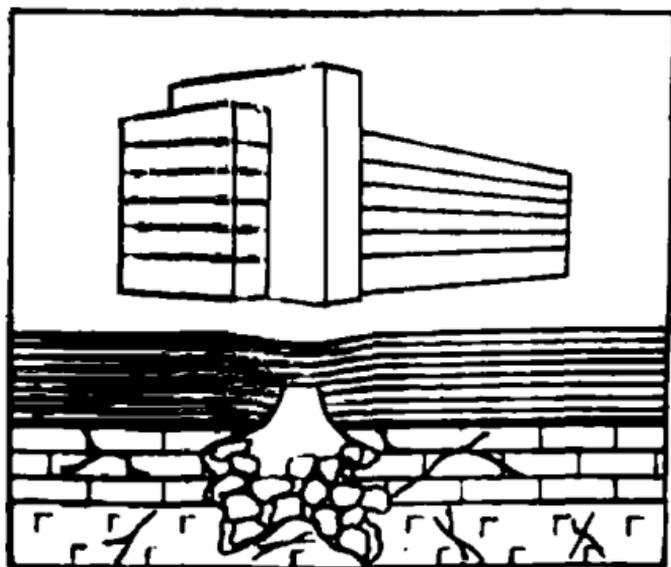


**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
(ПНИИС) МИНСТРОЯ РОССИИ**

И.А.Саваренский, Н.А.Миронов

**РУКОВОДСТВО
ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ
ИЗЫСКАНИЯМ
В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ КАРСТА**



Москва 1995

Производственно-практическое издание

Саваренский Игорь Александрович
Миронов Николай Алексеевич

**Руководство по инженерно-геологическим
изысканиям в районах развития карста**

Подписано к печати 2.03.95. Заказ N 377-95.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,7.
Уч.-изд. л. 10,3. Тираж 500 экз. Цена договорная

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИС)

Отпечатано в ПНИИС

Введение

Введение

Территории развития карста, широко распространенные в Российской Федерации, характеризуются особыми условиями изысканий и строительства. Карст проявляется в виде расширенных трещин, разнообразных полостей, разрушенных и уплотненных зон в толщах растворимых пород и покрывающих их отложений, в виде провалов и оседаний в толще грунтов и на земной поверхности, представляющих большую опасность для зданий и сооружений. Характерны также: крайне неоднородные и нередко весьма высокие водопроницаемость закарстованных пород, неравномерность распределения и режима поверхностного и подземного стока, возможность наличия очагов интенсивного поглощения поверхностных вод, утечек из водохранилищ и внеземных бассейнов, водохранилищ и горные выработки и котлованы. Изменяемые конной трудовой деятельностью человека изменения природной обстановки, в особенности изменения гидрогеологических условий (подтопление, откачки подземных вод и т. д.), могут привести к новой активизации карста, связанных с ним суффозионных процессов, провалов и оседаний в толще грунта и на земной поверхности.

К изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений в районах распространения карста предъявляются особые требования. Соблюдение этих требований - необходимое условие успешного строительного освоения этих территорий.

Изыскания на изыскываемых территориях должны быть комплексными, проводится на хорошей историко-геологической основе, с применением специальных методов, оборудования и приборов. Существенно возмещает объема инженерно-геологических работ по сравнению с обычными геологическими условиями. В том числе, зачастую требуется бурение до глубины 10-100 м, а иногда и более.

В карстовых районах особенно важно обеспечить своевременное, качественное, в необходимом комплексе и объемах выполнение изысканий для разных стадий проектирования - выбора площа-

док. разработки генпланов и проектов детальной планировки городов и поселков, технико-экономических обоснований строительства, схем генеральных планов и проектов промышленных и гражданских объектов. Это - важнейшее условие и весьма эффективный способ сокращения сроков последующих изысканий и проектирования, обеспечения надежности зданий и сооружений и снижения стоимости противокарстовых мер защиты при строительстве и эксплуатации.

Настоящее руководство разработано на основе научных исследований и обобщения практического опыта последних лет взамен изданных ПНИИИСом в 1967 году "Рекомендаций по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР"/68/. В нем кратко рассматриваются особенности инженерно-геологических условий, которые должны учитываться при выполнении изысканий. Определены задачи и состав инженерно-геологических изысканий для разных стадий проектирования. Излагаются требования к производству основных видов изыскательских работ, методические особенности их выполнения и методика инженерно-геологической оценки карстовых явлений.

При составлении руководства использованы материалы и предложения, полученные в разные годы от сотрудников ПНИИИС (В.П.Хоменко, В.В.Толмачев, Е.Г.Карпов, А.Н.Боголюбов, Н.П.Боголюбова, А.Н.Ильин, И.Г.Миндель) и от многих организаций: ИМЦ стройизыскания (В.В.Лисицын), УЭМИИТ (И.Н.Шаклеин, А.А.Кириченко), ЗапУралТИСИЗ (В.Г.Камалов, Н.С.Лиханов, В.И.Мартин, А.И.Травкин), НижегородТИСИЗ, ВерхнеКамТИСИЗ, ТулаТИСИЗ, Фундаментпроект, Гидропроект, НИИОСП, ЦНИИС, СОКЗДОРНИИ, Мосгоргеотрест, Атомтеплэлектрпроект, Пермский гос. университет, УДН им. П.Лумумбы (Р.С.Везбородов, Л.В.Тихомиров), отдел по делам строительства и архитектуры при Дзержинском горисполкоме Нижегородской области (В.Л.Беляев) и т. д. Раздел "Гидрогеохимические методы оценки возможности и интенсивности развития карста" написан В.П.Зверевым (ИГЦАН).

Замечания просьба направлять по адресу: 105058, ГСП, Москва, Окружной проезд, 18, ПНИИИС. Тел. 369-75-23.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Руководство распространяется на инженерно-геологические изыскания для проектирования и строительства новых, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих промышленных, жилищно-гражданских и сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений в районах развития карста.

Оно не распространяется на изыскания для строительства специальных объектов (линейных, гидротехнических, подземных, мелиоративных и т.п.).

1.2. Районы развития карста (карстовые районы) характеризуются особыми природными условиями изысканий и строительства (пп. 2.1 и 3.1). При изысканиях на этих территориях следует руководствоваться действующими нормативными и методическими документами и настоящим руководством^{х)}.

1.3. Карстом называется совокупность геологических явлений в земной коре и на ее поверхности, вызванных химическим растворением горных пород и выраженных в образовании в земной коре пустот, в разрушении и изменении структуры и состояния пород, в создании особого характера циркуляции и режима подземных вод и характерного рельефа местности и режима гидрографической сети /61/.

1.4. 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 (например, так называемого глиняного карста, обусловленного легкой размываемостью глинистых пород) и термокарста (связанного с оттаиванием многолетнемерзлых пород) настоящее руководство не распространяется.

1.5. Отнесение районов строительства к карстовым или некарстовым производится на основании геологических материалов,

^{х)} В руководстве приводятся цитаты и ссылки на пункты СНиП 1.02.07-87 /1/, выделенные полужирным шрифтом. См., например, п. 1.6(3.193).

инженерии в центральном и территориальных фондах, производственных геологических объединениях, предприятиях, трестах инженерно-строительных изысканий, научно-исследовательских институтах, карстовых лабораториях и станциях или по данным предварительного обследования. При этом руководствуются также обзорными картами распространения закарстованных пород и карстовых явлений.

1.6(3.193). При изысканиях в карстовых районах должны строго соблюдаться требования по охране окружающей природной среды, предусматриваться и осуществляться мероприятия, не допускающие таких нарушений геолого-гидрогеологической обстановки бурением, оптико-фильтрационным и другими работами, которые могут привести к опасной активизации карста, связанных с ним суффозионных процессов, провалов и оседаний в толще грунтов и на земной поверхности. Обязателен ликвидационный тампонаж скважин глиной или цементным раствором и строгий контроль за своевременностью и качеством его выполнения (см. п. 4.77).

2. ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ

2.1. При выполнении инженерно-геологических изысканий в карстовых районах необходимо учитывать:

- а) возможность возникновения и развития карстовых деформаций грунтов основания и земной поверхности (пп. 2.2-2.10);
- б) неравномерно пониженную несущую способность вакарстованных пород и возможность наличия ослабленных зон и линз в толще покрывающих грунтов (п. 2.11);
- в) особенности гидрологических и гидрогеологических условий, связанные с карстом (п. 2.12);
- г) возможность активизации развития карста и связанных с ним явлений в результате хозяйственной деятельности человека (п. 2.24).

2.2. Выделяются следующие типы карстовых деформаций грунтов основания и земной поверхности:

- а) провалы (пп. 2.3-2.7);
- б) локальные оседания (п. 2.8);
- в) общие оседания территории (п. 2.9);
- г) коррозия поверхности карстующихся пород (п. 2.10).

Нередко развиваются комбинированные и промежуточные типы деформаций грунтов основания и земной поверхности.

2.3. Карстовые провалы, вследствие внезапности их возникновения, представляют основную опасность для зданий и сооружений в карстовых районах.

Необходимо различать следующие генетические типы провалов: карстово-обвальные, карстово-суффозионные и смешанные (карстово-суффозионно-обвальные). Первые возникают при наличии на сравнительно небольшой глубине достаточно крупной полости с ослабленной, готовой обрушиться кровлей. Вторые - происходят в результате перемещения фильтрующейся водой рыхлого материала из покрывающих пород в карстовые полости и расширенные трещины. 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.

Основные условия и процессы механизма провалообразования приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Типы провалов | Основные условия образования провалов | Основные процессы механизма карстового провалообразования |
|-----------------------|---|---|
| Карстово-обвальные | 1. Наличие карстовой полости 2. Достижение полостью предельного состояния ¹⁾ | 1. Последовательное, по мере развития полости, формирование сводов обрушения с образованием в покрывающей толще обвальных полостей или разуплотненных зон 2. Образование провала на поверхности земли |
| Карстово-суффозионные | 3. Наличие полости или сильнотрещиноватой зоны в карстующихся породах 4. Покрывающая толща сложена нескальными грунтами 5. Наличие вертикальной нисходящей фильтрации воды в породах покрывающей толщи 6. Достижение скоростью фильтрации критической величины ²⁾ | 3. Разрушение и перемещение пород покрывающей толщи в трещины и полости под действием гидродинамических и гравитационных сил 4. Формирование в породах покрывающей толщи разуплотненных зон и суффозионных полостей 5. Последовательное формирование обвальных полостей или разуплотненных зон над формами, перечисленными в п. 4 П. 2 |
| Смешанные | Пп. 1, 2, 4, 5, 6 | Пп. 1, 3, 4, 5 П. 2 |

Примечания:

¹⁾ Под предельным состоянием понимается соотношение между формой, размерами полости, мощностью и свойствами вышележащих пород и горным давлением, при котором происходит обрушение кровли полости, проявляющееся на поверхности земли или под фун-

давлением в виде провала.

