Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве Госстроя СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ И ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ СССР

Москва, 1967 г.

gost.e-ecolog.ru

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве Госстроя СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ И ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ СССР

Москва, 1967 г.

Рассматриваются особенности условий строительства в карстовых районах, которые следует учитывать при производстве инженерно-геологических изысканий. Излагаются задачи и состав изысканий на разных стадиях проектирования промышленного и гражданского строительства. Рекомендуется метод оценки устойчивости территорий, который заключается в определении среднегодового количества провалов, приходящихся на единицу площади, и в составлении графиков распределения провалов по их величине. Рассматриваются гидрогеохимические методы оценки возможности и интенсивности развития карста. Излагаются методические особенности производства основных видов работ, входящих в состав изысканий. Прилагается схема районирования территории СССР по условиям строительства в карстовых районах.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников изыскательских и проектных организаций.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Карстовые районы, распространенные на значительной части территории СССР, характеризуются особыми условиями строительства, которые следует учитывать при производстве инженерно-геологических изысканий, в связи с чем и возникла необходимость в составлении настоящих рекомендаций.

Рекомендации разработаны Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя СССР в результате научных исследований и обобщения практического опыта изысканий и строительства. В них рассматриваются особенности условий строительства в карстовых районах и рекомендуются методы инженерно-геологических изысканий и оценки территорий на разных стадиях проектирования промышленного и гражданского строительства[x/].

При составлении рекомендаций использованы литературные источники и фондовые материалы научно-исследовательских, изыскательских, проектных, строительных и других организаций.

Работа выполнена под руководством Саваренского И.А. Разделы I,2,3 и 4 составил Саваренский И.А., раздел 5 - Зверев В.П., разделы 6.А и 6.И - Зверева В.А., разделы 6.Б и 6.В - Павленко Г.К. (с дополнениями и уточнениями Саваренского И.А.), раздел 6.Г - Брашнина И.А. при участии Самойловой Н.П. и Черноблыской А.М., разделы 6.Д и 6.Е - Саваренский А.П. Ответственный редактор - Ильин А.Н.

---

x/ ПНИИИС подготовил к опубликованию также "Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР", составленные совместно с Донецким Промстройниипроектом, ЦНИИЭПхимнефть и ЦНИИПградостроительства.

На основе настоящих рекомендаций, после их проверки на практике, предполагается разработать и представить на утверждение в Госстрой СССР проект нормативного документа (указаний) по инженерно-геологическим изысканиям для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах. В связи с этим ПНИИИС обращается с просьбой прислать отзывы, предложения и замечания по адресу: Москва, К-12, Б.Черкасский пер., 2/10.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.OI. Настоящие рекомендации распространяются на инженерно-геологические изыскания для проектирования промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР.

Рекомендации не распространяются на изыскания для других видов строительства (гидротехнических сооружений, систем водоснабжения, железных и шоссейных дорог, магистральных трубопроводов, линий электропередач и пр.).

I.02. Карстовые районы относятся к территориям с особыми условиями изысканий и строительства (п.п. 2.OI и 3.OI). При изысканиях в этих районах следует руководствоваться:

а) действующими нормативными и методическими документами для обычных условий;

б) настоящими рекомендациями, учитывающими особенности карстовых районов;

в) действующими нормативными и методическими документами для других особых условий (сейсмичность, просадочные и многолетнемерзлые грунты, оползни, сели, подработка территорий при эксплуатации месторождений полезных ископаемых и т.д.), если такие условия имеются на изучаемой территории.

I.03. К карстовым районам относятся территории, в геологическом разрезе которых присутствуют растворимые горные породы (известняки, доломиты, мел, гипсы, ангидриты, каменная соль и т.п.) и имеют место или возможны поверхностные и подземные проявления карста.

На территории с наличием псевдокарста (так называемого глиняного карста, обусловленного легкой размываемостью глинистых по-

род) и термокарста (связанного с оттаиванием многолетнемерзлых пород) настоящие рекомендации не распространяются.

I.04. Отнесение районов строительства к карстовым или некарстовым производится на основании геологических материалов, имеющихся в территориальных геологических управлениях, трестах инженерно-строительных изысканий, научно-исследовательских институтах и карстовых станциях, или по данным предварительного обследования. При этом руководствуются также обзорными картами распространения закарстованных пород и карстовых явлений.x/

Примерное распространение карстовых районов на территории СССР показано на схеме (приложение № I).

---

x/ Рекомендуются карты, составленные институтом ВСЕГИНГЕО (Родионов Н.В. и др.), ПНИИИСом (Колодяжная А.А.) и кафедрой инженерной геологии МГРИ (Николаев Н.И., Попов И.В.).

2. ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ

2.01. Особые условия строительства и, соответственно, особые задачи изысканий в карстовых районах связаны с необходимостью учитывать:

а) карстовые деформации земной поверхности (п.п. 2.02 - 2.07);

б) пониженную несущую способность закарстованных пород и отложений, заполняющих поверхностные и погребенные карстовые формы (п.2.08);

в) особенности гидрологических и гидрогеологических условий, связанные с карстом (п.2.09);

г) возможность значительной активизации или замедления развития карста и связанных с ним явлений в результате хозяйственной деятельности человека (п.2.21).

2.02. Выделяются следующие типы карстовых деформаций земной поверхности:

а) провалы (п.п.2.03-2.05);

б) постепенные небольшие по площади местные оседания (п.2.06);

в) постепенные длительные оседания на обширной площади, иногда приводящие к образованию крупных мульд оседания и депрессий (п.2.06);

г) коррозия земной поверхности в местах выхода растворимых горных пород (п.2.07).

Нередко встречаются комбинированные и промежуточные типы деформаций земной поверхности.

2.03. Провалы, вследствие внезапности их возникновения, представляют основную опасность для зданий и сооружений в карстовых районах. Необходимо различать их генетические типы, из которых важнейшие: а) провалы, вызванные обрушением кровли карстовых полостей, б) карстово-суффозионные и в) смешанные. Первые - возникают при наличии на сравнительно небольшой глубине достаточно крупной полости с ослабленной кровлей. Вторые - происходят в результате просасывания (вымывания) в карстовые полости и расширенные трещины рыхлого материала из отложений, покрывающих карстующиеся породы. При достаточной мощности покрывающих рыхлых (или разрыхляемых) отложений и благоприятных гидродинамических условиях карстовые полости и трещины даже небольшого поперечного сечения, но значительной протяженности могут привести к возникновению крупных карстово-суффозионных провалов.

2.04. Подготовка провалов происходит на глубине длительное время, на поверхности же провальный процесс протекает очень быстро. При этом обычно сперва на поверхности внезапно появляются трещины, по которым происходит обрушение грунта и образуется воронка или колодец небольшого диаметра. Затем стенки воронки (колодца) обваливаются и оползают и размеры ее увеличиваются. В песчаных и глинистых грунтах продолжительность формирования провальной воронки ориентировочно составляет: при малом ее диаметре (до 10 м) - не более нескольких минут, при среднем диаметре (около 20-30 м) - порядка 15-30 мин., при большом диаметре (50 м и более) - 1-3 часа и более.

Образованию провала иногда предшествуют: оседание поверхности земли и возникновение трещин, шум и треск, скачки уровня подземных вод в наблюдательных скважинах и т.п.

Явления, предшествующие образованию провальных воронок, могут быть использованы для прогноза возникновения провалов, а время формирования провальной воронки - для осуществления экстренных мероприятий по эвакуации людей и ценностей.

Провалы могут возникать поодиночке и группами. Наблюдаются случаи повторных провалов на месте ранее образовавшихся воронок.

2.05. Размеры провалов зависят от местных геологических и гидрогеологических условий. Их диаметры в одних районах не превышают 5-10 м, в других - достигают 50 и даже 100-300 м. Глубина - преимущественно от долей метра до нескольких метров, иногда достигает нескольких десятков метров. Для провальных воронок в сухих рыхлых и слабосвязанных грунтах характерно отношение глубины к диаметру 1:3 - 1:2. В обводненных рыхлых грунтах (при прочих равных условиях) это отношение уменьшается, а в прочных породах - увеличивается. Небольшие провалы в большинстве районов случаются значительно чаще, чем крупные.

Вокруг провалов нередко отмечается ослабленная зона с пониженной несущей способностью грунтов, концентрическими трещинами и небольшими оседаниями грунта. Ширина этой зоны бывает различна - от долей метра до нескольких метров.

2.06. Постепенные оседания земной поверхности представляют сравнительно с провалами значительно меньшую опасность. Их учитывают преимущественно в районах активного соляного карста (п.2.15), а также при проектировании особо ответственных зданий и сооружений, чувствительных к осадкам основания.

2.07. Коррозия земной поверхности в местах выхода растворимых горных пород учитывается редко (п.2.17).

2.08. Кроме возможности провалов и оседаний земной поверхности, в карстовых районах принимается во внимание наличие поверхностных и погребенных карстовых форм (воронок, впадин и т.п.), которые нередко заполнены отложениями с пониженной несущей способностью, в том числе торфом и слабыми насыпными грунтами.

Если закарстованные породы попадают в сферу распространения нагрузок от зданий и сооружений, оценивается их несущая способность. При этом учитывается неравномерная трещиноватость, наличие зон ослабления механических свойств горных пород вследствие выщелачивания и наличие карстовых пустот (заполненных или незаполненных).

2.09. Гидрологические и гидрогеологические условия в карстовых районах характеризуются существенными особенностями (крайне неоднородная и нередко весьма высокая водопроницаемость карстующихся пород, особенности распределения поверхностного и подземного стока, уровенного режима и т.д.), которые следует иметь в виду при проведении изысканий и оценке территорий. Эти особенности имеют большое значение при проектировании различных водоемов, систем водоснабжения и канализации, дренажей, водоотлива из котлованов и решении других задач, в том числе при разработке мероприятий по борьбе с карстом.

2.10. Условия строительства и изысканий в карстовых районах зависят от региональных, зональных и местных особенностей природной обстановки. Они различны для разных типов карста, выделяемых по литологическому признаку (п.п. 2.11-2.15) и по особенностям залегания карстующихся пород (п.п. 2.16-2.20), разных тектонических регионов, климатических и геокриологических зон и т.д.

2.II. Основные литологические типы карста следующие (см. приложение № I):

а) карбонатный (с подтипами: известняковый, доломитовый и в обломочных породах с карбонатным цементом);

б) меловой (являющийся подтипом карбонатного, но, ввиду специфических особенностей, рассматриваемый отдельно);

в) гипсовый (часто встречающийся в сочетании с карбонатным);

г) соляной (преимущественно встречающийся в сочетании с гипсовым, а иногда и с карбонатным).

2.I2. Карбонатный карст распространен наиболее широко, но развивается значительно медленнее гипсового и соляного.

Растворимость пород мала (в дистиллированной воде при 25^{0}C - 0,0I5 г/л $CaCO_3$, в природных подземных водах - не превышает нескольких сотен мг/л $CaCO_3$), характерно большое влияние на растворимость свободной CO_2. В естественных условиях растворение пород происходит медленно, и возможность образования и роста карстовых полостей за период эксплуатации зданий и сооружений практически может не учитываться.

Пористость пород различна - от единиц и даже десятых долей процента до 30-35%. Степень трещиноватости и водопроницаемость изменяются в широких пределах. На участках сильной трещиноватости и закарстованности коэффициент фильтрации может достигать I00-200 м/сутки и даже более.

Наряду с развитием карста по трещинам, нередко характерно (особенно для доломитов) образование мелких многочисленных каверн, увеличение пористости и в конечном счете разрушение породы до состояния щебня и рыхлой мучнистой массы (доломитовая и известковая мука). Несущая способность таких пород понижена, кроме того возмо-

жен суффозионный вынос доломитовой и известковой муки.

Провалы происходят нечасто. Их среднегодовое количество в естественных условиях, как правило, не превышает 0,I случая на I км^2 (п.п. 4.06 и 4.I3). Однако возможность провалов необходимо учитывать.

Строительство в районах карбонатного карста, при правильном выборе площадей для застройки и соблюдении необходимых требований и мероприятий, возможно без существенных осложнений.

2.I3. Меловой карст является разновидностью карбонатного, но отличается особенностями, связанными со свойствами мела и мелоподобных пород. Распространен достаточно широко в Европейской части СССР. В основном развивается медленно.

Растворимость мела, как и других карбонатных пород, мала (п.2.I2). Пористость высокая - достигает 50% и более. Характерна легкая размываемость, значительное понижение несущей способности при увлажнении и возможность перехода обводненного мела в разжиженное состояние при динамическом воздействии.

Трещиноватость и водопроницаемость мела различны и неравномерны. На участках сильной трещиноватости и закарстованности коэффициент фильтрации достигает десятков метров в сутки и даже более.

Провалы обычно редки и невелики по размерам. Поэтому больших затруднений для промышленного и гражданского строительства меловой карст обычно не создает (за исключением отдельных районов, в которых возможны частые провалы значительных размеров), если правильно учитываются его особенности. Однако известны значительные затруднения при строительстве прудов и водоемов, связанные с большими фильтрационными потерями воды, усугубляющимися суффозионным выно-

сом материала и образованием карстово-суффозионных провалов на дне водоемов.

2.I4. Гипсовый карст часто встречается в сочетании с карбонатным. Распространен достаточно широко. Развивается намного быстрее, чем карбонатный.

Растворимость пород значительна (в дистиллированной воде при 25^0С - 2,I г/л $CaSO_4$ или 2,6 г/л $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, а в природных подземных водах может достигать примерно 7 г/л $CaSO_4$). Растворение пород и рост карстовых полостей за период эксплуатации зданий и сооружений даже в естественных условиях может быть заметным.

Гипсы и ангидриты, ввиду их высокой пластичности, в основном слабо трещиноваты (трещины редкие и большей частью закрытые), имеют малую пористость (от 0,I до 6%) и практически водонепроницаемы. Карст развивается крайне неравномерно - по контактам с водопроницаемыми породами, в особенности с карбонатными, и по редкой неравномерной системе трещин, в то время как основная масса породы долго остается монолитной, водонепроницаемой и практически незакарстованной. Коэффициент фильтрации на сильно закарстованных участках может достигать I00-200 м/сутки и даже более.

В районах гипсового карста провалы - обычное явление. Нередки сильно закарстованные участки, на которых среднегодовое количество провалов составляет от 0,I до I,0 случая на I $км^2$. Встречаются также участки со среднегодовым количеством провалов больше I,0 случая на I $км^2$ (п.п. 4.06 и 4.I3).

Ввиду опасности провалов, строительство в районах гипсового карста может быть связано с значительными затратами на изыскания и защитные мероприятия. К выбору площадей для застройки нужно подходить очень осторожно. В частности, следует учитывать, что отсут-

ствие полостей и монолитность гипсов и ангидритов в какой-либо скважине или группе скважин еще не говорит об отсутствии полостей в непосредственной близости. В результате тщательных изысканий могут быть выделены площади пригодные, ограниченно пригодные и непригодные для строительства (см. "Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР").

2.I5. Соляной карст преимущественно встречается в сочетании с гипсовым, а иногда и с карбонатным. При строительстве с ним приходится сталкиваться лишь в районах соляных месторождений. Ввиду очень высокой растворимости каменной соли (3I8 г/л при 25^{0}С) соляной карст в благоприятных гидрогеологических условиях развивается чрезвычайно быстро. Однако каменная соль отличается высокой пластичностью, трещины в ней редки и большей частью закрытые, пористость мала. Поэтому в естественных условиях развитие карста ограничено и в основном приурочено к кровле и краевым частям соляных залежей. Основная же часть залежи при этом остается практически неводоносной и незакарстованной. Некоторую роль в развитии карста играет также существенная разница в удельных весах рассолов разной концентрации. Разработка соляных месторождений оказывает очень большое влияние на развитие карста и нередко вызывает резкую его активизацию.

