В. Мусиенко* 110
Индикаторы состава горных пород 111
Ландшафтные индикаторы тектоники. *И. С. Гудилин, З. В. Мусиенко* 112
Ландшафтные индикаторы гидрогеологических условий. *Г. А. Негребецкий* 113
Ландшафтные индикаторы геокриологических условий. *Е. С. Мельников* 117
Ландшафтные индикаторы современных геологических процессов. *И. С. Гудилин, Е. С. Мельников* 118

Глава 10. **Инженерно-геологическое опробование пород.** *Г. К. Бондарик* . . 124

Цели, задачи, место и структура опробования 124
Общая методика работ по инженерно-геологическому опробованию пород 129

Глава 11. **Геофизические методы** 138

Общие положения. *Н. Н. Горяинов, Г. Я. Черняк, Н. Н. Шарапанов* . . 138
Использование материалов ранее проведенных геофизических работ. *И. М. Мелькановицкий* 140
Маршрутные и площадные геофизические работы. *В. М. Тимофеев, Г. Я. Черняк* 142
Геофизические работы на ключевых участках 147
Изучение геологического строения. Расчленение геологического разреза по составу рыхлых пород. *Н. Н. Горяинов, О. М. Мясковский, Г. Я. Черняк, Н. Н. Шарапанов* 147
Изучение скальных и полускальных пород. *Н. Н. Горяинов, В. Н. Никитин, Г. Я. Черняк* 151
Изучение гидрогеологических условий. *Н. Н. Горяинов, Г. Я. Черняк, Н. Н. Шарапанов* 154
Изучение геокриологических условий. *Н. Н. Горяинов, В. Б. Пугач, В. М. Тимофеев* 157
Изучение современных геологических процессов. *Н. Н. Горяинов, Г. Я. Черняк* 161
Изучение инженерно-геологических свойств горных пород. *Н. Н. Горяинов, А. И. Данилин, В. Т. Дубинчук, Н. Д. Корниенко, В. В. Плотников* 163

Стр.

Глава 12. **Пенетрационные методы** 173

Общие положения. *Г. К. Бондарик* 173
Динамическое зондирование. *Г. К. Бондарик* 174
Статическое зондирование. *Г. К. Бондарик* 175
Пенетрационно-каротажные методы. *Т. А. Грязнов, Б. А. Кровопусков, В. И. Ферронский, Ю. А. Юркштович* 177

Глава 13. **Горно-проходческие и буровые работы** 187

Горные выработки. *О. В. Зеленцов, Н. В. Коломенский* 187
Буровые скважины. *Д. Н. Башкатов, Н. В. Коломенский* 189
Способы отбора проб пород. *Н. В. Коломенский* 191
Консервирование и хранение проб горных пород. *Н. В. Коломенский* . . 194

Глава 14. **Инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические наблюдения** 196

Инженерно-геологические наблюдения. *Г. К. Бондарик, Н. В. Коломенский* 196
Гидрогеологические наблюдения. *В. В. Ружанский* 200
Геокриологические наблюдения. *В. А. Кудрявцев, Н. Н. Романовский, Е. П. Шушерина* 209
Обследование состояния инженерных сооружений. *Н. В. Коломенский* . . 210

ЧАСТЬ III

ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ДАННЫХ, АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Глава 15. **Полевая документация** 213

Полевые материалы. *Е. С. Мельников, Е. А. Чеклина* 213
Перфокарты. *Л. И. Вейсман, Е. С. Мельников* 223

Глава 16. **Математические методы обработки инженерно-геологической информации.** *М. И. Горальчук* 232

Общие положения 232
Проверка однородности выделенных геологических тел 234
Проверка гипотезы о законе распределения значений геологических параметров 235
Оценка тождества геологических тел 238
Режим пространственной изменчивости показателей свойств и его количественная характеристика. Вычисление обобщенных показателей свойств пород 243
Оценка достоверности ландшафтных индикаторов 245

Глава 17. **Отчетные материалы.** *Е. С. Мельников* 249

Принципы и методика составления инженерно-геологических карт . . . 249
Разрезы и другие приложения к инженерно-геологической карте . . . 253
Особенности составления инженерно-геологических карт и разрезов в разных районах 253
Содержание текстовой части инженерно-геологического отчета 255
Фактический материал 257

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I. Номенклатура грунтов оснований (по СНиП II, 15—74) . 259
Приложение II. Номенклатура вечномерзлых грунтов (по СНиП II—18—76) 266
Приложение III. Номограммы для расчета глубин сезонного протаивания — промерзания и температурной сдвижки 270
Приложение IV. Требования к отбору, упаковке, хранению и транспортированию образцов, предназначаемых для определения показателей свойств грунтов (ГОСТ 12071—66) 273
Отбор образцов грунта 273
Упаковка 274
Транспортирование и хранение 275
Приложение V. Таблицы статистических критериев 276
Приложение VI. Эталонные аэрофотоснимки и их описание 280
Состав пород. *Гудилин И. С., Мусиенко З. В.* 302
Тектоника. *Мусиенко З. В.* 302
Подземные воды. *Негребецкий Г. А.* 311
Современные геологические процессы. *Гудилин И. С.* 330
Комплексные эталоны. *Гудилин И. С., Тагунова Л. Н.* 356
Предметный указатель 385

ИБ № 1195

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ МАСШТАБА 1 : 200 000 (1 : 100 000—1 : 500 000)

Редактор издательства Л. Г. Китаенко
Переплет художника М. И. Гозеннут
Художественный редактор В. В. Евдокимов
Технический редактор В. В. Соколова
Корректор Н. А. Громова

Сдано в набор 12/VIII 1977 г.
Подписано в печать 30/XI 1977 г. Т-21024
Формат 70×108 1/16. Бумага № 1 +мелован.
Печ. л. 24,5 Усл. п. л. 34,3. Уч.-изд. л. 34,41
Тираж 7300 экз. Заказ 542/12197—2
Цена 3 р. 10 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»

2329

НЕДРА