*) Под критической величиной скорости фильтрации понимает ся такая ее величина, при которой происходит разрушение структуры грунта под действием гидродинамических сил.

(Таблицу составил В.П.Хоменко)

2.4. Подготовка провалов происходит на глубине длительное время. В ней принимает участие комплекс процессов: растворение, выветривание, размокание, набухание, разжижение, размыв горных пород, вынос рыхлого материала подземными водами, перераспределение горного давления, растрескивание, отслаивание, оседание и обрушение пород кровли карстовых полостей. В результате, карстовые полости растут и приближаются к земной поверхности до тех пор, пока не будут достигнуты критическое положение и состояние свода. Тогда происходит провал или оседание на земной поверхности или под фундаментом (п. 2.3).

Механизм подготовки и образования провала зависит от строения, состава, свойств карстующейся и покрывающей толщи (п. 2.23) и от гидрогеологических условий.

2.5. На земной поверхности провальный процесс протекает очень быстро. Обычно он начинается с внезапного появления оконтуривающих трещин, по которым происходит обрушение грунта и образуется воронка или отверстие (колодец) небольшого диаметра. Затем стенки воронки (колодца) обваливаются, 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 большом диаметре (около 20-30 м) - порядка 15-30 минут, при очень большом диаметре (50 м и более) - 1-3 часа и более.

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

Явления, предшествующие образованию провалов, могут быть использованы для прогноза их возникновения, а время формирования провальной воронки на поверхности земли - для осуществления экстренных мероприятий по эвакуации людей и материальных ценностей.

2.6. Размеры провалов вследствие влияния случайных факторов подчиняются вероятностно-статистическим закономерностям, причем в большинстве районов небольшие провалы случаются значительно чаще, чем крупные (п. 5.93, рис. 6). Каждый район или участок характеризуется своими параметрами распределения размеров провалов, зависящими от местных инженерно-геологических условий. В одних районах (или участках) диаметры провалов не превышают 5-10 м, в других - достигают 50 м, в отдельных случаях, даже 100-300 м.

Глубина провалов обычно колеблется от долей метра до нескольких метров, в некоторых районах - может достигать нескольких десятков метров. Для провальных воронок в маловлажных песчаных грунтах характерно отношение глубины к диаметру 1:4 - 1:2. В связных глинистых грунтах нетекучей консистенции это отношение увеличивается, в водонасыщенных песчаных грунтах - уменьшается.

Вокруг провалов нередко отмечается ослабленная зона с пониженной несущей способностью, концентрическими трещинами и небольшими оседаниями грунта. Ширина этой зоны зависит от типа грунта, его состояния и свойств, глубины провала и крутизны его стенок.

2.7. Провалы возникают поодиночке или группами. Они бывают первичные, происходящие на новом месте, и повторные. В результате первичных - образуются новые карстовые воронки, а повторные провалы - омолаживают воронки, причем могут повторяться многократно.

Образовавшаяся в результате провала (или омоложенная повторным провалом) воронка в дальнейшем претерпевает изменения под воздействием силы тяжести, поверхностных вод, ветра и других факторов. Со временем склоны ее выполаживаются, диаметр увеличивается, глубина уменьшается (п. 4.41).

2.8. Локальные оседания грунта, слагающего земную поверхность, по сравнению с провалами развиваются значительно медленнее, постепенно - время их формирования от нескольких часов или дней (быстрые оседания) до нескольких лет. Поэтому они для зданий и сооружений представляют меньшую опасность. В результате локальных оседаний грунта на земной поверхности формируются прогибы, впадины, воронки. Их поперечники - от нескольких метров до нескольких десятков метров. Глубина - обычно от несколь-

ких сантиметров до 1-2 метров, иногда достигает нескольких метров. Локальные оседания имеют механизм образования в основном тот же, что и провалы, но отличаются более медленным, спокойным характером процесса. Они могут предшествовать образованию провалов. Нередко чередуются с повторными провалами. При оценке устойчивости территорий к локальным оседаниям следует подходить в соответствии с п. 5.98.

2.9. Общие оседания территории - длительный геологический процесс. Развиваются неравномерно по площади, в основном медленно. Опасны для зданий и сооружений в районах активного соляного карста (п. 2.18). В этих районах в естественных условиях скорость оседания имеет величину порядка 1 мм/год, а в случаях техногенной активизации достигает нескольких сантиметров и даже иногда нескольких десятков сантиметров в год. В остальных карстовых районах общие оседания земной поверхности имеют меньшую скорость и учитываются только при проектировании особо ответственных зданий и сооружений, чувствительных к осадкам основания (п. 5.99).

Общие оседания земной поверхности происходят в результате сдвижения горных пород над вакарстованными зонами, в особенности над подвергающейся коррозии (растворению) кровлей карстующихся пород, а также в результате постепенного выноса рыхлого материала из покрывающих нерастворимых пород по карстовым трещинам и полостям.

2.10. Коррозия поверхности карстующихся пород выражается в разьедании их кровли. При наличии движения вод, обладающих агрессивностью, развивается быстро в камешной соли (пп. 2.18, 5.135), а в остальных породах - в основном медленно (пп. 2.15, 2.17, 5.136). Может происходить быстрый размыв мела (п. 2.16).

2.11. Кроме возможности провалов и оседаний, в карстовых районах принимается во внимание наличие поверхностных и погребенных карстовых форм рельефа (воронки, пещин и т.п.), нередко заполненных отложениями с повышенной пусущей способностью, в том числе торфом, илом и пыльными грунтами.

Если вакарстованные породы попадают в сферу распространения нагрузок от зданий и сооружений (в активную зону основания), оценивается их пусущая способность. При этом учитывается неравномерная трещиноватость, наличие зон ослабления механических свойств пород вследствие выщелачивания и наличие карстовых

полостей (заполненных или незаполненных).

Учитывается также возможность наличия карстовых нарушений в нерастворимых горных породах активной зоны основания (полости заполненные или незаполненные, разуплотненные зоны, смещения и разрывы).

2.12. Гидрологические и гидрогеологические условия в карстовых районах характеризуются существенными особенностями (крайне неоднородная и нередко весьма высокая водопроницаемость закарстованных пород, особенности распределения поверхностного и подземного стока, урвненного 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.

2.13. 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 (пп. 2.14-2.18) и по особенностям залегания карстующихся пород (пп. 2.19-2.23), для разных тектонических регионов, климатических и геокриологических зон и т. д.

2.14(3.183). При изысканиях необходимо выделять три типа карста: карбонатный (известняк, мел, доломит и др.), сульфатный (гипс, ангидрит), и соляной (каменная соль), см. табл. 2 и пп. 2.15, 2.17, 2.18. Обязательно также следует выделять в карбонатном карсте меловой подтип (п. 2.16).

2.15. Карбонатный карст распространен наиболее широко, но развивается значительно медленнее сульфатного и соляного.

Растворимость пород мала (в дистиллированной воде при 25°C 0,015 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 трещинова-

Таблица 2

Типы карста, выделяемые по литологическому составу и растворимости карстующихся пород

| Тип карста | Основные карстующиеся породы | Растворимость карстующейся породы по ГОСТ 25100-82 /4/ |
|-----------------------|--|--|
| Карбонатный | Известняк Доломит Мел Обломочные с карбонатным цементом Мрамор | Труднорастворимые |
| Сульфатный (гипсовый) | Гипс, ангидрит | Среднерастворимые |
| Соляной | Каменная соль, калийные соли | Легкорастворимые |

тости и закарстованности коэффициент фильтрации может достигать 100 - 200 м/сут и даже более.

Наряду с развитием карста по трещинам, нередко характерно (особенно для доломитов) растворение породы по порам, образование мелких многочисленных каверн, увеличение пористости и в конечном счете разрушение породы до состояния щебня и рыхлой муковидной массы (доломитовой и известковой муки). Несущая способность таких пород неравномерно понижена, кроме того возможен суффозионный вынос доломитовой и известковой муки.

Подземные и поверхностные проявления карста разнообразны, на сильнозакарстованных участках многочисленны. Однако в покрытом карсте, (пп. 2.21-2.23) закарстованность земной поверхности нередко бывает намного меньше подземной закарстованности. Широко распространены явления поглощения поверхностных вод. Провалы происходят нечасто. Даже на сильнозакарстованных участках средняя частота их в естественных условиях как правило не превышает 0,1 случая на 1 км² в год.

Промышленное и гражданское строительство в районах к.ц.к.и.

натного карста, при правильном выборе площадей для застройки и выполнении необходимых требований и мероприятий, возможно без существенных осложнений. Встречаются значительные затруднения при строительстве прудов и водоемов.

В случаях неблагоприятного воздействия техногенных факторов карстовые, суффозионные и обвальные процессы могут резко активизироваться (п. 2.24).

2.16. Меловой карст является подтипом карбонатного, но сильно отличается особенностями, связанными со свойствами мела и мелоподобных пород. Распространен достаточно широко. В основном развивается медленно.

Растворимость мела, как и других карбонатных пород, мала (п. 2.15). 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.

В районах распространения мела и мелоподобных пород преобладают слабозакарстованные территории с немногочисленными, преимущественно некрупными подземными и поверхностными проявлениями карста. Провалы обычно происходят редко и невелики по размерам. Встречаются и сильнозакарстованные участки. В том числе, известны участки с часто возникающими провалами значительных размеров.

Больших затруднений для промышленного и гражданского строительства меловой карст обычно не создает, если правильно учитываются его особенности. Однако известны значительные затруднения при строительстве прудов и водоемов, связанные с большими потерями воды, усугубляющимися суффозионным выносом материала и образованием карстово-суффозионных провалов на их дне. Реже встречаются осложнения при строительстве промышленных предприятий и гражданских объектов.

В случаях неблагоприятного воздействия техногенных факторов карстовые, суффозионные и обвальные процессы могут резко активизироваться (п. 2.24).

2.17. Сульфатный карст часто встречается в сочетании с

карбонатным. Распространен достаточно широко. Развивается намного быстрее, чем карбонатный.

Растворимость пород значительна (в дистиллированной воде при 25°C - 2,1 г/л CaSO_4 или 2,6 г/л $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 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 0,1 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 сильнозакарстованных участках может достигать 100 - 200 м/сут и даже более.

В районах сульфатного и сульфатно-карбонатного карста значительные площади занимают сильнозакарстованные участки с многочисленными подземными и поверхностными карстопоявлениями. Провалы - обычное явление. Их средняя частота на сильнозакарстованных участках нередко превышает 0,1 случая на 1 км² в год.

Ввиду опасности провалов, а также быстрых локальных оседаний земной поверхности, строительство в районах сульфатного и сульфатно-карбонатного карста может быть связано со значительными затратами на изыскания и противокарстовые мероприятия.

В выборе и оценке площадей для застройки нужно подходить очень осторожно. В частности, следует учитывать, что отсутствие полостей и монолитность гипсов и ангидритов в какой-либо скважине или группе скважин еще не говорит об отсутствии полостей в непосредственной близости.