Активный соляной карст очень опасен: растворение пород идет чрезвычайно быстро, часто образуются провалы (среднегодовое количество их нередко больше 0,I - I,0 случая на I км^{2}), иногда очень крупные, и происходят постепенные оседания значительных площадей земной поверхности (мульды оседания), вызывающие массовые деформации и разрушения зданий и сооружений. Строительство рекомендуется

выносить за пределы опасных участков, при этом следует учитывать перспективы разработки соляных месторождений и возможность связанной с этим активизации карста.

2.I6. По особенностям залегания карстующихся пород выделяются следующие типы карста[x/]:

А/ По отношению к земной поверхности.

I) Открытый карст:

- карстующиеся породы лежат непосредственно на поверхности.

2) Покрытый карст:

- карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых, водонепроницаемых пород;

- карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых, водопроницаемых пород.

Б/ По отношению к уровню подземных вод.

I) Карстующиеся породы залегают в зоне аэрации.

2) Карстующиеся породы залегают в зоне постоянного водонасыщения.

3) Карстующиеся породы залегают в зонах аэрации и постоянного водонасыщения.

2.I7. Районы открытого карста имеют следующие особенности. Обнаженность карстующихся пород способствует проникновению в них поверхностных вод, развитию процессов выветривания, формирования экзогенной трещиноватости и карста. Провалы и оседания земной поверхности обусловлены обрушением и оседанием пород над карстовыми полостями и закарстованными зонами. Карстово-суффозионные же про-

---

x/ Принята классификация Д.С.Соколова, с изменением: термин "скрытый карст" заменен термином "покрытый карст".

валы и оседания наблюдаются лишь в понижениях рельефа, заполненных рыхлым материалом. Однако процессы суффозии внутри карстового массива могут иметь существенное значение. Характерны коррозионные деформации земной поверхности, но при строительстве они больших затруднений не вызывают.

Благодаря тому, что карстующиеся породы лежат непосредственно на поверхности, облегчается производство и повышается эффективность инженерно-геологических изысканий (в том числе геофизических). В результате изысканий без особых затруднений могут быть выделены площади, сложенные слабозакарстованными породами, с полной гарантией от карстовых провалов. Несущая способность карстующихся пород в основном высокая, но неравномерна и местами может оказаться недостаточной. Возможны затруднения в осуществлении мероприятий по недопущению проникновения промышленных и поверхностных вод в грунт.

2.I8. Районы покрытого карста, в которых карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых, водонепроницаемых пород, имеют следующие особенности (см.также п.2.20). Толща водонепроницаемых пород в той или иной степени препятствует развитию карста и связанных с ним явлений. Провалы могут иметь различное происхождение (вследствие обрушения кровли карстовых полостей, карстово-суффозионное и смешанное), происхождение постепенных оседаний также может быть разным. Производство инженерно-геологических изысканий затрудняется в связи с залеганием на глубине главного объекта изучения - карстующихся пород. Тем не менее, в результате комплексных изысканий и анализа геологических и гидрогеологических условий могут быть выделены площади, на которых опасность образования провалов практически отсутствует. В основном это - площади водоразделов, покрытые мощной толщей нерастворимых слабоводопроницаемых пород, уда-

ленные от базисов дренирования подземных вод. Водонепроницаемость покрывающей толщи облегчает мероприятия по отводу поверхностных и промышленных вод с целью предотвращения их проникновения в карстующиеся породы.

2.I9. Районы покрытого карста, в которых карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых, водопроницаемых пород, имеют следующие особенности (см.также п.2.20). Толща водопроницаемых пород не является препятствием для развития карста и связанных с ним явлений. В то же время она затрудняет производство инженерно-геологических изысканий. Происхождение провалов (а также оседаний) может быть различным (п.2.I8). Получить в результате изысканий полную гарантию какого-либо участка от карстовых провалов крайне трудно (если покрывающая толща имеет значительную мощность и сложена нескальными породами).

2.20. В районах покрытого карста, кроме водопроницаемости, нужно учитывать мощность покрывающих пород и их прочность. В прочных породах преобладают провалы, обусловленные обрушением кровли карстовых полостей, а в рыхлых - карстово-суффозионные, с которыми бороться труднее. Наличие на небольшой глубине прочных скальных (нерастворимых или растворимых) пород достаточной мощности дает возможность более точно оценить устойчивость площадей при изысканиях, а также использовать эти породы в качестве основания зданий и сооружений (например, с применением буровых свай-стоек). С увеличением мощности покрывающих отложений, особенно если они рыхлые, понижается эффективность инженерно-геологических изысканий и точность оценки устойчивости территорий.

2.2I. Необходимо учитывать, что изменение природной обстановки в результате хозяйственной деятельности человека может при-

вести к опасной активизации карста и связанных с ним процессов, или, наоборот, замедлить их развитие. Это относится не только к районам соляного и гипсового, но также карбонатного и мелового карста.

Изменение гидродинамических условий, чаще всего связанное с гидротехническими сооружениями и разработкой месторождений полезных ископаемых, может привести к резкой активизации явлений суффозии. При этом даже в районах карбонатного карста в отдельные периоды ежегодное количество карстово-суффозионных провалов иногда достигает нескольких случаев на I км^2. Кроме того, в районах гипсового и, особенно, соляного карста может ускориться до опасных размеров процесс растворения горных пород.

Изменение агрессивности подземных вод, особенно при сбросе промышленных вод в грунт, также может привести к опасной активизации даже карбонатного карста.

Значительные динамические нагрузки на грунт могут способствовать процессу образования провалов, а в меловом карсте не исключено ослабление несущей способности и даже разжижение обводненного мела.

В некоторых случаях требуется учет других подобных факторов и явлений (например, учет изменений водопроницаемости и несущей способности пород в результате хозяйственной деятельности человека).

3. ЗАДАЧИ И СОСТАВ ИЗЫСКАНИЙ

Общие задачи и требования

3.0I. Основные задачи инженерно-геологических изысканий в карстовых районах:

- определить распространение, характер и интенсивность развития карста;

- выяснить возраст, причины, условия и закономерности развития карста;

- дать инженерно-геологическую оценку пригодности исследуемых территорий для возведения зданий и сооружений;

- дать рекомендации по мероприятиям для борьбы с вредным влиянием карстовых явлений и обеспечить необходимыми данными проектирование таких мероприятий.

Примечания:

I) При определении задач инженерно-геологических изысканий в карстовых районах следует, кроме того, руководствоваться действующими нормативными и методическими документами для обычных условий, а также нормативными и методическими документами для других особых условий (сейсмичность, наличие просадочных и многолетнемерзлых грунтов, оползни, сели, подработка территории горными выработками и др.), имеющихся в районе строительства.

2) При оценке пригодности территории для возведения зданий и сооружений учитывается прежде всего степень опасности карстовых провалов (см. раздел 4, а также п.п. 2.03-2.05). Остальные особенности условий строительства в карстовых районах учитываются в случаях, предусмотренных п.п. 2.06-2.09.

3.02. При инженерно-геологических изысканиях на основе изучения распространения, возраста, условий и закономерностей разви-

тия карста производится:

- инженерно-геологическое (и гидрогеологическое) районирование территории по условиям и степени развития карста;

- оценка состояния (трещиноватости и закарстованности), а также прочности и несущей способности горных пород;

- оценка фильтрационной способности горных пород;

- оценка динамики, химического состава и режима поверхностных и подземных вод;

- оценка агрессивности поверхностных и подземных вод и растворимости и скорости растворения горных пород;

- оценка пораженности проявлениями карста и устойчивости территорий (оценка опасности провалов и постепенных оседаний земной поверхности);

- прогноз развития карста и связанных с ним процессов в период строительства и эксплуатации проектируемых объектов под влиянием естественных и искусственных факторов;

- разработка рекомендаций по использованию территорий, выбору типов и конструкций зданий и сооружений и мероприятиям по борьбе с вредным влиянием карстовых явлений.

3.03. В состав изысканий включаются следующие виды работ:

а) сбор и изучение литературных и фондовых материалов (в том числе материалов по опыту строительства);

б) инженерно-геологическая рекогносцировка;

в) топографические и аэрофотографические работы;

г) гидрологические работы;

д) инженерно-геологическая съемка;

е) буровые и горные работы;

ж) геофизические работы;

з) опытные гидрогеологические и инженерно-геологические работы;

и) лабораторные (а также экспериментальные) работы;

к) специальное строительное обследование зданий и сооружений;

л) климатические, почвенные и ботанические исследования;

м) стационарные исследования;

и) камеральная обработка материалов и составление отчета.

Виды работ, их объем и методика выполнения определяются в зависимости от местных природных условий и степени изученности территорий, назначения, типа и конструкции проектируемых объектов и стадии изысканий. Наилучшие результаты дают комплексные изыскания с применением различных методов.

3.04. При выборе методов, организации и выполнении изыскательских работ следует руководствоваться разделом 6 настоящих рекомендаций, а для видов работ, не рассматриваемых в разделе 6, - пунктами 3.05 - 3.09.

3.05. Инженерно-геологическая рекогносцировка проводится с целью:

- проверки и уточнения собранных литературных и фондовых материалов по карсту и опыту строительства;

- дешифрирования аэрофотосъемочных материалов;

- определения площадей и уточнения объемов съемочных, буровых и других видов работ.

Рекогносцировка производится путем маршрутного обследования территории с пересечением и осмотром наиболее характерных участков развития карстовых явлений, участков, недостаточно охарактеризованных по литературным и фондовым материалам, и в особенности площадок предполагаемого размещения наиболее ответственных объектов.

Методы наблюдений и обработки материалов те же, что и при инженерно-геологической съемке (см.раздел 6.А).

3.06. Топографические работы проводятся с теми же целями, что и при изысканиях в обычных условиях, и в соответствии с теми же нормативными и методическими документами.

Отражение на картах и планах карстовых форм рельефа с размерами не менее I мм в масштабе карты - обязательно. Кроме того, немасштабными знаками показываются проявления карста меньших размеров, но имеющие важное значение (глубокие карстовые шахты, входы в пещеры, крупные источники, свежие провалы, отдельные воронки на территориях с редким их распространением и др.). В случае необходимости, заданием на топографические работы предусматриваются другие специальные требования.

При производстве стационарных геодезических наблюдений за деформациями земной поверхности, зданий и сооружений следует руководствоваться разделом 6.Е настоящих рекомендаций.

При выполнении других специальных видов топографо-геодезических работ (например, подземных съемок в пещерах) могут быть разработаны особые технические условия их выполнения.

При топографо-геодезических изысканиях необходимо максимально использовать возможности аэрофотосъемочных методов.

3.07. Гидрологические работы производятся, как правило, в комплексе с гидрогеологическими, а также метеорологическими и другими работами. Они могут выполняться как при производстве основного объема изысканий, так и в составе последующих стационарных наблюдений. Их основные задачи: составление водного и солевого баланса и оценка активности развития карста, выявление и количественная характеристика участков поглощения или питания поверхност-

ных вод подземными, изучение режима поверхностных вод и его влияния на развитие карста, прогноз основных гидрологических характеристик для оценки развития карста в будущем. Методы производства работ и требования к ним предусмотрены существующими нормативными и методическими документами по гидрологическим наблюдениям.

3.08. Специальное строительное обследование зданий и сооружений производится с целью выяснить воздействие на них карстовых явлений. Работы выполняются специалистами-строителями при участии инженеров-геологов.

3.09. Климатические, почвенные и ботанические исследования проводятся в ограниченном объеме и обычно заключаются в изучении литературных материалов. Наибольшее значение имеют метеорологические исследования, выполняемые в комплексе с гидрологическими и гидрогеологическими. При этом прежде всего используются данные станций и постов гидрометслужбы. В случаях недостаточности этих данных организуются специальные метеорологические посты, работающие в соответствии с действующими инструкциями УГМС.

Инженерно-геологическое обоснование проектов районной планировки.

3.10. Инженерно-геологическая оценка закарстованности территорий для обоснования проектов районной планировки производится по литературным и фондовым материалам. При этом используются обзорные карты распространения карстующихся пород и карстовых явлений, материалы геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических съемок масштаба I:200000 - I:500000 и региональные описания карстовых явлений. Рекомендуется использовать также материалы съемок

более крупного масштаба и специальных детальных исследований карстовых явлений. Иногда может потребоваться выполнение рекогносцировки и даже производство некоторых специальных изысканий.

3.11. В результате изучения литературных и фондовых материалов должны быть выделены районы распространения различных типов карста (см. раздел 2) и дана их краткая характеристика. В случае, если это необходимо для целей проектирования, характеристика карстовых районов делается более детальной - с выделением участков, различных по условиям и степени развития карста.

3.12. Оценка устойчивости территорий (см. раздел 4) при обосновании проектов районной планировки носит преимущественно качественный характер. Однако, следует стремиться к количественной оценке. В частности, ориентировочная количественная оценка устойчивости территорий может быть получена путем сравнения с другими аналогичными (по условиям и степени развития карста) площадями и участками, для которых такие количественные данные имеются.

Инженерно-геологические изыскания для проектов планировки и застройки городов и населенных пунктов

3.13. Для обоснования проектов планировки и застройки городов и населенных пунктов в карстовых районах должны проводиться специальные исследования карстовых явлений. Эти изыскания должны быть комплексными, т.е. включать все виды работ, перечисленные в п.3.03. Объем работ зависит от местных природных условий, изученности и характера проектируемого использования территорий. При этом инженерно-геологическую съемку на площадях слабого развития карста рекомендуется производить в масштабе 1:25000, а на

площадях сильного развития карста - в масштабе 1:5000.

3.14. В результате комплексных изысканий производится районирование территории (в масштабе, соответствующем масштабу инженерно-геологической съемки) по условиям и степени развития карста. Для площадей и участков, выделенных при районировании, определяются показатели интенсивности провалообразования и составляются графики распределения провалов и воронок по их величине (п.п.4.04-4.14). Результаты районирования должны дать возможность проектной организации определить для этих площадей и участков характер их использования, тип застройки и конструкции зданий и сооружений, проектируемых для массового строительства.

3.15. Комплексные изыскания для обоснования проектов планировки и застройки городов и населенных пунктов являются важнейшей основой для всех последующих стадий изысканий и проектирования строительства. Правильное и своевременное их проведение обеспечивает большую экономию средств при дальнейших изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Инженерно-геологические изыскания для отдельных жилых и гражданских зданий и сооружений

3.16. Изыскания для оценки закарстованности площадок отдельных жилых и гражданских зданий и сооружений проводятся: а) на участках сильного развития карста, б) на недостаточно изученных участках, в) для особо ответственных зданий и сооружений, г) на участках с неглубоким залеганием карстующихся, а также нерастворимых скальных пород, где эффективность изысканий под отдельные здания и сооружения достаточно высока (см. п.4.15). В случаях, не предусмотренных настоящим пунктом, а также п.3.18, изыскания для отдельных зданий и сооружений нецелесообразны.

3.17. Задачами изысканий являются: а) установление наличия или отсутствия карстовых полостей под проектируемым сооружением, б) уточнение условий развития карста на недостаточно изученных участках, в) получение уточненных данных, необходимых для проектирования противокарстовых мероприятий. В состав изысканий входят в основном горно-буровые, геофизические и лабораторные работы, реже - другие виды работ.

3.18. Если на площадке ожидается наличие линз слабых грунтов, заполняющих воронки, впадины и другие поверхностные и погребенные карстовые формы (п.2.08), проводятся изыскания для их выявления и изучения. Для выявления, оконтуривания и изучения разреза этих линз применяется бурение скважин, геофизические работы и статическое и динамическое зондирование. Исследование инженерно-геологических свойств грунтов производится обычными методами.

Инженерно-геологические изыскания для промышленного строительства

3.19. Изыскания для выбора площадки. Оценка закарстованности территорий производится на основании изучения литературных и фондовых материалов и инженерно-геологической рекогносцировки. Тщательно анализируется опыт строительства в аналогичных условиях. Если имеющихся материалов и данных рекогносцировки недостаточно для оценки возможности строительства на намеченных площадках и сравнения конкурирующих вариантов, выполняется минимально необходимый объем дополнительных изысканий (съемка, горно-буровые, геофизические, лабораторные работы).

3.20. Изыскания для проектного задания на выбранной площадке. Для обоснования проектного задания предприятия, расположенного на закарстованной территории, проводятся комплексные изыскания. Виды,

объем и методы их определяются местными природными условиями, характером и степенью ответственности предприятия и изученностью территории. Для ответственных предприятий изыскания проводятся применительно к масштабу 1:5000 и крупнее с необходимым обеспечением горно-буровыми и другими видами работ.

В результате комплексных изысканий должны быть решены все основные вопросы, необходимые для размещения зданий и сооружений, выбора их типа и конструкции и определения необходимых противокарстовых мероприятий. С этой целью должны быть выявлены условия развития карста и произведено районирование территории (в масштабе, соответствующем масштабу изысканий) по условиям и степени развития карста. Для выделенных площадей рекомендуется определить показатели интенсивности провалообразования и составить графики распределения провалов и воронок по их величине (п.п.4.04-4.14).

В целях изучения условий развития карста и повышения достоверности оценки устойчивости промышленной площадки рекомендуется не ограничивать инженерно-геологическую съемку границами площадки и допускается бурение скважин и выполнение других работ за ее пределами. Масштаб съемки за пределами площадки может быть уменьшен.

Изыскания для проектного задания отдельных зданий и сооружений, расположение которых не подлежит изменению, выполняются в соответствии с п.3.21.

3.21. Изыскания для рабочих чертежей проводятся: а) на участках сильного развития карста, б) на недостаточно изученных участках, в) для особо ответственных зданий и сооружений, г) на участках с неглубоким залеганием карстующихся, а также нерастворимых скальных пород, где эффективность изысканий под отдельные здания и сооружения достаточно высока (см. п.4.15). В случаях, не предусмотренных настоящим пунктом, а также п.3.18, изыскания нецелесообразны. При про-

ектировании изысканий следует руководствоваться п.3.17.

Специальные изыскания

3.22. Изыскания для решения специальных задач (выработка мероприятий по защите зданий и сооружений в особо сложных условиях, изучение возможности активизации карста под влиянием искусственных факторов и т.д.) выполняются по особым проектам.

4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

4.01. Оценка устойчивости территорий производится на основе инженерно-геологического районирования по условиям и степени развития карста (в том числе по условиям его проявления на земной поверхности).

Примечание: Понятие "устойчивость" условно означает, насколько мала на рассматриваемой территории опасность карстовых провалов, а также постепенных оседаний земной поверхности. При этом постепенные оседания учитываются сравнительно редко (п.2.06).

4.02. Методы оценки зависят от задач и стадии проектирования, а также от местных природных условий.

4.03. Для обоснования районной планировки и выбора площадок промышленных предприятий нередко ограничиваются качественной оценкой устойчивости территорий. При этом площади, на которых опасность карстовых провалов (а также оседаний) отсутствует, считаются устойчивыми, а площади сильного развития карста, на которых возможны частые провалы, а также большие оседания земной поверхности, - неустойчивыми. Выделяются также промежуточные категории устойчивости территорий.

4.04. При изысканиях для проектов планировки и застройки городов и населенных пунктов, для проектного задания предприятия, а в некоторых случаях и для более ранних стадий проектирования, следует давать количественную оценку устойчивости территорий.

4.05. Для количественной оценки устойчивости территорий рекомендуются следующие показатели: а) среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенное к единице площади, и б) среднегодовая поражаемость территории карстовыми провалами. Эти показатели дополняются графиками распределения провалов по их величине (п.4.14).

4.06. Среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенное к единице площади, рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{n}{S \cdot t} \quad \frac{\text{случаев}}{\text{км}^2 \cdot \text{год}},$$

где n - число провалов, зарегистрированное на площади S /км^2/ за промежуток времени t лет.

Обратной величиной является средняя периодичность провалов $T = \frac{1}{P} = \frac{S \cdot t}{n}$, которая показывает, через какие промежутки времени (в среднем) на площади 1 км^2 появляется один провал.

4.07. Среднегодовая поражаемость территории карстовыми провалами определяется по формуле:

$$B = \frac{\Sigma s}{S \cdot t} \cdot 100 \ \% \text{ в год},$$

где Σs - сумма площадей провалов /м^2/, образовавшихся на территории S /м^2/ за промежуток времени t лет.

4.08. Среднегодовое количество провалов и поражаемость территории могут быть определены:

- по данным стационарных наблюдений (систематическая регистрация случаев образования провалов на определенной площади);

- по данным инженерно-геологической съемки, сопровождающейся сбором сведений о ранее образовавшихся провалах, дешифрированием аэрофотоснимков, выполненных в разные годы, и применением различных методов определения возраста существующих карстовых воронок (п.п.4.11-4.12).

- по аналогии с другими карстовыми участками, находящимися в сходных геологических условиях.

Наиболее достоверные сведения дают стационарные наблюдения. Достаточно точные сведения можно получить также в результате сравнения между собой выполненных в различные годы аэрофотоснимков и детальных инженерно-геологических съемок. В остальных случаях

(особенно по аналогии с другими карстовыми участками) может быть получена лишь ориентировочная количественная оценка устойчивости территорий.

4.09. Для достоверности оценки устойчивости территорий при расчетах по формулам, приведенным в п.п.4.06 - 4.07 число провалов - n должно быть по крайней мере не меньше 20. При наличии меньшего числа случаев может быть дана только ориентировочная оценка. Достоверность оценки возрастает с увеличением расчетного промежутка времени (t).

4.10. Возраст существующих карстовых воронок определяется при производстве инженерно-геологической съемки по их внешнему облику с учетом условий существования воронок. Возможно также применение других методов (спорово-пыльцевой, радиоактивный по C^{14} и др.), в настоящее время еще слабо разработанных.

4.11. Ориентировочно возраст карстово-суффозионных воронок в песчаных грунтах на задернованных участках определяется по следующим признакам:

1) Воронки в возрасте до 3-5 лет характеризуются наличием обвалившихся глыб грунта и трещин в грунте.

2) Воронки в возрасте от 3-5 до 20-50 лет характеризуются крутыми, в значительной степени обнаженными склонами и резкой бровкой, на склонах и дне возможно наличие сильно размытых глыб обвалившегося грунта. Трещины в грунте не сохраняются.

3) Воронки старше 20-50 лет имеют задернованные склоны и дно, форма их чаще всего сглаженная - чашеобразная или блюдцеобразная.

4.12. Количественную оценку устойчивости территорий следует давать раздельно для каждого участка, выделенного при районировании, или для каждой группы участков, сходных по условиям и интенсивности развития карста.

4.13. В карстовых районах по степени устойчивости относительно карстовых провалов выделяются следующие категории территорий:

1) Среднегодовое количество провалов очень велико - больше 1,0 случая/км^2· год (больше одного провала на 1 км^2 за 1 год). Территории очень неустойчивые.

П) Среднегодовое количество провалов велико - от 0,1 до 1,0 случая/км^2· год (один провал на 1 км^2 за 1-10 лет). Территории неустойчивые.

Ш) Среднегодовое количество провалов значительно - от 0,05 до 0,1 случая/км^2· год (один провал на 1 км^2 за 10-20 лет). Территории недостаточно устойчивые.

1У) Среднегодовое количество провалов мало - от 0,01 до 0,05 случая/км^2· год (один провал на 1 км^2 за период от 20 до 100 лет). Территории с несколько пониженной устойчивостью.

У) Среднегодовое количество провалов очень мало - меньше 0,01 случая/км^2· год (один провал на 1 км^2 реже чем за 100 лет). Территории относительно устойчивые.

У1) Образование провалов исключается. Территории устойчивые.

4.14. Графики распределения карстовых провалов (воронок) по их величине составляются на основании данных стационарных наблюдений за образованием провалов и данных инженерно-геологической съемки. При этом для построения дифференциальной кривой распределения по оси абсцисс откладываются размеры провалов (воронок), а по оси ординат - проценты их повторяемости. Для построения интегральной кривой распределения по оси абсцисс откладываются те же данные, а по оси ординат - суммы процентов повторяемости. Графики предназначены для выполнения расчетов, связанных с учетом размеров карстовых провалов при проектировании зданий и сооружений. Пример такого графика приводится на рис.1.

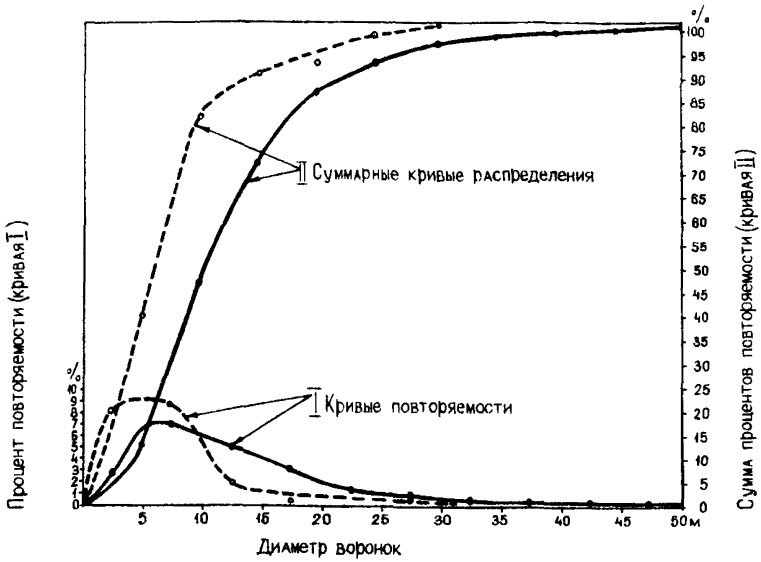


Рис. 1. График распределения карстовых провалов и воронок по величине их диаметров (район г.Дзержинска).

Кривые распределения воронок обозначены сплошными линиями, кривые распределения провалов - пунктиром.

На оси ординат: слева - масштаб для кривых повторяемости, справа - для суммарных кривых распределения.

4.15. Методы оценки устойчивости площадок отдельных зданий и сооружений пока очень несовершенны и в основном заключаются в бурении и геофизических работах с целью обнаружения карстовых полостей. Они достаточно эффективны только при неглубоком залегании карстующихся, а также нерастворимых скальных пород.

5. ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗВИТИЯ КАРСТА

5.01. Оценку и прогноз возможности и интенсивности развития карста в целях экономии времени и средств рекомендуется проводить относительно несложными расчетными методами, основанными на принципах химической термо- и гидродинамики. Для контроля результатов расчетов, а также при необходимости решения особо сложных и ответственных задач, следует применять экспериментальные лабораторные исследования.

5.02. Гидрогеохимические исследования карста проводятся на последних стадиях изысканий. Для их проведения используется сеть гидрохимических скважин или бурятся специальные скважины (при сооружении особо важных объектов). В скважинах отбирают пробы подземных вод объемом 1-1,5 литра, как непосредственно из толщи карстующихся пород (из каждой скважины две-три пробы по резрезу толщи), так и на контакте с ними. Пробы отбираются единовременно по всем точкам несколько раз в году с учетом сезонных, суточных и эпизодических колебаний в режиме подземных вод. Химический анализ воды проводится как в стационарных лабораториях, так и в полевых условиях с помощью лаборатории Резникова. В пробах определяют сухой остаток, величину pH, содержание Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, NH_4^{+}, Fe, SO_4^{2-}, Cl^{-}, HCO_3^{-}, CO_2, CO_3^{2-}, NO_2^{-} NO_3^{-}.

5.03. Выделяются следующие этапы гидрогеохимической оценки карстового процесса:

а) Изучение равновесия в системе подземные воды - карстующиеся горные породы, позволяющее судить о наличии или отсутствии процесса растворения породы в данной точке в момент отбора пробы (5.04 -5.09).

б) Определение количества воднорастворимой горной породы, выносимой подземными водами с единицы площади или объема карстующихся

пород в единицу времени, позволяющее судить о масштабе развития карстового процесса в исследуемом районе (5.10 - 5.11).

в) Определение степени агрессивности подземных вод по отношению к карстующимся породам, позволяющее судить о масштабах развития карстового процесса в каждой точке от ора пробы и выделить участки наиболее интенсивного развития карста (5.12 - 5.15).

г) Определение интенсивности растворения карстующихся пород, позволяющее определить количество горной породы, выносимой подземными водами в исследуемой точке и произвести районирование территории по интенсивности развития карста (5.16 - 5.17).

Гидрогеохимические методы изучения карста излагаются ниже отдельно для каждой группы пород различной растворимости (карбонатные породы, гипсы и ангидриты, каменная соль).

5.04. Определение наличия или отсутствия равновесия между подземными водами и карбонатными породами производится путем вычисления произведения активностей ионов кальция и карбоната ($a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}}$) и сравнения его с произведением растворимости карбоната кальция (K_{CaCO_3}).

Произведение активностей вычисляется по уравнению:

$$a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}} = \frac{1}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \gamma_{CaCO_3} \cdot \left[Ca^{2+}\right] \left[CO_3^{2-}\right] ,$$

где $\left[Ca^{2+}\right]$ и $\left[CO_3^{2-}\right]$ - миллиграмм-эквивалентные концентрации ионов кальция и карбоната по данным химического анализа,

$\gamma^{\pm}_{CaCO_3}$ - средний коэффициент активности карбоната кальция. Он определяется по уравнению $\lg \gamma^{\pm}_{CaCO_3} = -\frac{1{,}98\sqrt{\mu}}{1 + 1{,}62\sqrt{\mu}}$,

где μ - ионная сила раствора, определяемая по уравнению $\mu = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} \left(\left[X_1\right] \cdot \mathcal{Z}_1^2 + \left[X_2\right] \cdot \mathcal{Z}_2^2 + \ldots \left[X_n\right] \mathcal{Z}_n^2 \right)$, в котором $\left[X\right]$ - мг-эквивалентные концентрации всех присут тву щих в растворе ионов, $\mathcal{Z}$ - соответствующая валентность этих ион в.

Величина произведения растворимости карбоната кальция равна $7{,}7 \cdot 10^{-9}$.

5.05. В тех случаях, когда определение иона CO_3^{2-} аналитическими методами затруднено, вычисление его концентрации в растворе производится по уравнению $\left[CO_3^{2-}\right] = \frac{3{,}77 \cdot 10^{-11} \cdot \left[HCO_3^-\right]}{10^{-[pH]}} \cdot f_{ср.}$,

где $\left[HCO_3^-\right]$ - мг-эквивалентная концентрация иона HCO_3^- по данным химического анализа,

$[pH]$ - величина pH по данным химического анализа,

$f_{ср.}$ - коэффициент, определяемый в зависимости от величины ионной силы по следующей таблице:

μ	$f_{ср}$	μ	$f_{ср}$
0,001	0,897	0,055	0,549
0,005	0,804	0,060	0,539
0,010	0,734	0,065	0,529
0,015	0,695	0,070	0,519
0,020	0,664	0,075	0,510
0,025	0,642	0,080	0,503
0,030	0,618	0,085	0,494
0,035	0,609	0,090	0,488
0,040	0,588	0,095	0,482
0,045	0,574	0,100	0,480
0,050	0,564		

5.06. Определение наличия или отсутствия равновесия между подземными водами и сульфатными карстующимися породами производится путем вычисления произведения активностей ионов кальция и сульфатов $a_{Ca^{2+}} \cdot a_{SO_4^{2-}}$ и сравнения его с произведением растворимости сульфата кальция (K_{CaSO_4}).

Произведение активностей сульфата кальция вычисляется по уравнению $a_{Ca^{2+}} \cdot a_{SO_4^{2-}} = \frac{1}{4} \cdot 10^{-6} \cdot f^2_{CaSO_4} \left[Ca^{2+}\right] \cdot \left[SO_4^{2-}\right]$.

где $[Ca^{2+}]$ и $[SO_4^{2-}]$ - мг-эквивалентные концентрации ионов кальция и сульфатов по данным химического анализа воды,

$\gamma^{\pm}_{CaSO_4}$ - средний коэффициент активности сульфата кальция, определяемый по уравнению $lg\,\gamma^{\pm}_{CaSO_4} = -\frac{1{,}98\sqrt{\mu}}{1+1{,}3\sqrt{\mu}} + 0{,}0515\mu$, в котором μ - ионная сила, определяемая по уравнению, приведенному в п.5.04.