Сульфатный и сульфатно-карбонатный карст еще более чувствителен к техногенным воздействиям, чем карбонатный и меловой (п. 2.24).

2.18. Соляной карст преимущественно встречается в сочетании с сульфатным, а иногда и с карбонатным. При строительстве с ним приходится сталкиваться лишь в районах соляных месторождений. Ввиду очень высокой растворимости каменной соли (318 г/л

при 25°C) 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. Защитную 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 которых нередко больше 0,1 - 1,0 случая на 1 км²), иногда очень крупные, происходят общие постепенные оседания значительных площадей земной поверхности, формирующие мутьды оседания и 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.

2.19. По особенностям залегания карстующихся пород выделяются следующие типы карста:

А. По отношению к земной поверхности.

1) Открытый карст:

- карстующиеся породы лежат непосредственно на поверхности.

2) Покрытый карст:

а) карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых, водонепроницаемых пород;

б) карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых, водопроницаемых пород.

Б. По отношению к уровню подаемых вод.

1) Карстующиеся породы залегают в зоне аэрации.

2) Карстующиеся породы залегают в зоне постоянного водонасыщения.

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

Примечание: Принята классификация Д.С.Соколова, с измене-

нием: термин "скрытый карст" заменен термином "покрытый карст"

2.20. 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 провалы и оседания наблюдаются лишь в понижениях рельефа, заполненных нескальными грунтами. 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 практически 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.

2.21. Районы покрытого карста, в которых карстующиеся породы перекрываются нерастворимыми водонепроницаемыми породами, имеют следующие особенности (см. также п. 2.23). Толща водонепроницаемых пород в той или иной степени препятствует развитию карста и связанных с ним явлений. Производство инженерно-геологических изысканий затрудняется в связи с залеганием на глубине необходимого объекта изучения - карстующихся пород. 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 водонепроницаемых пород, удаленные от базисов дренирования подземных вод. В случаях достаточной мощности и водонепроницаемости покрывающей толщи могут быть не опасны также участки на склонах и дне долин. Водонепроницаемость покрывающей толщи облегчает мероприятия по отводу поверхностных и промышленных вод с целью предотвращения их проникновения в карстующиеся породы.

2.22. Районы покрытого карста, в которых карстующиеся по-

роды перекрываются нерастворимыми водопроницаемыми породами, имеют следующие особенности (см. также п. 2.23). Толща водопроницаемых пород не является препятствием для развития карста и связанных с ним явлений. В то же время она затрудняет производство инженерно-геологических изысканий. Получить в результате изысканий полную гарантию какого-либо участка от карстовых провалов крайне трудно (если покрывающая толща имеет значительную мощность и сложена нескальными породами).

2.23. В районах покрытого карста, кроме водопроницаемости нужно учитывать мощность покрывающих пород и их прочность. В прочных породах преобладают провалы и оседания, обусловленные обрушением кровли карстовых полостей, а в несвязных - карсто-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 для зданий и сооружений (например, с применением буровых свай-стоек). С увеличением мощности покрывающих нескальных отложений, особенно если они песчаные, понижается эффективность инженерно-геологических изысканий и точность оценки устойчивости территорий.

2.24. Необходимо учитывать, что изменение природной обстановки в результате хозяйственной деятельности человека может привести к опасной активизации карста и связанных с ним процессов, или наоборот, замедлить их развитие.

Изменение гидродинамических условий, чаще всего связанное с гидротехническими сооружениями, разработкой месторождений полезных ископаемых и эксплуатацией водозаборов подземных вод, может привести к резкой активизации карсто-суффозионных процессов. При этом даже в районах карбонатного карста в отдельные периоды ежегодное количество карсто-суффозионных провалов иногда достигает нескольких случаев на 1 км^2 . Кроме того, в районах сульфатного 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.

3.1 (3.178). При инженерно-геологических изысканиях в районах развития карста необходимо устанавливать:

геологические, гидрогеологические и геоморфологические условия развития карста;

распространение, характер и интенсивность проявления карста, историю и закономерности его развития;

районирование территории по условиям развития карста, характеру и степени закарстованности;

оценку устойчивости территории относительно карстовых провалов и оседаний;

особенности физико-механических свойств грунтов и гидрогеологических условий, связанные с карстом;

оценку развития карста под влиянием природных и техногенных факторов в период строительства и эксплуатации объектов;

рекомендации инженерно-геологического характера по рациональному использованию территории и противокарстовым мероприятиям.

3.2. При изысканиях в карстовых районах применяются следующие виды работ:

сбор, анализ и обобщение материалов прошлых лет (в том числе материалов по опыту строительства и эксплуатации зданий и сооружений);

инженерно-геодезические работы;

инженерно-гидрометеорологические работы;

дешифрирование аэрокосмофотоматериалов и аэровизуальные наблюдения;

пикетное карстологическое обследование местности (маршрутные наблюдения);

буровые и горные работы;

геофизические исследования;
гидрогеологические исследования;
полевые исследования грунтов, включая зондирование и пенетрационно-каротажные исследования;
лабораторные работы и экспериментальные исследования;
стационарные исследования;
камеральная обработка материалов;
прочие работы (специальное обследование существующих зданий, сооружений и грунтов их оснований, инженерно-геологическое обследование котлованов, почвенные и ботанические исследования).

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

3.3. При планировании, составлении программы и выполнении изысканий нужно учитывать следующие обстоятельства: а) развитие карста и связанных с ним явлений (суффозионных, провальных и др.) определяется комплексом многих факторов (включая техногенные), сложно взаимосвязанных между собой; б) для распространения и развития карста характерна большая неравномерность в пространстве и во времени; в) зона формирования опасных для зданий и сооружений карстовых полостей нередко залегает на значительной глубине, требуется бурение специально предназначенных для изучения карста скважин в нескальных и скальных породах, глубиной зачастую до 50-100 м, а иногда и более; г) закономерности распространения и развития карста не могут быть выявлены при выполнении изысканий на отдельных небольших площадках.

3.4. В карстовых районах особенно важно соблюдать принцип "проведения инженерно-геологических изысканий в поэтапной технологической схеме, когда от этапа к этапу уменьшается площадь, на которой производятся работы, но увеличиваются требования к их точности и детальности" /78/.

3.5. Сбор, анализ и обобщение материалов обязательны при любых без исключения инженерно-геологических изысканиях в карстовых районах. Они должны предшествовать каждому этапу изысканий, так как на каждом этапе ставятся новые, отличные от предшествующего этапа задачи. Во-вторых, необходимо собрать и ис-

пользоваться новые данные, которых не было при выполнении работ предыдущего этапа. При сборе и обобщении материалов рекомендуется проводить карстологическое дешифрирование аэрокосмоматериалов и изучение крупномасштабной топоосновы.

3.6(3.179). В состав инженерно-геологических работ для предпроектной документации и каждой стадии проектирования должны входить маршрутные наблюдения с карстологическим обследованием местности и геофизические исследования, которые необходимо выполнять в сочетании с другими видами работ.

3.7(3.180). При изысканиях для предпроектной документации следует устанавливать и дополнительно к пп. 1-3 рекомендуемого приложения 9 отражать в отчете :

наличие провалов, оседаний, воронок и других проявлений карста на земной поверхности;

условия залегания карстуемых пород и оценку степени их закарстованности ;

гидрогеологические условия развития карста;

границы участков различной степени закарстованности;

предварительную оценку развития карста и его опасности для проектируемого строительства.

Примечания:

1) В пп. 1-3 приложения 9 СНиП 1.02.07-87 определены состав и содержание технического отчета по изысканиям для предпроектной документации в обычных геологических условиях.

2) Должны быть изучены и оценены не только карстующиеся породы, но и вся вышезалегающая толща, для которой тоже необходимо установить геологический разрез, литологический состав, состояние пород, наличие подземных проявлений карста.

3.8. Для обоснования схем и проектов районной планировки требуется проводить сбор, анализ и обобщение данных о карсте и условиях его развития по литературным и фондовым материалам. При этом используются обзорные карты распространения карстующихся пород и карстовых явлений, материалы геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических съемок, детальных исследований карстовых явлений прошлых лет, а также региональные описания карста.

В результате изучения литературных и фондовых материалов должно быть произведено инженерно-геологическое районирование по условиям, характеру и степени развития карста для схем рай-

онной планировки в масштабе 1:500000 - 1:200000, а для проектов районной планировки в масштабе 1:200000 - 1:50000, и дана инженерно-геологическая оценка выделенных территорий в соответствии с пп. 5.9-5.12 настоящего руководства. В случае недостаточности литературных и фондовых материалов для указанного районирования и оценки территории, следует выполнить дополнительные инженерно-геологические исследования.

3.9. Для выбора площадок и разработки ТЭО (ТЭР) строительства предприятий, зданий и сооружений должны выполняться сбор, анализ и обобщение материалов о природных условиях и карсте района и инженерно-геологическая рекогносцировка территорий намеченных вариантов размещения площадок строительства и предполагаемых направлений трасс внеплощадочных коммуникаций, а для ТЭО строительства крупных, особо крупных или уникальных объектов в карстовых районах требуется выполнение инженерно-геологической съемки масштаба 1:25000 - 1:5000 (табл. 3).

3.10. В состав инженерно-геологической рекогносцировки обязательно должно входить маршрутное карстологическое обследование местности, рекомендуется максимально использовать возможности применения аэрокосмофотоматериалов и аэровизуальных наблюдений, при необходимости выполняется минимально требующийся объем буровых и других работ.

3.11. Для генеральных планов городов и поселков, проектов планировки промышленных зон городов, проектов детальной планировки, проектов застройки (на стадии - проект), схем и генеральных планов промышленных узлов, проектов промышленных и гражданских объектов и для других, аналогичных вышеперечисленным, проектно-планировочных и проектных работ в карстовых районах должны проводиться сбор, анализ и обобщение материалов прошлых лет и инженерно-геологическая съемка. Масштаб инженерно-геологической съемки следует назначать в соответствии с табл. 3.

По аналогии с таблицей следует также назначать масштаб инженерно-геологической съемки для проектно-планировочных и проектных работ упомянутых выше в настоящем пункте, но не включенных в таблицу.

Таблица 3

| Проектная задача | Масштаб инженерно-геологической съемки |
|---|--|
| Генеральный план города (поселка) с населением: | |
| 500 тыс.чел. и более | 1:50000 - 1:25000 |
| от 50 до 500 тыс.чел. | 1:25000 - 1:10000 |
| менее 50 тыс.чел. | 1:10000 - 1:5000 |
| Проект детальной планировки | 1:5000 |
| Проект застройки микрорайона, квартала, градостроительного комплекса, участка группы жилых и общественных зданий: | |
| стадия - проект | 1:5000 - 1:2000 |
| ТЭО строительства крупного, особо крупного или уникального промышленного или гражданского объекта | 1:25000 - 1:5000 |
| Проект промышленного или гражданского объекта | 1:5000 - 1:2000 |

Примечания: 1) Масштаб съемки выбирается в пределах указанных в таблице в зависимости от размеров территории, степени ответственности проектируемого строительства, сложности условий развития карста и степени закарстованности территории. 2) Если съемка требуемого масштаба уже была выполнена в прошлые годы - см. п. 3.16.