Величина произведения растворимости сульфата кальция $/K_{CaSO_4}/$ принимается равной $3{,}55\cdot10^{-5}$.

5.07. В том случае, когда произведение активностей равно или больше произведения растворимости, изучаемая система находится в равновесии и подземные воды не агрессивны по отношению к карстующимся породам (известняк, гипсы).

Если произведение активностей меньше произведения растворимости, то равновесие отсутствует и подземные воды агрессивны по отношению к карстующимся породам.

5.08. Наличие или отсутствие равновесия между подземными водами и галогенными карстующимися породами устаналивается путем сравнения величины минерализации исследуемой пробы с величиной максимальной растворимости каменной соли в водном растворе, равной 318 г/л. Если минерализация подземных вод ниже этой величины, то подземные воды агрессивны по отношению к NaCl.

5.09. Данные о наличии или отсутствии равновесия между подземными водами и карстующимися породами служат для построения карт и разрезов, показывающих распространение агрессивных по отношению к карстующейся горной породе подземных вод, т.е. дают возможность выделить участки развития карста в момент исследования.

5.10. Количество воднорастворимой горной породы, выносимой подземными водами с какого-либо участка распространения карстующихся пород, может быть вычислено по балансовому уравнению:

$$q_{\gamma} = \frac{(C_н - C_0^п) \cdot q_в^п + (C_н - C_0^а) \cdot q_в^а}{S},$$

где q_{γ} - количество растворимой породы /г/, выносимой подземными водами с единицы площади участка в единицу времени;

$q_в^п$ - количество подземных вод /м^3/, поступающее через границы участка в его пределы в ту же единицу времени;

$q_в^а$ - количество воды /м^3/, поступающее с поверхности в подземные воды в пределах участка;

$C_н$ - среднее содержание соли /г/м^3/, соответствующей карстующейся породе ($CaSO_4$ - для гипсов, $CaCO_3$ - для известняков, NaCl - для каменной соли), в подземных водах осле прохождения участка;

$C_0^п$ - среднее содержание соли /г/м^3/ в подземных водах в момент поступления в пределы участка;

$C_0^а$ - среднее содержание соли /г/м^3/ в водах, поступающих с поверхности в пределах участка, в момент их поступления в толщу карстующихся пород;

S - площадь гидрогеологического участка /м^2/.

Расчеты по приведенному уравнению проводятся при условии, что количество воды, поступающей в пределы участка, равно количеству воды, выходящей через его границы.

5.11. На основании вычисленного количества воднорастворимой горной породы, выносимой подземными во ами, подсчитывается показатель активности карстового процесса, предложенный Н.В.Родионовым. Он служит для сравнения скорости развития карста в различных районах и определяется по формуле $A = \frac{v}{V} 100$ (в процентах за тысячелетие), где

v - объем карстующейся горной породы, выносимой подземными водами за 1000 лет;

V - объем массива карстующихся пород в пределах изучаемого участка.

Для ориентировочного определения показателя активности можно использовать методы приблизительной оценки количества растворимой горной породы, выносимой подземными водами.

5.12. Для определения степени агрессивности подземных вод по отношению к карбонатным породам имеются два метода:

1/ По номограммам Ф.Ф.Лаптева, приведенным в "Справочнике гидрогеолога" и других руководствах, определяется содержание в растворе агрессивной углекислоты, способной переводить в раствор карбонат кальция.

2/ Количество карбоната кальция, способного перейти в изучаемый водный раствор, определяется по уравнению произведения растворимости карбоната кальция, представленному в виде:

$$\gamma^{\pm 2}_{CaCO_3}\left(\left[Ca^{2+}\right]+\left[X\right]\right)\cdot\left(\left[CO_3^{2-}\right]+\left[X\right]\right)=0{,}0308\ ,$$

где $[X]$ - дефицит насыщения исследуемой воды карбонатом кальция в мг-экв/л;

$[Ca^{2+}]$ и $[CO_3^{2-}]$ - мг-эквивалентные концентрации ионов кальция и карбонатов по данным анализа (концентрация иона CO_3^{2-} может быть вычислена по уравнению, приведенному в п.5.05);

$\gamma^{\pm}_{CaCO_3}$ - средний коэффициент активности карбоната кальция, определяемый по уравнению, приведенному в п.5.04.

Второй метод - более точный.

5.13. Определение степени агрессивности подземных вод по отношению к гипсам и ангидритам производится по специальным номограммам и уравнениям.

Для случая, когда содержани- сульфатов и кальция в подземных водах приблизительно равно (в мг-эквивалентном выражении концентрации),

что наиболее характерно для карстовых вод, определение агрессивности производится по номограммам (рис.2). При этом:

1/ По данным химического анализа воды вычисляется произведение мг-эквивалентных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-}, обозначаемое $[Ca^{2+}]\cdot[SO_4^{2-}]$, и сумма произведений концентраций остальных присутствующих в растворе ионов на их валентность, обозначаемая $\left(\sum[X_i]z_i - 2\left([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}]\right)\right)$, где $[X_i]$ - концентрации (мг-экв/л) присутствующих в изучаемом водном растворе ионов, z_i - заряд соответствующего иона.

2/ По кривым зависимости $[Ca^{2+}]\cdot[SO_4^{2-}]$ от $\left(\sum[X_i]z_i - 2\left([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}]\right)\right)$ определяется произведение мг-эквивалентных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в насыщенном гипсом растворе (соответствующее принятой температуре).

3/ По кривой II определяются количества $CaSO_4$, соответствующие произведению $[Ca^{2+}]\cdot[SO_4^{2-}]$ в исследуемом растворе. Разность между ними составляет дефицит насыщения рассматриваемой пробы воды гипсом (в мг/л).

Для случая, когда содержание ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} значительно отличается друг от друга, дефицит насыщения определяется по уравнению $X_{CaSO_4} = 34\left[\sqrt{\left([Ca^{2+}] - [SO_4^{2-}]\right)^2 + 4[Ca^{2+}]_1\cdot[SO_4^{2-}]_1} - \left([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}]\right)\right]$, где

X_{CaSO_4} - дефицит насыщения изучаемого водного раствора в мг/л;

$[Ca^{2+}]$ и $[SO_4^{2-}]$ - концентрации (в мг-экв/л) ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в изучаемом водном растворе по данным анализа.

$[Ca^{2+}]_1\cdot[SO_4^{2-}]_1$ - произведение миллиграмм-эквивалентных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в насыщенном гипсом растворе, которое берется с номограмм (рис.2) для соответствующей температуры и определяется в зависимости от величины суммы произведений миллиграмм-эквивалентных концентраций всех присутствующих в растворе ионов,

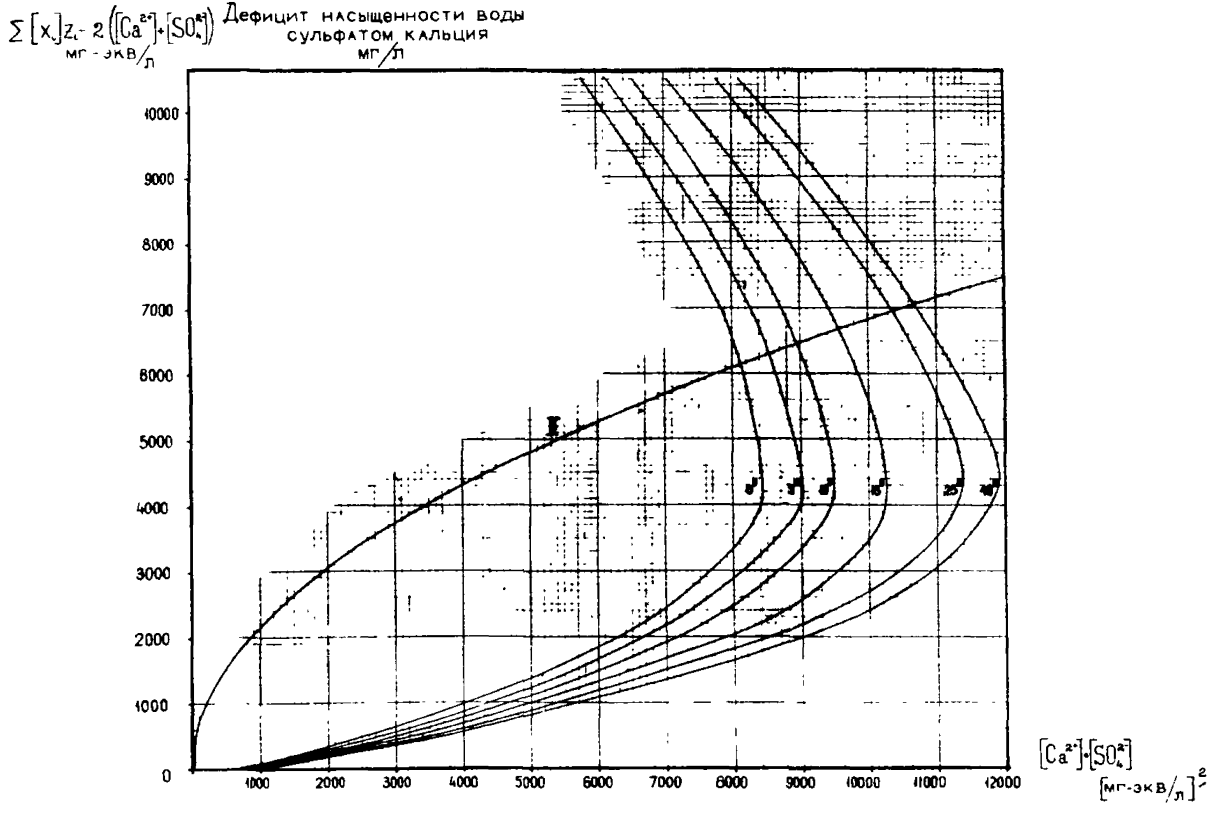


Рис.2. Номограммы для определения дефицита насыщенности природных вод сульфатом кальция (ионная сила до 5,5, температура от 0 до 40°С).

за исключением Ca^{2+} и SO_4^{2-}, на их валентность $\left(\left[Na^+\right] + 2\left[Mg^{2+}\right] + \left[Cl^-\right] + \left[HCO_3^-\right] + \left[NH_4^+\right]\right.$ и т.д.$\left.\right)$.

5.14. Степень агрессивности подземных вод по отношению к галогенным карстующимся породам определяется вычислением разности между величиной максимальной растворимости хлористого натрия, равной 318 г/л, и его содержанием в изучаемом водном растворе.

5.15. Величины дефицита насыщения подземных вод по отношению к соответствующей карстующейся породе служат как для оценки масштабов развития карста в отдельной точке, так и для более широких площадных характеристик, позволяющих путем построения карт и разрезов агрессивности выделить участки наиболее интенсивного развития карста в современных условиях.

5.16. Определение интенсивности растворения карстующихся пород производится по методу А.Е.Орадовской для случая растворения поверхности пласта водорастворимой горной породы фильтрационным потоком. Этот же метод может быть применен для приближенной оценки интенсивности растворения поверхности крупных полостей и трещин в пределах массива карстующихся пород.

Расчеты проводятся по уравнению: $B_X = \frac{1}{\gamma}(C_H - C_0)\,T\sqrt{\frac{Dv}{\pi x}}$ см, где

B_X – толщина слоя карстующейся породы, выносимой подземными водами,

γ – плотность карстующейся породы (для карбонатных пород 2,7 г/см^3, для сульфатных 2,3 г/см^3, для галогенных 2,16 г/см^3),

$C_H - C_0$ – дефицит насыщения соответствующей солью подземных вод, циркулирующих на контакте с растворимой горной породой (п.5.12 – 5.14),

T – период времени, для которого производится определение интенсивности выщелачивания,

$\mathfrak{D}$ - коэффициент диффузии, равный для карбонатных пород $5,5 \cdot 10^{-6}$ см^2/сек, для сульфатных $5,5 \cdot 10^{-6}$ см^2/сек, для галогенных $1 \cdot 10^{-5}$ см^2/сек.

$\mathcal{V}'$ - действительная скорость движения подземных вод, определяемая непосредственно по времени прохождения индикатора между скважинами или по уравнению: $\mathcal{V}' = \frac{Кф \cdot i}{n}$, где Кф - коэффициент фильтрации, i - градиент, n - пористость,

X - расстояние от растворяемой поверхности до точки, для которой проводится определение дефицита насыщения подземных вод.

5.17. Данные, характеризующие интенсивность выщелачивания, позволяют оценить непосредственную скорость развития карста в исследуемой точке или произвести районирование исследуемой территории по интенсивности выщелачивания карстующихся пород. Они могут быть вычислены как для гидрогеологических условий, наблюдаемых в момент исследования, так и для измененных под влиянием сооружения, если при этом возможен прогноз скорости движения подземных вод.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗЫСКАНИЙ

6.А. Инженерно-геологическая съемка

6.А.01. Инженерно-геологическая съемка предшествует буровым, опытным, геофизическим и другим работам и дает возможность правильно наметить объем и содержание этих работ. При ее выполнении в карстовых районах следует руководствоваться общими инструкциями по производству инженерно-геологической съемки, с учетом настоящих рекомендаций.

6.А.02. Задачей инженерно-геологической съемки в карстовых районах является изучение распространения, условий и закономерностей развития карста, его возраста, характера и интенсивности проявления. В результате съемки производится районирование территории по условиям и степени развития карста, дается инженерно-геологическая оценка связанных с ним особенностей условий строительства, а также выясняется возможность активизации карстовых явлений.

6.А.03. При изысканиях для строительства в карстовых районах наиболее эффективна съемка масштабов 1:25000 - 1:5000. Масштаб съемки 1:5000 дает возможность картировать все карстовые формы размером более 5 м; при съемке масштаба 1:25000 карстовые формы небольших размеров изображаются на карте немасштабным знаком.

6.А.04. При инженерно-геологической съемке применяются аэровизуальные наблюдения и используются материалы аэрофотосъемок, позволяющие правильно наметить наземные маршруты и повысить точность составляемых карт, а также точность оценки устойчивости территорий (п.4.08).

6.А.05. На территориях, обеспеченных геологической и гидрогеологической основой соответствующего масштаба, в процессе инженерно-

геологической съемки производится лишь уточнение геологических и гидрогеологических условий. В случае отсутствия такой основы в состав съемочных работ включается геологическое и гидрогеологическое картирование территории с учетом требований, предъявляемых к этим видам съемок.

6.А.06. Съемка сопровождается топографическими, аэрогеологическими, горно-буровыми, геофизическими, опытными и лабораторными работами. Ввиду особой сложности природной обстановки в карстовых районах, объем этих работ может быть увеличен по сравнению с действующими нормами, что должно быть обосновано в проекте.

6.А.07. В состав полевых работ по инженерно-геологической съемке входят:

- изучение, описание и картирование проявлений карста (воронки, котловины, карры, карстово-эрозионные овраги и долины, полья, карстовые колодцы, шахты, каналы, пещеры и т.д.), естественных и искусственных обнажений горных пород, геоморфологических элементов, проявлений водоносности (родники, колодцы, карстовые источники и озера, подземные карстовые реки и т.д.);

- дешифрирование аэрофотоснимков;

- определение точек заложения инженерно-геологических выработок и мест производства других работ, сопровождающих съемку;

- отбор проб пород и подземных вод для лабораторных исследований;

- обследование существующих инженерных сооружений и сбор сведений об их деформациях;

- фотографирование объектов наблюдений;

- ведение дневника и составление полевых карт, разрезов, схем, зарисовок.

6.А.08. Проведению полевых работ предшествует сбор и систематизация архивных и литературных материалов, которые проводятся в соот-

ветствии с п.6.Ж.02 настоящих рекомендаций.

6.А.09. Описание геологических объектов при инженерно-геологической съемке в карстовых районах производится в основном так же, как и при обычных геологических съемках. Однако при этом специально и подробно отмечаются явления, влияющие на развитие карстовых процессов. Обращается внимание на приуроченность карста к определенным литолого-стратиграфическим горизонтам.

6.А.10. Подробно описывается состав карстующихся пород и покрывающих их отложений, наличие примесей (глинистых, песчаных, органических и т.д.), состав и характер включений (конкреции, раковины и др.), структура и текстура, вторичные изменения, наличие микротрещиноватости и микрослоистости, излом, крепость, цвет породы. Выявляются и изучаются формы выветривания и выщелачивания (каверны, пористость, отдельность), их распределение, характер заполнения и т.д.

Изучаются контакты различных литологических и генетических разностей пород, что важно для освещения геологической истории района и, в том числе, вопросов палеокарста, а также для выяснения возможностей развития современного карста. Особое внимание обращается на изучение рельефа кровли коренных пород и древних долин. Отмечаются все изменения мощности пластов (выклинивание, размыв, нарушение в залегании и т.д.) и выявляется их связь с карстованием пород.

6.А.11. Выявляются прослои водоупорных и нерастворимых пород среди карстующихся отложений. Устанавливается состав, мощность и распространение перекрывающих пород (особенно рыхлых четвертичных отложений), что важно для выявления возможности развития в них процессов обрушения и суффозии.

6.А.12. Выявляются тектонические структуры, в которые входит в виде составной части изучаемый район, и структуры, имеющиеся в

районе. Характеризуется морфология, генезис, возраст этих структур, а также их связь с рельефом, гидрогеологическими особенностями территории, трещиноватостью пород и развитием карста.

6.А.13. Трещиноватость пород изучается в обнажениях, пещерах, шахтах, штольнях, карьерах и т.д., а также при описании керна (п.6.Б.09). При этом выявляются: зоны и системы трещиноватости, их пространственное распространение по отдельным участкам, характеризующимся различными геолого-тектоническими и геоморфологическими условиями; различия в характере и степени трещиноватости различных слоев и литологических типов пород; генезис трещин (литогенетические, тектонические, выветривания, механической разгрузки); простирание, падение и угол наклона; степень раскрытия трещин (микроскопические, волосные, зияющие); форма, глубина и ширина трещин; характер их стенок (ровные, рваные); явления цементации и колматации трещин, а также следы циркуляции воды по ним; состав и генезис заполнителя. Особое внимание обращается на участки пересечения трещин и зоны повышенной трещиноватости, так как к ним приурочена максимальная закарстованность пород. Выявляется приуроченность карстовых форм к определенным системам трещин и тектоническим элементам.

При выполнении съемочных работ производятся специальные замеры основных параметров трещиноватости для их последующей статистической обработки. К числу этих параметров относятся: 1/ густота трещин по системам, 2/ ширина (раскрытие) трещин, 3/ протяженность трещин в плоскости обнажения, 4/ угол падения плоскости трещин, 5/ азимут падения плоскости трещин.

6.А.14. Геологическое изучение района сопровождается отбором образцов для определения инженерно-геологических свойств пород, их минералогического, петрографического и химического состава, структур

ных особенностей пород, а также для проведения специальных исследований (определения растворимости пород и т.д.).

6.А.15. В процессе геологического описания выполняется общая зарисовка обнажений с указанием карстовых форм (древних воронок, полостей, каналов и пр.), наиболее развитых систем трещин и элементов их залегания, участков разрушенных пород и т.д. Показываются также места, где взяты образцы.

6.А.16. При изучении геоморфологических условий описываются и картируются элементы рельефа с выяснением их строения, возраста и генезиса, выявляются карстовые формы и их приуроченность к различным геоморфологическим элементам. Проводится историко-геологический анализ влияния тектонических движений и эрозии на формирование рельефа и развитие карста.

6.А.17. При обследовании карстовых воронок отмечается: форма в плане и в разрезе (чашеобразная, блюдцеобразная, колодцеобразная, конусообразная и др.); диаметр (поперечные размеры) и глубина; направление длинных и коротких осей и связь этих направлений с ориентировкой трещин; характер бровки (резкая, обрывистая, сглаженная и т.д.); крутизна и характер склонов; форма дна, заполненность водой, заболоченность; степень задернованности и характер растительности на склонах и дне; наличие трещин в грунте, обвалившихся и осевших глыб грунта, выходов пород (их характер, залегание, трещиноватость) и поглощающих поноров (форма и направление). Выявляется приуроченность воронок к определенным формам рельефа (речным поймам, террасам, днищам и склонам оврагов и балок, водоразделам и их склонам, к зонам развития дюн и т.д.) и к определенным литологическим разностям пород, а также их гипсометрическое положение. Указывается взаиморасположение воронок: поодиночке, группами или цепочками (при этом измеряется азимут цепочек). Выясняется

происхождение воронок (поверхностного выщелачивания, провальные, карстово-суффозионные), а также их возраст (свежие, молодые или старые) - см. п.п.4.11 и 4.12. При этом особенно важно выявить свежие провалы. Описание свежих провалов производится с максимальной детальностью.

6.А.18. При обследовании карстовых котловин, польев, долин и оврагов изучается их морфология и связь с поверхностными и подземными водами. При этом описываются их форма и размеры, характер склонов и днища, наличие карстовых воронок, источников и очагов поглощения поверхностных вод, обводненность в период снеготаяния и ливней и т.д. Рекомендуется произвести историко-геологический анализ развития исследуемых карстовых форм.

6.А.19. При описании карров и карровых полей отмечается густота борозд, их направление, наличие элювия между бороздами, связь карров с литологическим составом пород и геоморфологическим строением района, наличие снегового покрова и его постоянство.

6.А.20. При обследовании пещер составляется план и разрезы каждой пещеры. Кроме того, собираются данные о приуроченности пещеры к определенным гипсометрическим уровням и геоморфологическим элементам, о связи пещеры или ее частей с господствующими в районе системами трещиноватости. Выясняется возраст, состав, условия залегания и структурные особенности вмещающих пород. Отмечается наличие подземных ручьев, озер, льда, капежа по стенкам и с потолка, натечных образований (сталактиты, сталагмиты, колонны), а также глинистых и песчаных образований в трещинах и на дне пещеры. Дается микроклиматическая характеристика пещеры (температура, влажность, движение воздуха). Устанавливается связь пещеры с карстовыми воронками, находящимися в районе ее расположения.

Обследование карстовых шахт и колодцев производится, в основном, по той же методике.

6.А.21. При обследовании карстовых полостей, каналов и ниш отмечается их форма, размеры и ориентировка, выявляется приуроченность к определенным литологическим разностям пород, различным типам трещин и плоскостям напластования, изучается характер стенок и состояние слагающих их пород, дается подробное описание состава, структуры, текстуры и состояния заполнителя с указанием его возраста, отмечаются натечные образования.

6.А.22. Описание карстовых форм сопровождается зарисовками, фотографиями, составлением схематических планов и разрезов по характерным направлениям.

Составляется каталог карстовых форм с их нумерацией, указанием местоположения, размеров и других данных. Каталог сопровождается кратким описанием. Указывается возраст воронок и даты образования свежих провалов.

6.А.23. Другие геологические процессы и явления (оползни, эоловые процессы, заболачивание и т.д.) изучаются как при обычной инженерно-геологической съемке. При этом бóльшее внимание уделяется процессам, связанным с развитием карста.

6.А.24. В процессе съемки уточняются данные о гидрогеологических условиях территории: исследуются условия питания и дренирования подземных вод, выясняется взаимосвязь отдельных водоносных горизонтов друг с другом, с открытыми водоемами и водотоками, выявляются пути циркуляции подземных вод на участках развития карста, определяется скорость их движения, химический состав и агрессивность по отношению к различным карстующимся породам. Для полного разрешения этих вопросов дополнительно к съемке требуется проведение специальных разведочных, опытно-фильтрационных, режимных, лабораторных и

других работ.

6.А.25. При инженерно-геологической съемке в карстовых районах в состав полевых работ входит описание и картирование проявлений водоносности (источники, колодцы, скважины, заболоченность и т.д.). При этом особое внимание обращается на карстовые источники, очаги поглощения поверхностных вод, карстовые озера, водотоки в пещерах и т.д. При наличии гидрогеологической основы соответствующего масштаба исследование проявлений водоносности ограничивается уточнением имеющихся данных с учетом возможных изменений гидрогеологической обстановки, происшедших после проведения гидрогеологической съемки.

6.А.26. При описании карстовых источников указывается их местоположение, приуроченность к различным геоморфологическим элементам, высотные отметки, тип (восходящий, нисходящий, переливающийся), дебит и характер деятельности (постоянный, периодический). Устанавливается связь с определенным водоносным горизонтом, с другими источниками и карстопроявлениями. Если источник вытекает из трещины, определяется ее генезис, размеры, падение и простирание. Изучаются химический состав и агрессивные свойства воды.

6.А.27. При изучении карстовых озер выясняется местоположение, размеры, глубина и конфигурация, условия образования озера, связь его с литологическими разностями пород, условия питания (поверхностное, подземное, смешанное) и разгрузки, режим, положение уровня воды в озере, наличие воронок и источников на дне и берегах.

6.А.28. При изучении пещерных рек и озер устанавливаются их размеры, скорость течения и расход воды на отдельных участках, ее температура и химический состав; выясняются условия питания и особенности режима.

6.А.29. При описании исчезающих рек и ручьев отмечается их режим (постоянные, периодические), расход потока, место поглощения и характер перехода поверхностного стока в подземный, химизм и температура воды.

6.А.30. В процессе съемки производится отбор проб воды для лабораторных исследований с целью определения ее химического состава и агрессивных свойств.

6.А.31. В процессе съемки собираются данные о влиянии сбрасываемых отработанных вод и отходов производства на агрессивность подземных вод; о нарушениях статического равновесия пород над карстовыми полостями вследствие дополнительной нагрузки от сооружений, динамического воздействия от работающих механизмов, проходящих тяжелых поездов и т.п.

6.А.32. При обследовании деформаций зданий и сооружений собираются следующие данные: тип, назначение, конструктивные особенности и дата возведения сооружения (здания), характер и динамика деформаций, время появления трещин, просадок и т.д. Выясняются геологические и гидрогеологические особенности стройплощадки, наличие поверхностных и подземных форм карста, характер трещиноватости пород и т.д.

Описание деформаций зданий и сооружений производится на месте и сопровождается схемами, зарисовками и фотографированием.

6.А.33. Проявления карста, выявленные в процессе съемки, наносятся на карту соответствующего масштаба.

На карте масштаба 1:25000 изображаются: одиночные карстовые формы рельефа, пещеры и другие подземные проявления карста, крупные источники и поглощающие поноры, выявленные провалы, деформации зданий и сооружений - немасштабными знаками; группы карстовых форм

рельефа, группы мелких источников, участки поглощения поверхностных вод, участки оседания земной поверхности - обобщенными контурами в масштабе карты (с составлением схем более крупного масштаба, обеспечивающего раздельное изображение входящих в них проявлений карста).

На карте масштаба 1:5000 изображаются: все проявления карста размером в плане 5 м и более - масштабными знаками; важнейшие карстопроявления меньших размеров (выявленные провалы, значительные карстовые источники, карстовые шахты и входы в пещеры) - немасштабными знаками. Остальные проявления карста в случае их многочисленности могут наноситься на карту обобщенным контуром.

6.А.34. Материалы и данные инженерно-геологической съемки обрабатываются в соответствии с разделом 6.[illegible] настоящих рекомендаций.

6.Б. Буровые работы

6.Б.01. Буровые работы проводятся в целях:

а/ изучения геологического строения территории;

б/ изучения гидрогеологических условий;

в/ изучения трещиноватости, кавернозности и закарстованности пород и выявления подземных форм карста, могущих представлять опасность для зданий и сооружений;

г/ изучения состояния и свойств пород, залегающих на карстующемся массиве (включая выявление и изучение линз слабых грунтов, заполняющих воронки, впадины и другие поверхностные и погребенные карстовые формы);

д/ отбора образцов горных пород и воды для лабораторных исследований;

е/ проведения опытных гидрогеологических, инженерно-геологических и геофизических работ;

ж/ организации стационарных (режимных) наблюдений.

При организации и выполнении буровых работ нужно стремиться к комплексному использованию скважин для решения перечисленных задач.

6.Б.02. Буровые скважины по своему назначению делятся на опорные, технические, разведочные и специального назначения.

Опорные скважины проходятся для выявления общего геологического строения и гидрогеологических условий развития карста, изучения состава, состояния, трещиноватости и закарстованности пород и отбора образцов пород и вод на лабораторные исследования. Опорные скважины должны вскрывать всю зону активного развития карста, а в случае необходимости - и подстилающие горизонты.

Технические скважины проходятся дополнительно к опорным в основном с той же целью - для получения комплексной характеристи-

ки зоны активного развития карста и вышележащих толщ. Глубина их определяется мощностью зоны активного развития карста.

Скважины специального назначения служат для выполнения опытных гидрогеологических и геофизических работ и для проведения стационарных наблюдений. Глубина их может быть различной в зависимости от поставленных задач. Рекомендуется, насколько возможно, использовать в специальных целях опорные и технические скважины.

Разведочные скважины проходятся для уточнения геологического строения и гидрогеологических условий площадки, оконтуривания зон с различной степенью закарстованности, выявления и прослеживания карстовых полостей. Комплекс наблюдений и опробования в них может быть сокращенным. Глубина скважин определяется необходимостью вскрыть ту часть зоны активного развития карста, в которой могут быть проявления карста, опасные для устойчивости площадки.

При мощности зоны активного развития карста 100 м и более допускается вскрытие опорными и техническими скважинами не всей зоны, а только ее части, представляющей опасность для устойчивости площадок.

Для выявления линз слабых грунтов, заполняющих воронки, впадины и т.п., бурятся разведочные скважины, а также технические и специального назначения. Их документация и опробование проводятся по правилам изысканий в обычных условиях.

6.Б.03. Диаметр и конструкция скважин должны обеспечивать: получение характеристики состояния и закарстованности пород, отбор образцов пород и вод на лабораторные исследования, производство специальных работ /опытных гидрогеологических, режимных, геофизических/, перекрытие обсадными трубами зон с неустойчивыми породами и карстовых полостей.

6.Б.04. Технология бурения должна учитывать сложные условия проходки скважин /наличие неустойчивых разрушенных пород, карстовых полостей, зон интенсивного поглощения промывочной жидкости и т.п./ и обеспечивать производство необходимых геологических и гидрогеологических наблюдений и выполнение предусмотренных программой специальных работ /опытных гидрогеологических, режимных, геофизических/. Она должна обеспечивать максимальный выход керна /в плотных породах - около 100%, в рыхлых - не менее 80%/. Должны приниматься специальные меры для получения керна заполнителя карстовых полостей /часто представленного рыхлыми, легко размывающимися и разрушающимися породами/, а при бурении в соленосных толщах - для недопущения растворения пород в процессе проходки.

Бескерновое бурение допускается только в виде исключения при проходке разведочных скважин в покрывающей толще некарстующихся отложений, если ее строение, литологический состав и гидрогеологические особенности хорошо изучены и не нуждаются в уточнении. При этом необходимо особенно тщательно вести наблюдения за процессом бурения /режим проходки, состав шлама и цвет глинистого раствора и т.п./.

6.Б.05. При изысканиях в карстовых районах в плотных породах рекомендуется колонковое бурение скважин, а в рыхлых несвязных породах, покрывающих карстовый массив, - колонковое, ударное или ударно-вращательное.

Колонковое бурение в плотных неразмываемых породах ведется с промывкой водой. В слабых, размываемых породах для обеспечения выхода керна уменьшается промывка, применяются укороченные рейсы и, наконец, ведется бурение без промывки. В особо сильно разрушенных и сильно размываемых породах /например, при проходке заполнителя карстовых полостей/ применяются двойные колонковые труоы и

грунтоносы. Применение глинистого раствора не допускается и может быть разрешено лишь в исключительных случаях при проходке разведочных скважин, когда гидрогеологические условия хорошо изучены и не нуждаются в уточнении. При бурении в соляных и соленосных толщах в качестве промывочной жидкости следует применять рассолы.

Ударное и ударно-вращательное бурение в рыхлых несвязных породах, покрывающих карстовый массив, производится обычными методами.