3.12(3.181). При изысканиях для проекта необходимо определять и дополнительно к пп. 4 и 5 рекомендуемого приложения 9 приводить в отчете :

условия залегания, минеральный и литолого-петрографический состав карстующихся пород ;

наличие древних погребенных долин;

структурно-тектонические условия, наличие ослабленных тектонических зон;

трефиноватость карстующихся, покрывающих и подстилающих пород;

гидрогеологические условия в толще покрывающих, карстующихся и подстилающих пород, гидрогеологические параметры, химический состав, температуру, режим подземных вод, гидродинамическую и гидрохимическую зональность, условия питания, движения и разгрузки, взаимосвязь водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами, агрессивность вод по отношению к карстующимся породам;

подземные проявления карста - расширенные растворением трещины, каверны, разнообразные полости, их размеры, степень заполнения и состав заполнителя по данным пройденных выработок, разрушенные и разуплотненные зоны в толще карстующихся и покрывающих пород, нарушения залегания горных пород в результате их сдвижения и обрушения над карстовыми полостями, разрушенными и разуплотненными зонами и другие проявления карста; эти данные необходимо отображать на прилагаемой к отчету карте подземной закарстованности;

проявления карста на земной поверхности - карры, поноры, воронки, сложные карстово-эрозийные впадины (котловины, овраги, долины и др.), мульды оседания, карстовые останцы и другие формы рельефа, входы в пещеры, выходы карстовых полостей в обнажениях, источники, очаги и участки поглощения поверхностных вод закарстованными горными породами, карстовые провалы и оседания земной поверхности и связанные с ними деформации зданий и сооружений; эти данные следует отображать на прилагаемой к отчету карте проявлений карста на земной поверхности (в масштабе карты или внемасштабными знаками);

опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений и применения противокарстовых мероприятий;

оценку изменений природных условий при строительстве и эксплуатации проектируемых объектов и техногенного влияния на активизацию карста;

рекомендации по предотвращению опасных для существующих и проектируемых зданий и сооружений последствий изменений геологической среды.

Примечания:

1) В пп. 4 и 5 приложения 9 СНиП 1.02.07-87 определены состав и содержание технического отчета по изысканиям для проекта (рабочего проекта) строительства в обычных геологических условиях.

2) См. примечание 2 к п. 3.7.

3) Должны быть выполнены все требования п. 3.1(3.178), в том числе - районирование, оценка устойчивости территории и др.

3.13. Инженерно-геологическая съемка представляет собой основной комплекс работ по изучению и оценке инженерно-геологических условий территории строительства. В результате ее выполнения должны быть решены все задачи, предусмотренные пунктом 3.1, с детальностью, определяемой масштабом съемки, а также должны быть выполнены требования пунктов 3.7 и 3.12 с учетом проектной задачи.

Результаты инженерно-геологической съемки должны быть достаточными для принятия архитектурно-планировочных решений, обеспечивающих рациональное использование территории, выбора наиболее эффективного комплекса противокарстовых мероприятий, типов и конструкций зданий и сооружений с рациональным использованием типовых проектов, выполнения необходимых технико-экономических расчетов и определения стоимости строительства, определения задач, состава и объемов изысканий на последующих этапах проектирования.

3.14. Необходимо стремиться к максимальной комплексности инженерно-геологической съемки, то есть к включению в ее состав всех видов работ, перечисленных в п. 3.2.

При выполнении съемки нужно сочетать метод ключевых участков и кондиционное изучение всей остальной территории.

3.15. Границы выполнения инженерно-геологической съемки и инженерно-геологической рекогносцировки должны назначаться с учетом последующих очередей строительства и перспектив дальнейшего развития объекта, с учетом необходимости выявления комплекса природных (естественных и техногенных) факторов, влияющих на формирование и развитие карста на территории проектируемого строительства, и получения данных для оценки ее устойчивости. При этом, за пределами территории проектируемого строительства съемка может производиться в меньшем масштабе или может быть заменена инженерно-геологической рекогносцировкой.

3.16. Если на территории проектируемого строительства ин-

инженерно-геологическая съемка требуемого масштаба и кондиций уже была выполнена в прошлые годы, необходимо выявить естественные и техногенные изменения природных условий и, в том числе, изменения факторов карстообразования, распространения и развития карста, происшедшие за истекшее время. Для этого нужен сбор, анализ и обобщение новых материалов о природных условиях, карсте и опыте строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Может потребоваться повторное карстологическое обследование территории строительства (рекогносцировочное или сплошное), получение и дешифрирование новых аэрокосмоматериалов, аэровизуальные наблюдения и даже выполнение дополнительных буровых и других работ. Особенно важно выявить случаи новых карстовых провалов, если они имели место.

3.17(3.184). При изысканиях для рабочей документации следует уточнять и дополнительно к пп. 6-8 рекомендуемого приложения 9 и п. 3.181 отражать в отчете: степень и характер закарстованности, инженерно-геологические условия развития карста на участках строительства отдельных зданий и сооружений, оценку устойчивости участков относительно провалов и оседаний грунта и земной поверхности, ранее выданные рекомендации по противокарстовым мероприятиям и исходные данные для их проектирования.

Примечание: В пп. 6-8 приложения 9 СНиП 1.02.07-87 определены состав и содержание технического отчета по изысканиям для рабочей документации в обычных геологических условиях. Пункт 3.181 СНиП см. в п. 3.12 настоящего руководства.

3.18. Для рабочей документации промышленных и гражданских объектов (в том числе, рабочей документации для застройки микрорайонов, кварталов и т.д., рабочей документации отдельных зданий и сооружений) выполняется сбор, анализ и обобщение материалов прошлых лет и инженерно-геологическая разведка.

Может потребоваться выполнение инженерно-геологической съемки масштабов 1:5000 - 1:10000 окружающей территории в комплексе с разведкой площадки в случаях, когда проектируются особо ответственные задания и сооружения на территориях, где съемка ранее не выполнялась.

3.19. Инженерно-геологическая разведка должна решать задачи, изложенные в п. 3.17(3.184). В ее состав обязательно должно входить сплошное карстологическое обследование площадки с топографической привязкой всех выявленных проявлений карста.

Следует также произвести рекогносцировочный осмотр прилегающей местности с целью выявления проявлений карста и природных (естественных и техногенных) факторов, которые могут повлиять на оценку площадки. Проводятся наземные геофизические исследования, если они в условиях площадки эффективны. Ведется проходка горных выработок (преимущественно скважин), их опробование, гидрогеологические наблюдения, топографическая привязка. Выполняются скважинные геофизические исследования, лабораторные исследования состава, свойств грунтов, химического состава подземных вод и другие работы (п. 3.20).

3.20. Буровые скважины при инженерно-геологической разведке назначаются под контуры зданий и сооружений. При их размещении учитываются результаты геофизических работ и проявления карста, выявленные при карстологическом обследовании. Может потребоваться также бурение за пределами контуров зданий и сооружений скважин, необходимых для проверки геофизических аномалий, прослеживания изменений геологического разреза и гидрогеологических условий, прослеживания выявленных карстовых полостей и закарстованных зон и изучения поверхностных проявлений карста (разбуривания воронок). Количество скважин в контуре здания или сооружения зависит от его степени ответственности, габаритов и от условий, характера и степени закарстованности территории; соответственно расстояния между скважинами, предназначенными для изучения карста, изменяются в широких пределах от 100 до 20 м. Кроме того могут потребоваться дополнительные геофизические работы и бурение скважин для оконтуривания карстовых полостей, выявленных в процессе разведки.

Для повышения эффективности бурения следует применять скважинные геофизические методы. Рекомендуется использовать пенетрационно-каротажные работы и зондирование для выявления полостей и разуплотненных зон в песчано-глинистых отложениях, покрывающих карстующиеся породы. В случае необходимости, в состав инженерно-геологической разведки входят опытно-фильтрационные работы, стационарные исследования и другие работы.

3.21(3.185). При изысканиях для рабочей документации допускается размещать выработки на расстоянии менее 20 м для оконтуривания и выявления карстовых полостей, а также проходить скважины под отдельные опоры и фундаменты для обоснования противокарстовых мероприятий и уточнения проектных решений.

3.22. При инженерно-геологической разведке на участках неглубокого (примерно до 20 м) залегания скальных и полускальных пород для ответственных и особо ответственных (а в случае необходимости и для малоответственных) зданий и сооружений целесообразно проводить геофизические и буровые работы повышенной детальности (вплоть до бурения от одной до нескольких скважин под каждый фундамент), позволяющей получить гарантированную оценку устойчивости площадки (см. п. 5.104).

3.23. При инженерно-геологической разведке на участках с большой мощностью покрывающих отложений, отнесенных в результате инженерно-геологической съемки к V категории устойчивости (см. п. 5.1(3.182) и табл. 6(45)), допускается, при наличии обоснования в программе изысканий и согласия заказчика, проводить бурение глубоких (более 50 м) вскрывающих растворимые (карстующиеся) породы скважин не под каждое из проектируемых зданий и сооружений. При этом, бурение вскрывающих карстующиеся породы скважин под особо ответственные здания и сооружения обязательно.

Как правило, экономически нецелесообразно проводить при инженерно-геологической разведке бурение глубоких скважин под каждое из малоответственных зданий и сооружений на территориях V-IV категорий устойчивости.

3.24. В случае необходимости проводятся инженерно-геологические изыскательские работы в период строительства и эксплуатации промышленных и гражданских объектов (инженерно-геологическое обследование котлованов строящихся зданий и сооружений, стационарные наблюдения).

3.25. Изыскания для решения специальных задач (разработка мероприятий по защите зданий и сооружений в особо сложных условиях, выяснение причин деформаций зданий и сооружений, изыскания для принятия решений по ликвидации аварийных ситуаций в случаях возникновения провалов и оседаний под зданиями, сооружениями и поблизости от них, специальные исследования возможности активизации карста под влиянием техногенных факторов и т.д.) выполняются по особым проектам (программам).

3.26. Изложенные в настоящем разделе задачи, требования и рекомендации по составу изысканий на разных стадиях проектирования распространяются также на изыскания для реконструкции, расширения и технического перевооружения предприятий, зданий и

сооружений. При их выполнении особенное внимание должно обращать на максимально возможное использование материалов прошлых лет, изучение происшедших изменений природных условий и развития карста, изучение опыта строительства и эксплуатации зданий и сооружений и оценку эффективности применявшихся противокрстовых мероприятий. Следует учитывать стесненные условия выполнения изысканий на территориях действующих предприятий, затрудняющие производство буровых, геофизических и других работ, необходимость соблюдения повышенных требований к технике безопасности и охране природной среды (см. п. 1.6).

4. МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ИЗЫСКАНИЙ

Сбор, анализ и обобщение материалов прошлых лет

4.1. Сбор, анализ и обобщение материалов прошлых лет производятся в обязательном порядке при любых изысканиях в карстовых районах и должны предшествовать остальным видам работ.

4.2. При сборе, анализе и обобщении материалов должны изучаться условия развития карста, его распространение, характер, закономерности и интенсивность с целью максимально использовать имеющиеся данные прошлых лет для решения поставленной проектной задачи (см. раздел 3 настоящего руководства), обоснования направленности дальнейших изысканий (если они необходимы), состава работ, оптимальных объемов и рациональных методов их производства.

4.3. При сборе данных о карстовых явлениях и условиях их развития должны использоваться публикации и архивные материалы, имеющиеся в центральном и территориальных геологических фондах, институтах и трестах инженерно-строительных изысканий, проектно-изыскательских организациях, научно-исследовательских институтах, карстовых лабораториях и стационарах, местных органах власти и архитектурно-планировочных организациях.

4.4. К сбору, анализу и обобщению материалов в карстовых районах предъявляются повышенные требования. Требуется: выяснить тектоническую структуру и геологическую историю района, тип карста, глубину зоны активного его развития и, по возмож-

ности, возраст; изучить (насколько позволяют имеющиеся материалы) геолого-литологический разрез участка изысканий, а также прилегающей территории, на всю мощность толщи покрывающих пород и зоны активного развития карста, наличие ослабленных тектонических зон, гидрогеологические и гидрологические условия, геоморфологию местности; собрать сведения о поверхностных и подземных проявлениях карста с их количественными характеристиками, о деформациях существующих зданий и сооружений и опыте строительства, о водозаборных и гидротехнических сооружениях, а также других изменениях природной обстановки и их влиянии на развитие карста на данной территории. Особенное внимание обращается на сбор сведений о случаях карстовых провалов, а также о постепенных деформациях земной поверхности. Должно быть выяснено наличие топографических и аэрокосмофотографических материалов, требующихся для выполнения изысканий.

Сбор и систематизация материалов сопровождаются составлением списка использованных литературных и фондовых источников, производством выписок, копированием разрезов, карт, графиков и т.д.

В итоге сбора, анализа и обобщения материалов составляются: карта фактического материала, каталог буровых скважин и встреченных в них проявлений карста, таблицы и графические материалы, систематизирующие и обобщающие результаты геофизических, опытно-фильтрационных, лабораторных исследований, полевых исследований грунтов, стационарных наблюдений и других работ, каталог карстовых форм рельефа (воронок и др.), случаев карстовых провалов и других карстовых деформаций земной поверхности, предварительные аналитические карты условий развития и распространения проявлений карста и предварительная синтетическая карта районирования территории по условиям, характеру и степени развития карста.

4.5. Если материалы прошлых лет достаточны для оценки карстовых явлений, отвечающей требованиям разделов 3 и 5 настоящего руководства для данной проектной задачи, по ним составляется отчет (заключение) в соответствии с пп. 4.157-4.159.

Инженерно-геодезические работы

4.6. Инженерно-геодезические работы должны обеспечивать изучение топографических условий района (участка) строительства и получение топографо-геодезических материалов и данных, необходимых для проектирования объектов и выполнения других видов инженерных изысканий.

В карстовых районах предъявляются особые требования к съемке и изображению проявлений карста на топографических картах и планах (п. 4.7.). В состав работ по перенесению в натуру и планово-высотной привязке горных выработок (скважин, шурфов и др.) и различных точек полевых измерений и наблюдений (геофизических, гидрогеологических, гидрологических и др.) входит также плановая и, если требуется, высотная привязка проявлений карста, выявленных при наземном обследовании местности. Кроме того, для обеспечения наземного обследования местности выполняются топографические съемки укрупненного масштаба на сильнозакарстованных участках, проводятся измерения размеров, составление профилей и планов отдельных крупных сложных карстовых форм рельефа. С целью решения специальных задач организуются стационарные геодезические наблюдения за деформациями зданий, сооружений, земной поверхности и толщи горных пород (пп. 4.8-4.13).

4.7. Во всех случаях выполнения топографических съемок, составления и обновления топографических карт и планов необходимо предъявлять особые требования к детальности съемки и изображения проявлений карста.

На топографических картах и планах масштабов 1:2000 и крупнее должны быть показаны все имеющиеся карстовые формы рельефа с поперечниками (диаметрами) 5 м и более, каждая по отдельности, как правило горизонталями. Кроме того, немасштабными знаками показываются проявления карста меньших поперечных размеров, но имеющие важное значение (выявленные провалы, входы в пещеры, устья карстовых шахт и колодцев, значительные карстовые источники).

На картах и планах масштабов 1:5000 и мельче следует показывать все имеющиеся карстовые формы рельефа с размерами 1 мм и более в масштабе карты (плана), а также выявленные проявления карста меньших размеров, имеющие важное значение (карстовые

провалы, небольшие одиночные воронки, входы в пещеры, устья карстовых шахт и колодцев, значительные карстовые источники).

При обновлении карт и планов следует не удалять несокранившиеся проявления карста, а показывать их специальными условными знаками.

4.8. Стационарные инженерно-геодезические наблюдения за деформациями зданий, сооружений, земной поверхности и толщи горных пород (грунтов) применяются в следующих целях:

определение количественных характеристик развития деформаций зданий и сооружений, сравнение деформаций с расчетными; выявление общих и локальных оседаний толщи горных пород и земной поверхности, которые могут быть связаны с развитием карста;

определение количественных характеристик развития деформаций толщи горных пород и земной поверхности во времени и в пространстве (по площади и по разрезу толщи горных пород);

выявление причин деформаций зданий, сооружений, земной поверхности и толщи горных пород, в том числе выяснение наличия или отсутствия связи деформаций с карстовыми явлениями;

уточнение расчетных данных физико-механических свойств грунтов, уточнение методов расчета и установление предельных допустимых величин деформаций для различных грунтов оснований и типов зданий и сооружений;

использование данных о деформациях для оценки и прогноза развития карста, суффозии, других процессов, устойчивости территории относительно оседаний и провалов;

оценка степени опасности деформаций и вызывающих их процессов для зданий и сооружений, принятие своевременных предупредительных мер для безопасности эксплуатации;

оценка эффективности выполненных защитных мероприятий.

При изучении деформаций, связанных с карстом, в основном ведутся наблюдения за осадками (оседаниями). В случае необходимости, организуются также наблюдения за горизонтальными перемещениями (например, на склонах) и кренами.

Оборудование наблюдательной сети, выполнение наблюдений и обработка их результатов должны осуществляться в соответствии с ГОСТ 24846-81, СНиП 1.02.07-87 (пп. 2.332-2.337), а также с учетом пп. 4.9.-4.13 настоящего руководства.

4.9. Реперы высотной основы, деформационные марки для наб-

людений за осадками зданий и сооружений, маяки и щелемеры для наблюдений за трещинами в зданиях и сооружениях оборудуются в соответствии с ГОСТ 24846-81.

Основания реперов высотной основы для I и II классов точности измерений как правило следует закладывать ниже зоны активного развития карста или располагать реперы на незакарстованных участках, если такие имеются поблизости.

Для наблюдений за осадками (оседаниями) земной поверхности устанавливаются грунтовые осадочные реперы, в качестве которых допускается применять металлические стрежни диаметром 20-25 мм, забиваемые на 0,6-0,8 м ниже глубины промерзания грунта. Грунтовые осадочные реперы устанавливаются по профильным линиям, по сетке или иным способом, с учетом наличия понижений рельефа (в которых наиболее вероятны оседания земной поверхности), размещения зданий и сооружений и разведанного или предполагаемого расположения подземных карстовых полостей.

4.10. Наблюдения за деформациями толщи горных пород производятся с помощью глубинных осадочных реперов, которые закладываются через скважины. Организируются они в комплексе с наблюдениями за грунтовыми реперами и деформационными марками с целью получения данных для выяснения причин деформаций зданий и сооружений (см. п. 4.153), для прогноза развития оседаний зданий и сооружений и предсказания возникновения провалов, предвестниками которых может явиться начало или увеличение скорости оседаний в толще горных пород. В этих целях глубинные осадочные реперы закладываются в непосредственной близости к зданиям и сооружениям или под ними. Кроме того, может потребоваться заложение глубинных осадочных реперов над выявленными бурением карстовыми полостями и на участках выявленных оседаний земной поверхности в целях изучения механизма сдвижений и обрушений толщи горных пород и их прогноза (в частности, для геомеханических расчетов устойчивости пород над карстовыми полостями).

При наблюдениях за деформациями толщи горных пород применяются различные методы и системы: установка в каждой из скважин по одному реперу; метод глубинных осадочных реперов на проволочной связи (п. 4.11); метод, основанный на применении магнитно-герконовых датчиков (п. 4.12); система дистанционного геодезического контроля устойчивости толщи пород (п. 4.13) и др.

4.11. Метод, основанный на применении проволочной связи,

позволяет установить на разных глубинах в одной скважине до трех и даже более осадочных реперов. От каждого репера на поверхность выводится проволока и натягивается при помощи блока и груза. На каждой проволоке закрепляется зажим (индекс), по величине смещения которого геометрическим нивелированием определяются оседания глубинных осадочных реперов, закрепленных в толще пород.

4.12. Метод, основанный на применении магнитно-герконовых датчиков, позволяет закладывать в скважину большое количество глубинных осадочных реперов, в результате увеличивается объем и качество информации, получаемой из одной скважины.

4.13. Для получения непрерывной информации об устойчивости или, наоборот, развитии деформаций толщи горных пород, земной поверхности, зданий и сооружений организуется дистанционный геодезический контроль. Применяются различные системы дистанционного геодезического контроля. К их числу относится разработанная УЗМИИТом система, в основу которой взят метод глубинных осадочных реперов на проволочной связи (п. 4.11). В ней глубинный осадочный репер посредством проволоки передает линейное перемещение слоев толщи пород на поверхность, где эти перемещения проволоки преобразуются во вращательное движение блока. К блоку подключается датчик перемещений, который с помощью устройств автоматической регистрации передает информацию на пульт оператора.

Инженерно-гидрометеорологические работы

4.14. Гидрологические и метеорологические работы должны производиться, как правило, в комплексе с гидрогеологическими, а также другими работами. Они выполняются как при производстве основного объема изысканий, так и в составе последующих стационарных наблюдений. Их основные задачи: а) составление водного и солевого баланса и оценка активности развития карста; б) выявление и количественная характеристика участков поглощения или питания поверхностных вод подземными; в) изучение режима поверхностных вод и его влияния на развитие карста; г) прогноз основных гидрологических характеристик для оценки развития карста в будущем, что особенно необходимо для учета влияния

техногенных факторов. Методы производства работ и требования к ним предусмотрены существующими нормативными и методическими документами по гидрологическим и метеорологическим наблюдениям.