6.Б.06. Отбор, обработка и описание керна производится в соответствии с общеобязательными правилами. Выход керна в процентах подсчитывается по интервалам бурения, изменение его по разрезу скважины отражается на графике. Производится фотографирование и делаются зарисовки характерных деталей /структур, текстур, контактов, трещин, каверн и т.д./.

6.Б.07. Тщательно описывается состояние керна: раздробленность, размытость и т.д. Указывается величина обломков при распадении керна и степень их сохранности.

6.Б.08. Подробно описывается: трещиноватость пород, пористость, кавернозность, степень выветрелости и разрушенности; размеры и форма карстовых полостей и характер их заполнения; кальцитизация, доломитизация, огипсование, соленосность, пиритизация, битуминозность, кремнистость; линейный и объемный коэффициенты закарстованности.

6.Б.09. В описании трещин указывается их направление, ориентировка к плоскостям напластования, частота и характер /открытые, заполненные/. Измеряется ширина трещин. Описывается их форма /извилистые, ветвящиеся и пр./, характер стенок и налеты на них, состав, структура, текстура и состояние заполнителя и выделения вторичных минералов /кальцита, гипса и т.д./. Если керн ориентирован, измеряется азимут и угол падения трещин. При наличии не-

скольких типов трещин отдельно описывается каждый тип и указывается его относительная распространенность.

6.Б.IO. При наличии карстовых полостей и каверн указываются их размеры, форма, характер стенок /кровли и дна у больших полостей/ и характер заполнения. О полостях судят по керну, по провалам бурового инструмента, по резкой смене скорости бурения, частично - по отсутствию керна в пройденном интервале и косвенным путем - по исчезновению промывочной жидкости.

6.Б.II. При характеристике заполнителя полостей и каверн указывается: его состав, текстура и состояние, размеры зерен и осколков и степень их окатанности /для продуктов механического привноса/; форма, размеры и расположение кристаллов и их агрегатов /для продуктов, выпадающих из водного раствора путем кристаллизации/. Отмечается степень выполнения полостей.

6.Б.I2. После всестороннего исследования и описания керна вычисляется линейный коэффициент закарстованности /точнее кавернозности/ по следующей формуле:

$$K_l = \frac{\sum d}{4l} \cdot 100\%, \text{ где}$$

$\sum d$ - суммарный диаметр /поперечник/ карстовых пустот по 4 измерениям;

l - длина куска керна, на котором определяется коэффициент закарстованности.

Для вычисления коэффициента закарстованности /кавернозности/ с разных сторон керна параллельно его оси проводятся 4 линии и измеряются диаметры пустот /каверн/, попадающих на эти линии.

Линейный коэффициент закарстованности для всего стратиграфического горизонта подсчитывается как среднее арифметическое отдельных значений.

Определение K_l желательно проводить в процессе бурения.

6.Б.13. Вычисляется также объемный коэффициент закарстованности /точнее пористости и кавернозности/ по следующей формуле:

$$K_V = \frac{V_2 - V_1}{V_2} \cdot 100 = \frac{V_3}{V_2} \cdot 100\%, \text{ где:}$$

V_1 - объем керна без объема пор и каверн /объем скелета/;

V_2 - объем керна с заполненными парафином порами и кавернами;

V_3 - объем пор и каверн.

6.Б.14. Для определения коэффициентов закарстованности из каждого стратиграфического горизонта или закарстованной зоны отбирается 3-4 наиболее характерных образца керна, равномерно распределенных по рассматриваемому горизонту.

6.Б.15. Полученные коэффициенты обрабатываются графически для получения более наглядной картины изменения закарстованности с глубиной и в различных стратиграфических горизонтах.

6.Б.16. Кроме метода, охарактеризованного в п.п.6.Б.12-6.Б.14, возможно применение других количественных методов оценки степени закарстованности пород.

6.Б.17. Непосредственно при проходке скважин производится отбор образцов пород с ненарушенной и с нарушенной структурой для лабораторных исследований. Для отбора образцов рыхлых пород применяют грунтоносы или двойные колонковые трубы. Количество образцов и состав лабораторных испытаний /см.раздел 6.Д/ определяется программой изысканий.

6.Б.18. При бурении особое внимание обращается на случаи провалов и легкого погружения бурового инструмента и на случаи резкого исчезновения промывочной жидкости.

Точно отмечаются интервалы глубин, на которых произошел провал /или погружение/ инструмента и его характер /провал, быстрое или медленное погружение без вращения и т.д./. Каждый такой

случай фиксируется в сменном рапорте и буровом журнале, где указывается, в каком интервале инструмент шел по карстовой пустоте.

Ведутся также наблюдения за скоростью проходки (м/час) в различных породах и особенно в закарстованных.

6.Б.19. В процессе бурения ведутся гидрогеологические наблюдения, при которых отмечаются: уровни воды, характер циркуляции и величина поглощения промывочной жидкости, самоизлив, выход газа из скважины, температура воды. Результаты наблюдений заносятся в первичные документы установленной формы. Отбираются пробы воды на химический анализ.

6.Б.20. По окончании перечисленных выше работ скважина оборудуется для проведения опытных работ и гидрогеологических наблюдений или ликвидируется. Для ликвидационного тампонажа в глинистых породах применяют вязкую глину, а в скальных и полускальных - цемент (с добавками инертных материалов). Тщательность тампонажа должна строго контролироваться.

6.Б.21. Рекомендуется во всех скважинах проводить каротаж (см.раздел 6.Г). В некоторых случаях в скважинах выполняют кавернометрию, осмотр и фотографирование их стенок при помощи специальных приборов и т.д.

6.В. Опытные гидрогеологические работы

6.В.01. Опытные гидрогеологические работы в карстовых районах проводятся для определения:

а/ коэффициентов фильтрации, уровнепроводности /пьезопроводности/ и водоотдачи /водовместимости/ закарстованных пород и покрывающих их отложений;

б/ производительности водоносных горизонтов /удельные и общие дебиты/;

в/ размеров, формы и темпов роста депрессионной воронки;

г/ связи между отдельными водоносными горизонтами;

д/ гидравлической связи грунтовых вод с поверхностными водотоками;

е/ направления и скорости движения подземных вод.

6.В.02. Опытные гидрогеологические работы, проводимые для решения указанных вопросов, включают откачки, нагнетания, наливы в скважины и шурфы и опыты по определению направления и скорости течения подземных вод.

6.В.03. При заложении скважин и узлов для проведения опытных гидрогеологических работ следует учитывать наличие зон с различной степенью закарстованности, типами режима подземных вод и т.д.

6.В.04. Основным и наиболее точным методом исследования водонасыщенных пород для решения перечисленных выше вопросов являются откачки, при проведении которых определяются дебиты и понижения уровней воды и вычисляются коэффициенты фильтрации и уровнепроводности /пьезопроводности/. Различаются следующие виды откачек: пробные, одиночные опытные и кустовые опытные.

6.В.05. Пробные откачки выполняются с целью предварительной оценки водоносности пород, выбора мест заложения опытных откачек и получения сравнительной оценки закарстованности различных зон.

6.В.06. Опытные откачки из одиночных скважин выполняются с целью определения коэффициентов фильтрации и уровнепроводности /пьезопроводности/ в случаях, когда не требуются более точные определения этих коэффициентов, и для интерполяции данных кустовых откачек. На основании большого числа опытных откачек могут быть получены характеристики водопроницаемости для зон с различной степенью закарстованности, а также осредненное представление об изучаемой территории.

6.В.07. Опытные кустовые откачки выполняются с целью определения более точных значений коэффициентов фильтрации и уровнепроводности /пьезопроводности/. Ввиду их значительной стоимости и неравномерной водопроницаемости карстовых массивов места расположения опытных узлов следует выбирать особенно тщательно.

6.В.08. При кустовых откачках число лучей зависит от степени неоднородности пласта и требуемой точности определения коэффициента фильтрации. Для карстовых участков желательно иметь не менее двух лучей, причем в случае проведения откачки вблизи реки один луч направляется перпендикулярно реке, а другой - параллельно ей. В скальных породах, с характерной для карстовых массивов резко выраженной направленностью трещиноватости, лучи скважин располагают по направлению преобладающей трещиноватости и перпендикулярно ей. Длину и положение фильтров в центральной и наблюдательных скважинах рекомендуется иметь одинаковыми. Для получения более надежных характеристик водопроницаемости и уровнепроводности расстояния между скважинами должны быть возможно большими.

6.В.09. При выборе метода, подготовке и проведении откачек и обработке их результатов нужно учитывать различный характер водопроницаемости пород и неравномерность их закарстованности. При этом закарстованные породы могут рассматриваться как однородные, однородно-анизотропные по вертикали, неоднородно-анизотропные во всех направлениях, состоящие из отдельных подземных водотоков и т.п. В гипсах, ангидритах и массивных известняках практически учитывается только трещинная водопроницаемость; в пористых же известняках нужно иметь в виду также поровую водопроницаемость и водоотдачу.

При выборе конструкции скважин и оборудования для откачек следует учитывать, что коэффициенты фильтрации сильно закарстованных зон могут достигать 100-200 м/сутки и более. В то же время, вследствие неоднородной водопроницаемости карстового массива, некоторые скважины могут оказаться гидравлически несвязанными с другими скважинами опытного куста или могут попасть в монолитные породы и оказаться безводными. Потребность в устройстве фильтров и их конструкция зависят от степени устойчивости закарстованных пород и наличия или отсутствия заполнителя в трещинах и полостях.

6.В.10. При проведении откачек и обработке их результатов рекомендуется пользоваться инструкциями Гидропроекта, а также других организаций, с учетом п.п. 6.В.04 - 6.В.09 настоящих рекомендаций.

6.В.11. Проведение откачек по методу больших депрессий, который значительно увеличивает опробуемую зону и позволяет точнее определить коэффициенты фильтрации и уровнепроводности, должно быть специально обосновано в программе изысканий ввиду их значительной стоимости.

6.в.I2. Откачки по методу больших депрессии проводятся из скважин большого диаметра /300 мм и более/ с использованием достаточно мощных насосов глуоинного типа или же центробежных /самовсасывающих/. Количество понижений должно быть не менее двух. Продолжительность откачек 8-10 суток.

Для выявления фильтрационной неоднородности пород наолюдательные скважины следует закладывать по 5-6 лучам и в достаточном удалении от предполагаемой зоны турбулентного движения воды, образующейся вблизи откачиваемой скважины.

Для определения коэффициентов фильтрации и уровнепроводности, а также для решения других задач /п.6.В.OI/ целесообразно организовать специальные наблюдения /если они не проводились ранее/ за работой водозаборных скважин, имеющихся на исследуемой территории, и изменениями связанных с ними депрессионных воронок. Для этого, в случае необходимости, бурятся дополнительные наблюдательные скважины.

6.В.I3. Опытные откачки нельзя заменить никакими другими видами опытных гидрогеологических работ в водоносных пластах. Нагнетания и наливы /в шурфы и скважины/ могут лишь дополнять и уточнять данные опытных откачек.

6.В.I4. Опытные наливы и нагнетания проводятся: для оценки водопроницаемости неводоносных горных пород; для получения данных об удельном водопоглощении горных пород, необходимых для оценки возможности проведения цементационных работ; взамен пробных откачек. Особенности условий выполнения наливов и нагнетаний в карстовых районах в основном те же, что при осуществлении откачек /п.6.В.09/. При проведении наливов и нагнетаний рекомендуется пользоваться инструкциями Гидропроекта и других организаций.

6.В.15. Определение направления и скорости движения подземных вод производят путем запуска различных индикаторов в скважины или в места поглощения поверхностных вод, с последующим улавливанием их в другом пункте в скважинах или источниках. В качестве индикаторов применяются различные краски /флюоресцеин, эозин, эритрозин, красная конго, метиленовая синька, анилиновая голубая и др./, растворяемые вещества /хлористый натрий, хлористый литий и др./, керосин, споры растений /ликоподий/, радиоактивные изотопы /если это допускается по санитарным соображениям/ и даже, в некоторых случаях, опилки. Улавливание индикаторов производится визуальным, колориметрическим, химическим, электрохимическим, радиометрическим методами, а также методом адсорбции флюоресцеина на активированном угле. При выборе метода и организации опытов учитывается ожидаемая скорость и пути движения подземных вод, состав и характер закарстованности пород, химический состав и pH воды, санитарные требования и практические возможности проведения опытов. В процессе производства опытов регистрируется время запуска и количество запущенного индикатора и составляются графики изменения во времени концентрации индикатора в пунктах его улавливания. При выполнении опытов следует учитывать гидрометеорологические условия.

6.Г. Геофизические работы

Общие указания

6.Г.01. При исследовании карста применяются полевые и скважинные /каротажные/ геофизические методы. К полевым методам относятся: электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование /ВЭЗ/ и их круговые модификации; метод естественных полей фильтрации /ПС/; сейсморазведка; гравиметрия; магнитометрия; радиометрия; резистивиметрия, термометрия и ПС поверхностных водоемов. Скважинные исследования включают: электрический, радиоактивный, сейсмический и сейсмо-акустический каротаж, различные способы наблюдений с помощью резистивиметров и термометров, метод ПС, а также метод заряженного тела.

Для уверенной интерпретации данных полевых геофизических работ, последние должны базироваться на результатах опорного бурения и сопровождаться контрольным бурением.

6.Г.02. Задачи, решаемые геофизическими методами в карстовых районах, подразделяются на три основные группы:

а/ Изучение общих вопросов геологии района - литологическое расчленение пород, установление тектонических особенностей, положения базисов эрозии и т.п.

б/ Изучение погребенного карстового рельефа, трещиноватости и подземных карстовых полостей.

в/ Изучение трещинно-карстовых вод.

6.Г.03. Наиболее широко при исследованиях карста применяются различные модификации электроразведки и каротажа скважин. В меньшей мере применяются магнитометрический, сейсмометрический, гравиметрический и радиоактивный методы. Перспективны также сейсмоакустический и тензометрический методы.

Геофизические исследования необходимо проводить комплексно. Применимость тех или иных методов определяется геологическими и гидрогеологическими условиями района.

6.Г.04. Полевые геофизические исследования обычно предшествуют бурению разведочных скважин. По мере накопления геологических и гидрогеологических данных геофизические материалы целесообразно подвергать повторной интерпретации, сообразуясь с результатами контрольного бурения.

Электроразведка

6.Г.05. Электроразведка, как наиболее простой, мобильный и экономически выгодный метод изысканий, используется для решения большинства задач, связанных с изучением общих вопросов геологии и гидрогеологии карстового района и с определением местоположения зон развития карста, а в благоприятных условиях - и отдельных карстовых полостей.

6.Г.06. Литологическое расчленение толщи пород, также как изучение геологических особенностей и базисов эрозии карстового района, выполняется методом ВЭЗ, электропрофилированием и каротажными исследованиями. Методика работ при этом аналогична методике тех же работ вне карстовых районов. Сетка наблюдений и размеры установок ВЭЗ и электропрофилирования выбираются в соответствии с детальностью работ и соотношением геоэлектрических параметров для каждого конкретного случая.

6.Г.07. При изучении погребенного карстового рельефа и подземных карстовых полостей основными методами исследований являются различные модификации электропрофилирования и ВЭЗ. Каждая карстовая форма или участок развития этих форм выявляется на двух-трех профилях.

При электропрофилировании профили наблюдений располагаются вкрест основных закарстованных зон. Расстояние между параллельными профилями выбирается равным 20 или 50 м, реже 100-200 м. Шаг измерений на профиле 10-20 м. Размеры установки для электропрофилирования определяются по данным ВЭЗ, произведенных на опорных скважинах или обнажениях. Целесообразно использовать симметричную установку Шлюмберже с 2-3 разносами АВ, или схему электропрофиля - с неподвижным АВ. В отдельных районах возможно применение комбинированных дипольных установок. На графиках комбинированного электропрофилирования карстовые полости фиксируются зонами сечения проводимостей. Тип установки профилирования выбирается в зависимости от конкретных условий участка. При этом необходимо учитывать различия в сопротивлении карстующихся пород и отложений, заполняющих карстовые формы, а также соотношение размеров этих форм и мощности вышележащих отложений. При детальной съемке ВЭЗ расстояния между точками не должны превышать двухкратной глубины залегания полостей. На аномальных участках точки ВЭЗ сгущаются.