4.15. При выполнении работ следует учитывать, что карстовые районы зачастую характеризуются большой неоднородностью гидрологических характеристик по площади и во времени (наличие замкнутых водосборов, очагов питания и поглощения поверхностных вод, резких быстрых колебаний режима поверхностных вод). Отбор проб воды и их анализ нужно проводить с учетом требований пп. 4.137 и п. 5.42 настоящего руководства.

Применение аэрокосмофотоматериалов и аэровизуальные наблюдения

4.16. Аэрокосмофотоматериалы используются: для картирования геологических, гидрогеологических и геоморфологических условий развития карста; для картирования проявлений карста; при стационарных наблюдениях за развитием карстовых явлений.

4.17. Аэрофотоснимки масштабов 1:5000 - 1:20000 позволяют уверенно дешифрировать на незалесенных территориях карстовые формы рельефа (воронки, котловины и т.д.) размером в плане соответственно более 5-20 м, а в некоторых случаях, карстовые формы меньших размеров. При этом нужно иметь в виду, что к карстовым воронкам часто бывают приурочены группы кустов и деревьев.

На пашне аэрофотоснимки позволяют выявить запаханые карстовые воронки, неразличимые при наземном обследовании местности.

На залесенных территориях по аэрофотоснимкам могут быть выявлены крупные карстовые формы рельефа и их скопления. Для исключения маскирующего влияния растительного покрова аэрофотосъемку залесенной местности следует производить весной после спада снегового покрова до появления листвы. В этом случае возможность дешифрирования карстовых форм рельефа увеличивается.

Все выявленные на материалах аэрофотосъемки проявления карста должны быть обследованы в натуре и описаны при выполнении полевого обследования территории.

4.18. При выполнении изысканий следует собирать материалы

аэрофотосъемок, выполненных в разные годы, а при стационарных наблюдениях рекомендуется периодически проводить повторные аэрофотосъемки. Использование аэрофотоснимков разных лет позволяет, с одной стороны, выявить карстовые формы рельефа, уничтоженные за период между съемками, с другой - выявить новые карстовые воронки, возникшие за этот период.

4.19. Для повышения эффективности наземного обследования местности и при стационарных наблюдениях за развитием карстовых явлений целесообразно проведение аэровизуальных наблюдений.

4.20. При изучении карста и закономерностей его распространения (например, связи с тектоническими структурами) ценную информацию могут дать космические фотоснимки.

Наземное карстологическое обследование местности (маршрутные наблюдения)

4.21. В карстовых районах наземное карстологическое обследование местности - обязательный вид работ при инженерно-геологической рекогносцировке, съемке и разведке, выполняемый в комплексе с другими видами работ.

4.22. При выполнении наземного обследования местности в карстовых районах следует руководствоваться нормативно-методическими документами по инженерно-геологической съемке (разведке, рекогносцировке) соответствующего масштаба, с обязательным соблюдением требований и указаний настоящего подраздела Руководства.

4.23. Наземное обследование местности наряду с обычными инженерно-геологическими задачами должно в карстовых районах решать специальные задачи: изучение распространения, условий и закономерностей развития карста, его возраста, характера и интенсивности проявления.

4.24. Для решения поставленных задач при наземном обследовании изучаются и картируются:

геологические, гидрогеологические и геоморфологические условия развития карста;

проявления карста;

связанные с карстом деформации зданий и сооружений, опыт применения противокарстовых мероприятий, а также водозаборные,

гидротехнические и другие сооружения с точки зрения их влияния на условия развития карста.

4.25. Проведение наземного обследования местности должно быть обеспечено топографической основой и аэрокосмофото съемочными материалами соответствующего масштаба. Выполнение наземного обследования без использования материалов аэрофото съемки допускается лишь на небольших площадях при наличии кондиционной топографической основы, отображающей распространение карстовых форм рельефа с точностью соответствующей заданному масштабу обследования.

4.26. При инженерно-геологической съемке масштабов 1:25000 и 1:10000 наземное обследование и картирование на сильнозакарстованных участках (с целью их количественной оценки) следует проводить в укрупненном масштабе 1:5000 - 1:2000, а на остальной территории - в масштабе съемки. Сильнозакарстованными считаются участки с наличием на 1 км² 50 и более карстовых форм рельефа (воронки). Участки эти определяются по результатам изучения материалов прошлых лет и предварительного дешифрирования аэрофотоснимков.

При инженерно-геологической съемке масштабов 1:5000 - 1:2000 и инженерно-геологической разведке наземное обследование проводится в масштабе съемки (разведки).

При инженерно-геологической рекогносцировке наземное обследование заключается в выполнении отдельных маршрутов для контроля результатов предварительного дешифрирования аэрофотоснимков. При этом в случае необходимости проводится площадное обследование ключевых участков или площадок.

4.27. На территориях, обеспеченных геологической и гидрогеологической основой, соответствующей масштабу инженерно-геологической съемки, в процессе наземного обследования производится лишь уточнение геологических, гидрогеологических и геоморфологических условий. В случае отсутствия такой основы в состав съемочных работ (в том числе наземного обследования) включается геологическое и гидрогеологическое картирование территории с учетом требований, предъявляемых к этим видам съемок.

4.28. Проведению полевых работ по наземному обследованию местности предшествуют сбор, анализ и обобщение материалов прошлых лет (в том числе, сбор и изучение топографических материалов разных масштабов и разных лет для выявления изображенных

на них проявлений карста - п. 4.55), предварительное дешифрирование материалов аэрофотосъемки и, в случае необходимости, аэровизуальные наблюдения.

4.29. В состав полевых работ входят:

изучение, описание и картирование проявлений карста (п. 4.38), естественных и искусственных обнажений горных пород, геоморфологических элементов, проявлений водоносности и явлений поглощения поверхностных вод;

полевое дешифрирование аэрофотоснимков;

уточнение точек заложения буровых скважин и мест производства других работ, входящих в состав инженерно-геологической съемки (рекогносцировки, разведки);

отбор проб пород и подземных вод для лабораторных исследований;

сбор в местных организациях и у населения сведений о случаях провалов и оседаний земной поверхности, о деформациях зданий и сооружений, об опыте строительства и эксплуатации зданий и сооружений, применяемых противокарстовых мероприятиях и эффективности их работы;

обследование существующих инженерных сооружений;

фотодокументация объектов наблюдений;

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

4.30. Обследование, описание и картирование геологических объектов (кроме рудопоявлений) по содержанию, методике и детальности производится в соответствии с требованиями, предъявляемыми к геологическим и инженерно-геологическим съемкам соответствующего масштаба. Однако при этом специально и подробно отмечаются явления, влияющие на развитие карстовых процессов. Обращается внимание на приуроченность карста к определенным литолого-стратиграфическим горизонтам, тектоническим зонам и структурам. Очень важное значение имеет изучение условий развития карста и закарстованности горных пород в естественных и искусственных обнажениях (пп. 4.31, 4.34, 4.45).

4.31. В естественных обнажениях, карьерах, котлованах, траншеях и других искусственных обнажениях подробно изучается и описывается строение и состав как карстующихся толщ, так и всей толщи покрывающих отложений. Проводится расчленение разреза с выделением литолого-стратиграфических горизонтов, пачек слоев,

ритмов (циклов), слоев, линз и их прослеживанием. Составляются послойные описания обнажений, в которых для каждого слоя указываются: геологический индекс, условия залегания, мощность; краткое название породы, ее цвет; состав, структура, текстура породы; примеси (глинистые, песчаные, органические и т.д.), вкрапления, включения (конкреции и т.д.), прожилки, ископаемая фауна и флора; проявления кальцитизации, доломитизации, огипсования, соленосности, пиритизации, битуминозности, окремнения, степень выветрелости; плотность, пористость, крепость, излом, консистенция, влажность; трещиноватость (п. 4.34), наличие микротрещиноватости и микрослоистости, отдельность. Определяется карбонатность породы и включений с помощью 10%-ой HCl. Выявляются и документируются проявления карста (п. 4.45).

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 изучение древних долин. Отмечаются все изменения мощности пластов (выклинивание, размыв, нарушение в залегании и т.д.) и выявляются их связь с карстованием пород.

4.32. Выявляются прослойки водоупорных и нерастворимых пород среди карстующихся отложений. Устанавливается строение, состав, мощность, распространение и свойства покрывающих пород, что важно для выявления развития в них обрушений, оседаний, суффозии и других процессов, подготавливающих деформации земной поверхности.

4.33. 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. Особое внимание уделяется выявлению линейных тектонически ослабленных зон разрывных нарушений и сгущения трещиноватости различного порядка, к которым зачастую бывает приурочено развитие карста.

4.34. Изучается трещиноватость пород в обнажениях, пещерах, карьерах, шахтах, штольнях и т.д., а также при описании керна (п. 4.68). При этом выявляются: зоны и системы трещинова-

тости, 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), их закарстованность. Выявляется приуроченность проявлений карста к определенным системам трещин, их пересечениям, зонам повышенной трещиноватости, тектоническим элементам.

Описание трещин в обнажении (пещере, карьере и т.д.) ведется раздельно по выделенным их системам и включает следующие сведения: форма трещин (прямые, изгибающиеся, извилистые, ветвящиеся и т.д.), их элементы залегания, отношение к слоистости породы, протяженность трещин с указанием какие слои они пересекают, степень раскрытия (скрытые, закрытые, зияющие с указанием ширины), глубина трещин, характер их стенок, следы циркуляции воды и растворения, явления кольматации и цементации с указанием состава, структуры, текстуры и состояния заполнителя, густота трещин, образуемая ими отдельность горной породы. Выявляются закарстованные трещины (см. п. 5.19), в том числе древние. Производятся специальные замеры основных параметров трещиноватости (п. 5.20) для их последующей статистической обработки.

4.35. Геологическое изучение территории сопровождается отбором образцов для определения инженерно-геологических свойств пород, их минералогического, петрографического и химического состава, структурных особенностей, а также для проведения специальных исследований (определение растворимости пород и т.д.).

4.36. В процессе геологического описания выполняются зарисовки 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.

4.37. При изучении геоморфологических условий описываются и картируются элементы рельефа с выяснением их строения, возраста и генезиса, выявляется приуроченность карстовых форм к различным геоморфологическим элементам. Производится историко-геологический анализ влияния тектонических движений и эрозии на формирование рельефа и развитие карста.