По результатам электроразведки, представленным в виде карт изоом, кривых ВЭЗ, разрезов кажущихся сопротивлений, геоэлектрических разрезов и графиков электропрофилирований выявляются площади различной интенсивности погребенного карста. По данным количественной интерпретации ВЭЗ определяется глубина карстовых депрессий.

6.Г.08. Обводненные трещиноватые и закарстованные зоны, а также полости, заполненные породами низкого сопротивления, выделяются на соответствующих картах и профилях в виде зон пониженных сопротивлений. Сухие карстовые полости, залегающие выше

уровня подземных вод, выделяются на графиках электропрофилирования и кривых ВЭЗ максимумами кажущихся сопротивлений. Аномальные карстовые зоны в плане выделяются по картам изоом, а по вертикали - по разрезам кажущихся сопротивлений.

6.Г.09. В трещиноватых породах направление трещиноватости, совпадающее с направлением большей оси эллипсов анизотропии, определяется при помощи круговых ВЭЗ и кругового многоступенчатого электропрофилирования.

6.Г.10. Помимо метода сопротивления, для изучения трещиноватых и закарстованных зон и карстовых полостей возможно также применение метода вычитания полей индукции и радиокип.

6.Г.11. Определение уровня подземных вод в карстовых районах производится при помощи ВЭЗ и контролируется микросейсмикой. Выявление участков проникновения поверхностных вод в закарстованные зоны производится с использованием метода естественного электрического поля /ПС/, выявление зон разгрузки карстовых вод - методами ПС, резистивиметрии и термометрии. На графиках и картах ПС места водопоглощения соответствуют отрицательным аномалиям ЭДС, а места выходов подземных вод на дневную поверхность - положительным. Метод ПС можно применять как с воды /исследование русел рек и днищ озер/, так и с поверхности земли. При исследовании водоемов используется метод непрерывных измерений естественной ЭДС с воды. В исследованиях с поверхности земли используются точечные замеры естественной ЭДС. Измерения выполняются как по линейным профилям, так и круговыми замерами разности потенциалов естественного электрического поля на исследуемом участке. По данным круговых наблюдений определяется направление движения водного потока в случае неглубокого залегания последнего.

6.Г.I2. Резистивиметрия проводится в поверхностных водоемах. Зонам низких сопротивлений воды соответствуют очаги разгрузки минерализованных вод, зонам высоких сопротивлений - очаги разгрузки опресненных вод.

6.Г.I3. Для наблюдения за движением подземных вод в скважинах применяются: метод заряженного тела, электролитический /резистивиметрический/ и метод повторных боковых каротажных зондирований /БКЗ/.

6.Г.I4. На основании электроразведочных данных проводится крупномасштабное районирование карстового участка и детализация аномальных участков гравиметрическими и сейсмическими методами.

Гравиметрия

6.Г.I5. Применение гравиметрии для изучения карстовых районов основано на различиях в плотностном разрезе. В частности, плотность сильно закарстованных участков с кавернами и пустотами в I,5 - 3 раза меньше, чем плотность неразрушенных пород.

6.Г.I6. Гравиразведка применяется при решении следующих задач:

I/ оконтуривание зоны разрушенных, т.е. менее плотных пород;

2/ выявление больших полостей;

3/ выявление переуглубленных речных долин;

4/ определение глубины залегания кровли закарстованных пород.

6.Г.I7. Гравиметровая съемка в карстовых районах проводится по общепринятой методике, но особенное внимание здесь уделяется густоте сети наблюдений и высокой точности их. Необходимо наличие высокоточной топографо-геодезической съемки, особенно в районах со сложным рельефом и малой величиной ожидаемых аномалий.

6.Г.I8. При рекогносцировочной гравиметровой съемке точность определения аномалии в редукции Буге 0,08-0,I мгл; при детальной

съемке - 0,04 мгл. Устанавливаются следующие максимумы допустимых ошибок определения координат и средние квадратические ошибки определения высот гравиметровых точек:

м-б отчетных карт	Точность определения высот, в м	Предельные ошибки опр.коорд.в м
I : I0000	± 0,3 - 0,25	I2
I : 5000		6
I : 2000	до ± 0,I5	2,4
I : I000		I,2

Перед началом работ делается рекогносцировочный профиль с густотой сети профилей 100 м, с выходом их за пределы карстового участка. Шаг съемки в центральной части сетки 50 м, а на концах I00 м. При детализации исследований шаг уменьшается до 20 м, а расстояние между профилями - до 50 м.

Магнитометрия

6.Г.I9. Магниторазведка применяется для обнаружения карстовых полостей, заполненных материалом с высокой магнитной восприимчивостью /например, бокситы, приуроченные к погребенным карстовым воронкам в карбонатных породах/. Она применяется также для оконтуривания карстующихся толщ, залегающих среди изверженных пород.

Сейсморазведка

6.Г.20. Сейсморазведка применяется для изучения геологического строения территории и рельефа поверхности карстующихся пород, определения глубины закарстованной толщи, уровня подземных вод, выделения наиболее разрушенных зон и прослеживания их простирания. В отдельных случаях она может быть использована для выявления карстовых полостей.

6.Г.21. Сейсморазведочный метод исследования карста основан на различии пластовых скоростей в породах с различной закарстованностью. Участки ненарушенных пород характеризуются повышенными значениями пластовых скоростей, а закарстованные - пониженными. Для исследований в карстовых районах используется корреляционный метод преломления волн.

6.Г.22. Сейсморазведочные работы целесообразно проводить в комплексе с электроразведкой для детализации аномальных участков, выявленных последней.

6.Г.23. На участках развития неглубокого карста /до 15 м/ применим микросейсмический метод. При этом детальное продольное сейсмическое профилирование проводится с расстоянием между профилями от 10 до 40 м и расстоянием между сейсмоприемниками от 0,5 до 5 м.

6.Г.24. При исследовании глубокого карста используется 24-х канальная сейсмическая станция. Возбуждение упругих колебаний осуществляется взрывами в шурфах и закопушках, реже в водоемах, скважинах и в воздухе. Расстояние между сейсмоприемниками - 5-10 м, при параметрических измерениях - 2-3 м. Исследования ведутся по методике непрерывного продольного профилирования. Записи на каждой стоянке производятся не менее чем с 4-5 пунктов взрыва. Для интерпретации используется метод " t_0 " и разностного годографа, а также метод пластовых скоростей.

6.Г.25. Сейсморазведочным методом детально определяется характер поверхности карстующихся отложений. При совместной регистрации поперечных и продольных преломленных волн возможно определять упругие константы для нескольких поверхностных слоев и устанавливать уровень грунтовых вод. Для одновременной регистрации поперечных и продольных волн в каждой точке устанавливаются два

сейсмоприемника / $\varkappa$ - в вертикальном положении, X - в горизонтальном положении параллельно профилю/ с расстоянием между точками 2-3 м.

Методы ядерных исследований

6.Г.26. Методы ядерных исследований подразделяются на две основные группы: I/ основанные на изучении естественной радиоактивности горных пород, подземных и поверхностных вод и 2/ основанные на изучении искусственного облучения горных пород нейтронами или γ - лучами. Эти методы используются при изучении разрезов буровых скважин в карстовых районах для оценки водоносности пластов, определения трещиноватых зон и изучения характера заполнения карстовых полостей и трещин.

6.Г.27. Для изучения движения карстовых вод /при наличии согласия санитарной инспекции/ могут быть использованы в качестве индикаторов радиоактивные изотопы.

6.Д. Лабораторные исследования

6.Д.01. Лабораторные исследования при изысканиях в карстовых районах включают как определение показателей, обязательных при инженерно-геологических изысканиях в обычных условиях, так и получение специфических данных. В состав лабораторных работ входит минералого-петрографическое изучение горных пород, определение их химического состава и физических свойств и изучение химического состава подземных и поверхностных вод; в случае необходимости проводятся также экспериментальные работы. Исследованию подвергаются как растворимые, так и нерастворимые породы, входящие в состав карстующейся толщи и покрывающих ее отложений, в том числе изучается заполнитель карстовых полостей и трещин. Объем и виды лабораторных работ зависят от природной обстановки, задач изысканий и изученности района.

6.Д.02. Изучение минералогии, петрографии и химического состава горных пород необходимо для литолого-стратиграфического и инженерно-геологического расчленения карстующейся толщи и покрывающих отложений, оценки степени закарстованности и способности горных пород к карстованию и изучения возраста и истории развития карста.

Минералого-петрографическое изучение горных пород производится в шлифах, пришлифовках и в зернах. При этом, в частности, следует обратить внимание на изучение пористости и кавернозности пород и корродированности зерен и кристаллов. Важно установить характер и последовательность вторичных изменений горной породы.

При изготовлении шлифов гипсов, ангидритов и огипсованных пород не допускается нагревание образца, а при изготовлении шлифов каменной соли и засоленных пород недопустимо растворение.

Для изучения химического состава пород проводится полный или сокращенный анализ, применяются водные и кислотные вытяжки. В состав химического анализа, в числе других определений, входит определение общего содержания органических веществ.

Рекомендуется применять термический, рентгеноструктурный, электронномикроскопический и другие методы минералогического и химического анализа горных пород.

6.Д.03. Химический анализ подземных и поверхностных вод необходим для определения степени их агрессивности к карстующимся породам и скорости растворения этих пород /раздел 5/, изучения взаимосвязи между водоносными горизонтами и решения других задач. При этом нужно обеспечить своевременное и достоверное определение содержания свободной CO_2, pH и других неустойчивых характеристик состава воды. Химический анализ сопровождается изучением физических свойств воды.

6.Д.04. Для скальных /и полускальных/ пород определяют: удельный вес, объемный вес и предел прочности при одноосном сжатии. Чтобы вычислить открытую и закрытую пористость и коэффициент размягчаемости, проводят параллельно определения объемного веса и предела прочности на образцах в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии. Данные указанных исследований используются при оценке степени закарстованности, водоотдачи, несущей способности и способности пород к карстованию, а также при выяснении устойчивости сводов карстовых полостей.

Иногда дополнительно изучают размокаемость, набухание, пластичность и другие физические свойства. Размокаемость, набухание и пластичность некоторых пород /например, мергелей/ принимаются во внимание при выяснении условий развития карста, оценке несущей способности этих пород и устойчивости сводов карстовых полос-

тей. Сравнительно редко, при выяснении устойчивости сводов карстовых полостей, используются данные о пределе прочности горных пород на разрыв.

6.Д.05. Для глинистых, песчаных и крупнообломочных пород выполняют общепринятые лабораторные исследования их физических свойств /гранулометрический состав, удельный вес, объемный вес в естественном состоянии, объемный вес в двух предельных состояниях уплотнения, естественная влажность, пределы пластичности, набухание, усадка, размокаемость, угол естественного откоса, коэффициент фильтрации, сжимаемость при компрессионных испытаниях, сопротивление сдвигу/, иногда определяют предел прочности при одноосном сжатии /для твердых глин/, а также другие свойства. Состав лабораторных исследований назначается в зависимости от типа породы, условий ее залегания, общей природной обстановки и задач изысканий.

Данные лабораторных исследований физических свойств пород используются не только в оценочных целях, но и для решения специфических задач. Они используются при изучении гидрогеологических условий развития карста /коэффициент фильтрации, пористость/, роли суффозии и размыва пород в развитии карста и образовании провалов /гранулометрический состав, консистенция, размокаемость и т.д./, поведения пород в сводах карстовых полостей /объемный вес, консистенция, сопротивление сдвигу, размокаемость и т.д./, соотношения диаметров и глубин карстовых провалов /сопротивление сдвигу, угол естественного откоса и другие свойства/ и т.д.

6.Д.06. В некоторых случаях проводятся экспериментальные лабораторные исследования. К ним в первую очередь относятся опыты по изучению растворимости и скорости растворения горных пород, которые используются для контроля результатов полученных путем гидро-

геохимических расчетов /раздел 5/. Иногда может потребоваться изучение размываемости пород, моделирование процесса образования провалов и т.п. Экспериментальные исследования, ввиду отсутствия единой методики их выполнения, проводятся по индивидуальным программам.

6.Д.07. Для определения возраста карстовых воронок и полостей могут быть применены минералого-петрографические исследования /изучение минералогических ассоциаций/, спорово-пыльцевой, а также палеонтологический, археологический и радиоактивный методы. Спорово-пыльцевой анализ образцов, взятых из отложений в карстовой воронке или полости, позволяет установить стадии смены растительности, происшедшие со времени образования воронки /заполнителя карстовой полости/ и определить ее возраст. Радиоактивный метод, пока не проверенный на практике, основан на определении количества изотопа углерода C^{14} в отложениях воронок и заполнителе карстовых полостей.

6.Е. Стационарные исследования

6.Е.01. При стационарных исследованиях в карстовых районах изучаются: режим подземных и поверхностных вод, образование провалов на поверхности земли, изменение воронок и других карстовых форм во времени, постепенные оседания земной поверхности, деформации зданий и сооружений, растворение горных пород в обнажениях и стенках карстовых полостей и др. Стационарные исследования рекомендуется вести комплексно. Должна быть обеспечена их преемственность и непрерывность на всех стадиях изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации.

6.Е.02. Наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод производятся в целях районирования территории по условиям развития карста (выделение зон по типам режима подземных вод), определения количества растворимой породы, выносимой из пределов карстового района за определенные периоды времени (см.раздел 5), прогноза развития карста в будущем, определения водопроницаемости и водовместимости пород в массиве, расчета водопритоков в котлованы зданий и сооружений и решения других вопросов.

6.Е.03. Наблюдения за режимом подземных вод ведутся на источниках, створах наблюдательных скважин, отдельных скважинах и колодцах, а также в пещерах и в других местах. Расположение, глубина и количество скважин в каждом створе устанавливаются в зависимости от геологических и гидрогеологических условий. При этом учитывается тип режима: прибрежный, водораздельный и т.д.

Для изучения взаимосвязи между различными водоносными горизонтами оборудуются кусты режимных скважин.

В состав режимных наблюдений входят: замеры уровней, определение химического состава и замеры температуры воды.

Для регистрации резких кратковременных колебаний уровня карстовых вод используются самописцы.

6.Е.04. Для изучения режима поверхностных вод и их связи с подземными водами используются данные гидрометслужбы об осадках, стоке, испарении, инфильтрации и т.д.; организуются гидрометрические посты и створы на реках и ручьях; проводятся наблюдения за атмосферными осадками и их химическим составом, испарением, инфильтрацией и т.д.; выполняются снегомерные съемки и наблюдения за снеготаянием; ведутся наблюдения за поглощением поверхностных вод понорами, трещинами и карстовыми воронками; осуществляются гидрометеорологические наблюдения в пещерах (в том числе за конденсацией влаги).

6.Е.05. При проведении наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод рекомендуется использовать геофизические методы. Особенно эффективно применение резистивиметрии для изучения химического состава вод.

В некоторых случаях может потребоваться производство опытов по запуску различных индикаторов для изучения изменений скорости движения подземных вод в различные сезоны и в разные годы.

6.Е.06. В результате исследований режима поверхностных и подземных вод устанавливаются: направление и скорость движения вод; их температура, химический состав, степень агрессивности по отношению к карстующимся породам; скорость насыщения агрессивных вод; длина пути, на котором они теряют свои агрессивные свойства; водопроницаемость и водовместимость пород в массиве; места питания и разгрузки подземных вод; взаимосвязь между водоносными горизонтами и места проникновения вод из одного горизонта в другой и т.д.

Изучается изменение перечисленных условий и факторов во времени. Составляется водно-солевой баланс и дается оценка и прогноз развития карста.

6.Е.07. С целью выяснения роли промышленных сточных вод и твердых отходов в развитии карста, в местах их сброса и хранения организуются специальные режимные исследования. Наблюдения ведутся за промышленными стоками (расход и химический состав) и за ореолом загрязнения подземных, а также поверхностных вод. В нескольких пунктах по направлению предполагаемого распространения ореола загрязнения бурятся режимные скважины, из которых регулярно отбираются пробы подземных вод и определяется их химический состав и агрессивность.

6.Е.08. Для инженерно-геологической оценки территорий, наряду с изучением режима подземных и поверхностных вод, проводятся стационарные наблюдения за проявлениями карста. В их состав прежде всего входит регистрация случаев образования новых карстовых провалов и их обследование (п.6.Е.09), кроме того ведутся наблюдения за другими проявлениями карста (п.п.6.Е.10 - 6.Е.13).

6.Е.09. Наблюдения за случаями образования новых карстовых провалов проводятся с целью оценки устойчивости территорий (см.раздел 4). Они организуются на базе инженерно-геологической съемки масштаба 1:5000 (или 1:25000, если исследования ведутся на большой площади со слабым развитием карста). Для обнаружения и обследования новых карстовых провалов периодически проводится маршрутная съемка территории, дающая наиболее полноценные результаты весной после таяния снега. Рекомендуется использовать также аэровизуальные наблюдения и повторные аэрофотосъемки. Постоянно поддерживается связь с местными организациями и населением, позволяющая получать своевре-

менную информацию о случаях новых карстовых провалов и обследовать эти провалы немедленно после их образования.

6.Е.10. Для выявления общих и локальных постепенных оседаний земной поверхности в карстовых районах проводятся многократные геодезические наблюдения. С этой целью закладывается сеть реперов. Наблюдения проводятся с интервалом полгода, год или несколько лет. Величина оседания территории и его скорость определяются путем сравнения данных за разные годы.

6.Е.11. Для наблюдения за деформациями зданий и сооружений устанавливаются репера, марки и маяки. Постепенный рост деформаций наблюдают также с помощью фотографирования с определенных точек. Для предупреждения о начале провальных деформаций создается система аварийной сигнализации.

6.Е.12. Наблюдения за изменением воронок и других карстовых форм во времени заключаются в их повторном измерении, описании и фотографировании с определенных точек. Иногда в карстовых воронках закладываются репера и периодически проводятся нивелировки.

6.Е.13. Интенсивность размыва и растворения пород в обнажениях атмосферными водами рекомендуется определять по методу З.А.Макеева. Для этой цели выбирается площадка размером 2 х 2 или 2 х 3 метра и половина ее закрывается на определенное время водонепроницаемым материалом. Величина и характер растворения (размыва) определяется сравнением через определенные промежутки времени состояния пород на закрытой и открытой частях площадки.

Скорость растворения пород в обнажениях и пещерах рекомендуется также определять с помощью повторных замеров свободного конца стержня, заглубленного в карстующуюся породу. Наблюдения проводятся в

районах развития гипсового и соляного карста, причем выполняются они не реже одного раза в месяц, а также после снеготаяния, паводка, сильных ливней и т.п. Вместо стержня можно использовать шпур, пробуренный в карстующихся породах и заполненный пластелином или воском. Изменение глубины шпура измеряется мерной спицей.

Непрерывные наблюдения за растворением и размывом поверхности сильно карстующихся пород (гипса, соли), по А.С.Девдариани, могут проводиться с помощью аблятографа, который представляет собой полушарие, системой тросов соединенное с записывающим механизмом. При снижении размываемой (растворяемой) поверхности прибор непрерывно фиксирует смещение полушария, касающегося породы.

6.Х. Камеральные работы

6.Х.01. Камеральные работы охватывают: сбор и систематизацию материалов предыдущих исследований, предварительную (текущую) и окончательную обработку материалов полевых исследований и составление отчета о проведенных работах.

6.Х.02. Перед полевыми работами надлежит ознакомиться с материалами геологических, геоморфологических, гидрогеологических, инженерно-геологических и других исследований, проводившихся ранее на данной территории. При этом изучаются условия развития карста, его распространение, характер и интенсивность; собираются сведения о случаях карстовых провалов, деформациях существующих зданий и сооружений и опыте строительства на данной территории.

Сбор и систематизация материалов сопровождаются составлением списков изученной литературы, производством выписок, копированием разрезов, схем, карт, графиков и т.д.

В итоге составляется предварительная карта районирования территории по степени закарстованности. Полученные материалы являются основой для проведения инженерно-геологических изысканий.

6.Х.03. Предварительная (текущая) камеральная обработка материалов производится в период проведения полевых исследований непосредственно на месте работ. Она включает. проверку полевой документации и первичную ее систематизацию, составление каталогов разведочных выработок, разверток шурфов, колонок буровых скважин и геологических разрезов, изучение вз тых образцов пород и керна; обработку гидрогеологических материалов; составление различных таблиц. схем и графиков.

Производится систематизация и отправка образцов пород и проб воды на анализы.

6.Ж.04. В период проведения полевых работ должна быть составлена карта фактического материала. На нее наносятся данные инженерно-геологической съемки (обнажения, выходы источников, места поглощения водотоков, карстовые формы, свежие провалы с датой их образования и т.д.), разведочные выработки и точки режимных наблюдений.

В черновом виде составляются геоморфологические, геолого-литологические, гидрогеологические, а также инженерно-геологические карты.

6.Ж.05. Окончательная камеральная обработка материалов имеет целью: 1/ обобщить результаты инженерно-геологических исследований и представить их в удобном для практического пользования виде; 2/ сделать выводы о возможности возведения намеченных зданий и сооружений на исследуемой территории; 3/ разработать рекомендации по борьбе с карстом.

6.Ж.06. Окончательная обработка материалов включает: проверку и уточнение материалов, подготовленных в период полевых работ, и их окончательную систематизацию; составление табличных и графических материалов; написание и оформление отчета.

6.Ж.07. В результате предварительной (текущей) и окончательной камеральной обработки материалов должны быть составлены следующие текстовые и графические материалы, прилагаемые к отчету:

- карта фактического материала;
- описание точек наблюдений инженерно-геологической съемки;
- каталог разведочных выработок, колонки буровых скважин и развертки шурфов с их описанием;
- таблицы и графики результатов полевых опытных работ и данных режимных наблюдений; паспорта режимных скважин;
- сводные ведомости лабораторных исследований горных пород и

вод, таблицы и графики, характеризующие состав подземных вод и горных пород, физико-механических свойств горных пород; описание шлифов;

- геологические и гидрогеологические разрезы, разрезы агрессивности подземных вод по отношению к карстующимся породам;

- каталоги карстовых воронок и других карстовых форм, разрезы и планы свежих провалов и наиболее характерных карстовых форм, таблицы и графики распределения воронок и провалов по величине, таблицы и графики с количественной и качественной характеристикой систем трещин;

- материалы геофизических исследований;

- геологическая, геоморфологическая и гидрогеологическая карты;

- карта рельефа кровли коренных пород, различные послойные карты и карта агрессивности подземных вод по отношению к карстующимся породам;

- карта инженерно-геологического районирования.

6.Ж.08. Отчет включает текстовую часть, текстовые и графические приложения и список использованной литературы.

Текстовая часть отчета содержит следующие главы:

а/ Введение. Указываются цели и задачи инженерно-геологических исследований, планово-экономические показатели, объем выполненных работ и методика их выполнения.

б/ История изучения района. Дается краткая история геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической изученности и рассматриваются все работы, в какой-либо мере касающиеся изучения карста

в/ Физико-географический очерк. Приводится краткая характеристика природных условий: рельеф, климат, гидрография.

г/ Геологический очерк. Особое внимание уделяется составу и мощности отложений, тектонической структуре и трещиноватости пород.

Указываются основные маркирующие горизонты, позволяющие установить точное положение кровли, подошвы и мощности закарстованной толщи. Дается анализ геологической истории района, а также изменений базисов эрозии основных водных артерий. Рассматривается соотношение залегания закарстованных пород и положения древних переуглубленных долин.

д/ Геоморфологический очерк. Описываются строение, возраст и генезис основных элементов рельефа (пойма, террасы, склоны водоразделов), приводятся данные о приуроченности к ним карстовых форм и роли последних в формировании рельефа.

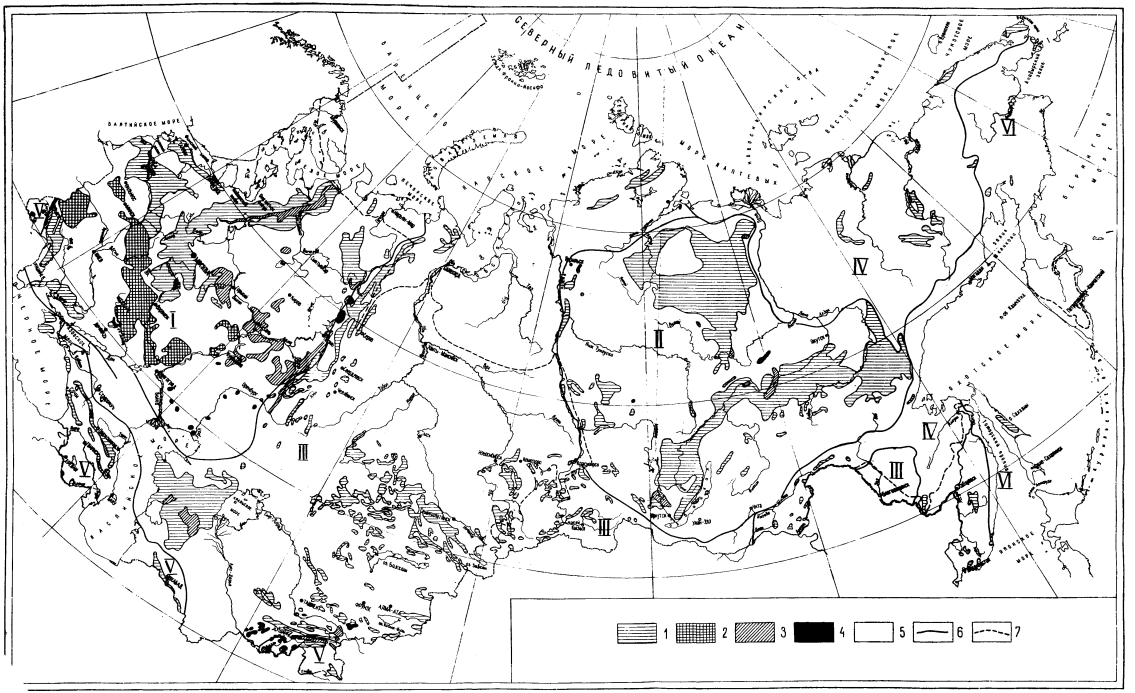
е/ Гидрогеология. Дается подробное описание подземных вод территории. Выделяются основные водоносные комплексы и горизонты с характеристикой состава и мощности водосодержащих отложений, циркуляции и химизма подземных вод, условий питания и разгрузки, взаимосвязи водоносных горизонтов и режима вод. Рассматривается растворяющая способность поверхностных и подземных вод по отношению к карстующимся породам и их роль в развитии карста.

ж/ В специальной главе дается описание поверхностных и подземных проявлений карста, закономерностей его развития и распространения, приводятся данные о степени закарстованности горных пород и плотности размещения поверхностных карстовых форм, а также данные регистрации свежих карстовых провалов. Приводится характеристика условий развития карста. Дается анализ истории развития карста и устанавливается его возраст. Дается количественная оценка устойчивости территории (см.раздел 4). На основе сведений о балансе и химическом составе поверхностных и подземных вод рассчитывается современная активность карста. В заключительной части главы дается инженерно-геологическое районирование территории по условиям и степени развития карста, прогноз его развития, инженерно-геологическая

оценка условий строительства и рекомендации по использованию территории и борьбе с карстом.

з/ Заключение или выводы.

6.Ж.09. Указанный объем камеральных работ касается крупных комплексных исследований карста. При частных исследованиях на небольших площадях объем камеральных работ и отчетных материалов может быть сокращен.



1965г.

СХЕМА РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ СССР ПО УСЛОВИЯМ СТРОИТЕЛЬСТВА В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ

Составили Зверева В.А. и Скалабан В.Д. под руководством Саваренского И.А.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

к схеме районирования территории СССР по условиям строительства в карстовых районах

I. Районы карбонатного карста. Растворение пород за период эксплуатации зданий и сооружений незначительно. Трещиноватость и водопроницаемость пород различны и неравномерны. Коэффициент фильтрации может достигать 100-200 м/сутки и более. Встречаются гнезда, линзы и прослои пород, ослабленных и разрушенных до состояния доломитовой и известковой муки. Среднегодовое количество провалов не превышает 0,1 случая на кв.км. Промышленное и гражданское строительство при правильном выборе площадей для застройки и соблюдении необходимых требований и мероприятий, как правило, осуществляется без существенных осложнений. Возможна активизация карста в результате искусственного изменения природных условий.

2. Районы мелового карста. Растворимость пород мала. Трещиноватость и водопроницаемость различны и неравномерны. Коэффициент фильтрации может достигать десятков м/сутки и более. Мел имеет высокую пористость, легко размывается, прочность его при увлажнении заметно уменьшается. Среднегодовое количество провалов (за некоторыми исключениями) не превышает 0,1 случая на кв.км. Строительство (за некоторыми исключениями) возможно без существенных осложнений. Возможна активизация карста в результате искусственного изменения природных условий.

3. Районы гипсового и карбонатно-гипсового карста. Растворение пород за период эксплуатации зданий и сооружений может быть значительным. Основная масса гипсов и ангидритов слабо трещиновата и практически водонепроницаема. Карст развивается по контактам с водопроницаемыми породами и редкой и неравномерной системе трещин.

Среднегодовое количество провалов нередко превышает 0,I случая на кв.км. Промышленное и гражданское строительство зачастую связано с значительными затратами на изыскания и защитные мероприятия. Возможна активизация карста в результате искусственного изменения природных условий.

4. Районы соляного, гипсово-соляного и карбонатно-гипсово-соляного карста. Вследствие пластичности, слабой трещиноватости и водонепроницаемости каменной соли развитие карста приурочено к кровле и краевым частям соляных залежей. Разработка месторождений оказывает большое влияние на развитие карста и может вызвать его активизацию. Активный соляной карст очень опасен: растворение пород идет чрезвычайно быстро, среднегодовое количество провалов нередко превышает 0,I случая на кв.км, происходят постепенные оседания значительных площадей, приводящие к массовым деформациям зданий и сооружений. Строительство рекомендуется выносить за пределы опасных участков с учетом перспектив разработки соляных месторождений.

5. Районы некарстовые.

6. Граница тектонических регионов.

I - Русская платформа

II - Сибирская платформа

III - Области палеозойской складчатости

IУ - Области мезозойской складчатости

У - Области кайнозойской складчатости Тетиса

УI - Области кайнозойской складчатости Тихоокеанского пояса.

7. Граница сплошной вечной мерзлоты.

Примечание: При составлении схемы для Европейской части СССР, Урала, Кавказа и Казахстана приняты за основу карты распространения закарстованных пород и карстовых явлений, составленные институтом ВСЕГИНГЕО (Родионов Н.В. и др.) с некоторыми дополнениями. При составлении схемы остальной части СССР использованы литературные источники, фондовые материалы Министерства геологии СССР и карта Пармузина Ю.П. "Карст на территории СССР".

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 2
I. Общие положения 4
2. Особенности условий строительства в карстовых районах 6
3. Задачи и состав изысканий I8
4. Методы оценки устойчивости территорий 28
5. Гидрогеохимические методы оценки возможности и интенсивности развития карста 33
6. Методические особенности производства изысканий 42
А. Инженерно-геологическая съемка 42
Б. Буровые работы 52
В. Опытные гидрогеологические работы 59
Г. Геофизические работы 64
Д. Лабораторные исследования 72
Е. Стационарные исследования 76
Ж. Камеральные работы 8I

Приложение: Схема районирования территории СССР по условиям строительства в карстовых районах.

Л-95353 подп.к печ.13/IV-67 Заказ № 624 Тираж 1000 экз
Бумага 60х90/16 д.л. цена 40 коп.

Производственные экспериментальные мастерские Госстроя СССР. Москва, 2-я Институтская ул., д. 7.

gost.e-ecolog.ru