4.38. Наземное карстологическое обследование местности

должно обеспечить выявление, полевое описание и картирование с детальностью согласно пп. 4.26 и 4.56 всех имеющихся проявлений карста на земной поверхности - воронок, карстово-эрозионных котловин, оврагов, и долин, полей, мульд оседания, карстовых рвов, карстовых останцов, поноров, карр, ниш, карровых полей и других карстовых форм рельефа (пп. 5.59, 4.39, 4.42, 4.43), имеющих выходы на земную поверхность карстовых пещер, шахт и колодцев (п. 4.44), имеющих в естественных и искусственных обнажениях подземных проявлений карста (п. 4.45), гидрологических и гидрогеологических проявлений карста - замкнутых водоборов, очагов поглощения поверхностных вод, карстовых источников, карстовых озер и др. (пп. 4.47-4.51), карстовых провалов и оседаний земной поверхности и связанных с ними деформаций зданий и сооружений. При этом каждое из выявленных проявлений карста описывается в поле индивидуально, получает номер, наносится на карту и заносится в каталог. В соответствии с п. 4.39 должны быть измерены размеры каждой воронки. Особенное внимание обращается на выявление и описание случаев карстовых провалов (пп. 2.3, 4.40) и оседаний земной поверхности (пп. 2.8, 2.9).

Описание проявлений карста сопровождается зарисовками, фотографиями, составлением схематических планов и разрезов по характерным направлениям.

4.39. При обследовании каждой карстовой воронки отмечают: 1) форма в плане (круглая, овальная и т.д.) и в разрезе (чашеобразная, блюдцеобразная, конусообразная, колодцеобразная и др., симметричная или асимметричная); 2) диаметр (поперечные размеры) и глубина, направление длинных и коротких осей; 3) характер бровки (обрывистая нависающая или отвесная, резкая, отчетливая, сглаженная, неясная); 4) крутизна и характер склонов; 5) форма дна, заполненность водой, заболоченность; 6) степень задернованности и характер растительности на склонах и дне; 7) описание выходов горных пород, их трещиноватости, поглощающих поноров. Дается адрес воронки с указанием элемента рельефа и характера его поверхности, наличия поблизости других воронок, зданий и сооружений. В целях оценки устойчивости территории относительно карстовых провалов методом удаленности необходимо для каждой воронки измерять расстояние и азимут до ближайшего проявления карста (пп. 5.62 и 5.87).

Поперечные размеры и глубины всех выявленных карстовых во-

ронок и провалов должны быть измерены с точностью соответственно 0,5 и 0,1 м мерной лентой (рулеткой), рейкой или путем ватерпасовки. Ватерпасовка (упрощенная нивелировка) производится при помощи двух реек. По одной рейке (с прикрепленным к ней уровнем) измеряется проложение, а по другой - превышение. Глазомерная (без промеров) оценка размеров воронок и провалов не допускается.

Выявляется происхождение воронок (п. 5.59) и их возраст (п. 4.41).

4.40. Описание выявленных карстовых провалов производится с максимальной детальностью. Оно должно включать дополнительно к п. 4.39: дату, время и обстоятельства обнаружения провала, дату и время его образования, наблюдения за явлениями в процессе провала, а также до и после его образования, вызванные провалом деформациизданий, коммуникаций и т.д. Составляется разрез провала. Обязательна его точная топографическая плановая привязка. Кроме того, обязательно измеряется расстояние (если оно не больше 250 м) и азимут до ближайшей к провалу воронки.

4.41. Для определения возраста существующих карстовых воронок применяются методы: геолого-геоморфологический и по комплексу внешних признаков, а в случаях, предусмотренных программой изысканий, также спорово-пыльцевой, радиоуглеродный и др.

Геолого-геоморфологический метод заключается в сопоставлении возрастов элемента рельефа, слагающих его пород и пород, заполняющих воронку.

Возраст воронок по комплексу внешних признаков определяется с учетом условий их существования (рельеф, степень задернованности, залесенность окружающей поверхности, явления заболачивания, размыва, развевания, деятельность человека). Для определения возраста карстовых воронок в песчаных и суглинистых грунтах по комплексу внешних признаков рекомендуется классификация:

1) Свежая воронка (возраст до 3-5 лет). Характерно наличие раскрытых трещин и обрывистых уступов с рваными краями и стенками. Бровка обычно обрывистая или резкая. Склоны и дно зачастую неровные, с оползшими и обвалившимися глыбами пород и пластами дерна. Со временем очертания глыб и трещин сглаживаются, трещины засыпаются и замываются. Процессы обрушения, оползания и размыва широко развиты. Склоны постепенно выравниваются, ого-

ленные участки зарастают.

2) Молодая воронка (возраст от 3-5 до 20-50 лет). Трещины уничтожены. Обвалившиеся и оползшие глыбы грунта обычно не сохраняются или сильно сглажены. Местами развивается слабый дерновый покров, крутые участки склонов зарастают редкой травой или остаются оголенными. На склонах иногда сохраняются ступени, обычно задернованные. Многие молодые воронки имеют очень крутые, местами почти отвесные склоны, бровки нередко обрывистые.

3) Старая воронка (возраст более 20-50 лет). Форма устойчивая чашеобразная или блюдцеобразная, склоны, как правило, задернованы.

4.42. При обследовании карстовых котловин, оврагов, долин и полей изучается их морфология и связь с поверхностными и подземными водами. При этом описываются их форма и размеры, характер склонов и днища, обнажения горных пород, наличие карстовых воронок, поноров, источников и очагов поглощения поверхностных вод, обводненность в период снеготаяния и ливней и т.д. Нужно отметить, являются ли они замкнутыми (слепыми), полузамкнутыми (полуслепыми) или открытыми (со свободным выходом из них для поверхностных вод), оконтурить имеющиеся в них замкнутые водосборы поверхностных вод. Рекомендуется произвести историко-геологический анализ развития исследуемых карстовых форм.

4.43. При описании карров и карровых полей отмечается густота борозд, их направление, форма, размеры, наличие элювия между бороздами, связь карров с литологическим составом пород, трещиноватостью и геоморфологией, наличие снегового покрова и его постоянство.

4.44. При обследовании пещер составляется план, продольные и поперечные разрезы каждой пещеры. При этом съемка поперечных разрезов в местах сводов обрушения должна производиться особенно тщательно. Важно также нанести на план органические трубы. Собираются данные о приуроченности пещеры к определенным литолого-стратиграфическим горизонтам, тектоническим структурам, гипсометрическим уровням и геоморфологическим элементам, о связи пещеры или ее частей с господствующими в районе системами трещиноватости. Выясняется возраст, состав, условия залегания, структурные особенности и свойства (в монолитах) пород, слагающих стенки, кровлю и дно пещеры, их трещиноватость, отдельность, характер поверхности. Отмечается наличие подземных ручь-

ев, озер, льда, капежа по стенкам и с потолка, натечных образований (стадактитов, сталагмитов, колонн), а также глинистых и песчаных отложений в трещинах и на дне пещеры и продуктов обрушения ее сводов. Дается краткая 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.

4.45. В естественных и искусственных обнажениях необходимо изучать и документировать подземные проявления карста: расширенные растворением трещины (п. 5.19), поры растворения (п. 5.25), каверны (п. 5.25), разнообразные полости, поверхности растворения, разрушенные и разуплотненные зоны, карстовые брекчии, связанные с карстом нарушения залегания горных пород, а также воронки и другие формы погребенного палеорельефа земной поверхности (п. 5.18). При описании закарстованных трещин, полостей, 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 послойное описание заполнителя с характеристикой его состава, структуры, текстуры и состояния и с указанием его возраста, отмечаются натечные образования.

4.46. Другие геологические процессы и явления (оползни, золотые процессы, заболачивание и т.д.) изучаются как при обычной инженерно-геологической съемке. Изучается взаимосвязь между этими процессами и карстом.

4.47. В процессе наземного обследования изучаются гидрогеологические условия территории: исследуются условия питания и дренирования подаваемых вод, оконтуриваются водосборные площади (в том числе - замкнутые водосборы различного порядка), описываются и картируются проявления водоносности (источники, колодцы, скважины, заболоченность и т.д.), отбираются пробы воды для лабораторных исследований с целью определения ее химического состава и агрессивных свойств. Особое внимание обращается на карстовые источники, очаги поглощения поверхностных вод и их водосборные площади, 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.

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

4.49. При обследовании карстовых озер описывается их местоположение, размеры, глубина и конфигурация, выясняются условия образования озера, связь его с литологическими горизонтами, условия питания (поверхностное, подземное, смешанное) и разгрузки, режим, положение уровня и химический состав воды в озере, наличие воронок и источников на дне и берегах.

4.50. При изучении пещерных рек и озер устанавливаются их размеры, скорости течения и расход воды на отдельных участках, ее температура и химический состав; выясняются условия питания и особенности режима. Устанавливается гипсометрическое положение и связь с литолого-стратиграфическими горизонтами.

4.51. При описании исчезающих рек и ручьев отмечается их режим (постоянные, периодические), расход потока, место поглощения и характер перехода поверхностного стока в подземный, химический состав и температура воды.

4.52. В процессе наземного обследования собираются данные о влиянии гидротехнических сооружений, водозаборов, дренажей, сбрасываемых вод и отходов производства на режим и 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.

4.53. 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, оседаний и т.д. Вы-

ясняются геологические и гидрогеологические особенности стройплощадки, наличие поверхностных и подземных форм карста, характер трещиноватости пород и т.д.

Описание деформаций зданий и сооружений производится в натуре и по архивным материалам, оно сопровождается схемами, зарисовками и фотографированием.

4.54. В процессе полевых работ должен проводиться сбор в местных организациях и у населения сведений о случаях провалов и оседаний земной поверхности, о деформациях зданий и сооружений, об опыте строительства и эксплуатации зданий и сооружений, применяемых противокарстовых мероприятиях и их эффективности.

4.55. При наземном обследовании должен производиться сбор и изучение старых топографических, аэрофотографических и других материалов разных лет для выявления, с одной стороны, возникших за это время новых карстовых провалов и, с другой стороны, - ранее существовавших уничтоженных карстовых воронок. Последнее особенно необходимо для застроенных и спланированных территорий.

4.56. Проявления карста, выявленные в результате наземного карстологического обследования местности и использования аэрокосмофотоматериалов, наносятся на карту масштаба, предусмотренного п. 4.26, или крупнее.

На карту проявлений карста на земной поверхности с точностью, соответствующей ее масштабу, наносятся:

а) При масштабе 1:25000: все имеющиеся на изучаемой территории проявления карста размером в плане 50 м и более (карстово-эрозионные впадины, крупные воронки и др.) - масштабными знаками (каждая форма изображается в масштабе карты); все выявленные одиночные проявления карста меньших размеров в плане (провалы, воронки, небольшие карстово-эрозионные впадины, карстовые шахты, входы в пещеры, выходы других карстовых полостей в обнажениях, карстовые источники, поноры, связанные с карстом деформации зданий и сооружений и т.д.) - немасштабными знаками; обобщенные контуры всех имеющихся групп и скоплений карстовых форм рельефа (с составлением карт-врезок или схем более крупного масштаба, обеспечивающего раздельное изображение всех входящих в них форм), всех выявленных участков выхода на поверхность подземных карстопоявлений, разгрузки карстовых вод, поглощения поверхностного стока, а также связанных с карстом деформаций

зданий и сооружений (с составлением по этим участкам, в случае необходимости, карт-врезок или схем более крупного масштаба).

б) При масштабе 1:5000: все имеющиеся на изучаемой территории проявления карста размером в плане 10 м и более - масштабными знаками; все выявленные проявления карста меньших размеров в плане - немасштабными знаками, а в случае невозможности их раздельного изображения - обобщенным контуром с составлением карт-врезок или схем более крупного масштаба.

Раздельное изображение на картах масштабов 1:25000-1:5000 каждого из таких небольших или неясновыраженных проявлений карста, как старые блюдцеобразные воронки диаметром менее 5 м, западины диаметром менее 10 м, карры, незначительные источники и поноры, - не требуется.

На карту проявлений карста на земной поверхности, а также на прилагаемые к ней карты-врезки и схемы, должны быть нанесены все выявленные случаи карстовых провалов и оседаний земной поверхности.

На карту наносятся не только существующие, но и все выявленные несохранившиеся (засыпанные, скрытые, запаханые) проявления карста. Наносятся также, особыми обозначениями, выявленные впадины и западины, возможно связанные с карстом.

4.57. При планировании объемов и стоимости работ по наземному карстологическому обследованию местности (маршрутных наблюдений) масштаба 1:25000 и крупнее следует предусматривать специально для картирования проявлений карста с детальностью, соответствующей пп. 4.26 и 4.56, дополнительное количество точек наблюдений сверх установленных действующими нормами и расценками. Независимо от категории сложности территории по другим признакам, необходимое дополнительное количество наблюдений в среднем на 1 км² ориентировочно составляет: на слабозакарстованных территориях - 1-10 точек, на среднезакарстованных территориях - 11-50 точек, на сильнозакарстованных территориях - 51-100 точек.

Следует также учитывать неравномерность распространения проявлений карста: на очень сильно закарстованных участках количество карстовых воронок может достигать 100-200 штук на площади один гектар, причем каждая воронка для получения количественной оценки устойчивости территории должна быть измерена и задокументирована.

Буровые и горные работы

4.58. В состав изысканий в карстовых районах должно входить бурение скважин, специально предназначенных для изучения карста (карстологических). Их цель: в комплексе с геофизическими, гидрогеологическими и другими работами изучить условия развития карста, характер, степень закарстованности и оценить карстоопасность территории. Перед ними ставятся следующие задачи:

- 1) изучить геологическое строение территории;
- 2) изучить гидрогеологические условия;
- 3) изучить состав, состояние, свойства пород карстующейся толщи, их трещиноватость, кавернозность и закарстованность (включая выявление карстовых полостей и разрушенных зон);
- 4) изучить состав, состояние и свойства пород покрывающей толщи (включая выявление и изучение полостей и разуплотненных зон в покрывающих нерастворимых породах и линз слабых грунтов, заполняющих воронки, впадины и другие поверхностные и погребенные карстовые формы);
- 5) провести отбор образцов горных пород и воды для лабораторных исследований;
- 6) обеспечить проведение опытных гидрогеологических, инженерно-геологических и геофизических работ;
- 7) обеспечить проведение стационарных (режимных) наблюдений;
- 8) выявить и оконтурить зоны разной степени закарстованности и карстоопасности.

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

4.59(3.186). На территории интенсивного развития карста, выявленного по результатам маршрутных наблюдений и геофизических исследований, отдельные скважины должны, как правило, проходить всю зону активного его развития и заглубляться не менее чем на 5 м в подстилающие и незакарстованные породы.

4.60. Скважины, предназначенные для изучения карста, могут быть разведочными, техническими и специальными (СНИП 1.02.07-87, п. 3.12). По отношению к геофизическим работам те

же скважины могут быть параметрическими или заверочными.

Разведочные скважины, предназначенные для изучения карста, должны комплексно решать задачи пункта 4.58, причем в них обязательно выполнение позиций 1-5 и 8 этого пункта и проведение скважинных геофизических работ. Они должны дать комплексную характеристику зоны активного развития карста и вышележащих толщ.

Глубина разведочных скважин зависит от глубины залегания карстующихся пород и мощности закарстованной зоны; при этом скважины должны вскрывать всю закарстованную зону с заглублением в монолитные, неизменные породы не менее 5 м. При мощности закарстованной зоны 20 м и более допускается вскрытие не всей этой зоны, что в каждом конкретном случае должно быть обосновано в программе. Отдельные скважины в соответствии с п. 4.59 (**3.186**) должны, как правило, проходить всю зону активного развития карста и заглубляться не менее чем на 5 м в подстилающие и незакарстованные породы. Может потребоваться увеличение глубины скважин для вскрытия маркирующих горизонтов с целью установления тектонических структур или для изучения водоносного горизонта, подстилающего карстующиеся породы.

В районах с активной хозяйственной деятельностью человека (эксплуатация карстовых вод, разработка месторождений полезных ископаемых и т.д.) глубинность исследований (скважинами и геофизическими методами) определяется глубиной техногенного влияния на геолого-гидрогеологические условия.

Технические скважины решают те же задачи, что разведочные, но, кроме того, из них должны быть отобраны образцы грунтов нарушенного сложения (монолиты).

Специальные скважины служат для выполнения опытно-фильтрационных работ, полевых исследований грунтов, геофизических исследований и для проведения стационарных наблюдений. Глубина их может быть различной в зависимости от поставленных задач. Рекомендуется, насколько возможно, использовать в специальных целях разведочные скважины.

Для решения некоторых частных задач (выявление линз слабых грунтов, заполняющих карстовые воронки, впадины и т.д.; оконтуривание выявленных карстовых полостей; массовое бурение под конкретные фундаменты, предусмотренное п. 3.22) допускается применение специальных неглубоких скважин с упрощенными требованиями к технологии проходки и документации. В каждом конкрет-

ном случае применение таких скважин должно быть обосновано в программе изысканий.

4.61. При инженерно-геологической съемке в карстовых районах количество точек бурения разведочных скважин, необходимых специально для изучения карста, рекомендуется назначать в соответствии с табл. 4.

Назначаются они из общего количества скважин и других горных выработок, предусмотренных нормами по инженерно-геологической съемке, а в случае невозможности или нецелесообразности совмещения изучения карста с решением других задач - сверх этих норм. При наличии скважин прошлых лет, удовлетворяющих требованиям предъявляемым при изучении карста, количество назначаемых новых скважин уменьшается.

При определении необходимых объемов работ технические и специальные скважины приравниваются к разведочным, если они обеспечивают решение тех же задач, что разведочные. Если нет - они назначаются дополнительно к количеству необходимых разведочных скважин, определяемому по табл. 4.

Кроме того, когда это требуется, производится бурение скважин для изучения выявленных в ходе съемки карстовых воронок, погребенных карстовых форм и полостей, выяснения условий их образования, а также для решения других специальных вопросов.

Размещать карстологические скважины (разведочные, технические, специальные) нужно с учетом рельефа, гидрографии, выявленных тектонических структур, гидрогеологических и геофизических зон и аномалий, проявлений карста, с учетом необходимости составления инженерно-геологических разрезов и карт, кондиционно отражающих распространение, условия, характер и степень развития карста. В частности, карстологическими разведочными скважинами должен быть охарактеризован каждый из геоморфологических элементов. В первую очередь бурятся параметрические скважины, а остальные - после выполнения наземных геофизических работ.

При выполнении инженерно-геологической разведки количество, глубину и размещение скважин рекомендуется назначать с учетом пп. 3.20-3.23.

Таблица 4

| Масштаб инженерно-геологической съемки | Количество точек бурения разведочных скважин для изучения карста, среднее на 1 км ² | Расстояние между точками бурения разведочных скважин для изучения карста, среднее в метрах |
|--|--|--|
| 1:25000 | 0,5 - 2 | 1400 - 700 |
| 1:10000 | 2 - 8 | 700 - 350 |
| 1: 5000 | 8 - 25 | 350 - 200 |
| 1: 2000 | не нормируется | 200 - 100 |

Примечание. Количество скважин и расстояния между ними выбираются в пределах рекомендуемых таблицей в зависимости от сложности условий развития карста и степени закарстованности территории, а также с учетом характера проектируемой застройки.

4.62(3.187). Конструкция, технология бурения и документация скважин, предназначенных для изучения карста, должны обеспечивать получение подробной характеристики геологического строения и гидрогеологических условий, состояния и свойств горных пород, их трещиноватости и закарстованности, зон повышенной трещиноватости, полостей (с указанием степени заполнения, состава и состояния заполнителя), разрушенных и разуплотненных зон.

Бескерновое бурение не допускается. Должен обеспечиваться максимальный выход керна карстующихся пород и заполнителя карстовых полостей. При бурении в соленосных толщах необходимо не допускать растворения соли в процессе проходки скважин.

4.63. Конструкция и технология бурения скважин должны учитывать сложные условия их проходки (наличие трещиноватых зон, неустойчивых разрушенных пород, карстовых полостей, зон интенсивного поглощения промысловой жидкости), обеспечить перекрытие

обсадными трубами зон с неустойчивыми породами и карстовых полостей, производство необходимых геологических и гидрогеологических наблюдений и выполнение предусмотренных программой специальных работ. Она должна обеспечивать максимальный выход керна (в плотных породах - около 100%, в рыхлых, слабых и сильно трещиноватых - не менее 80%). Должны приниматься специальные меры для получения керна заполнителя карстовых полостей (часто представленного рыхлыми, легко размывающимися и разрушающимися породами). Конечный диаметр скважин рекомендуется назначать не менее 91 мм.

В сложных случаях при выполнении изысканий для крупных объектов может оказаться целесообразной проходка смотровых скважин большого диаметра, позволяющих получить наиболее полную информацию о состоянии и закарстованности пород.

4.64. При изысканиях в карстовых районах в скальных породах рекомендуется колонковое бурение скважин, а в нескальных - колонковое и ударное кольцевым забоем.

Колонковое бурение в крепких скальных породах целесообразно вести с промывкой водой или с продувкой воздухом. В размываемых породах для обеспечения выхода керна уменьшается промывка, укорачиваются рейсы до 0,5-1,0 м, используется бурение с обратной циркуляцией и "всухую". В сильно трещиноватых, разрушенных и слабых породах и при проходке заполнителя полостей должны применяться двойные колонковые трубы, эжекторные колонковые снаряды, грунтоносы. Бурение с глинистым раствором допускается лишь в случаях действительной необходимости, при условии, что это не наносит существенного ущерба изучению гидрогеологических условий. В соляных и соленосных толщах в качестве промывочной жидкости следует применять рассолы. В глинистых и необводненных и слабообводненных песчаных породах эффективно ударное бурение кольцевым забоем.

Шнековое (в том числе, рейсовое) и любые другие виды бурения, не гарантирующие получение керна в виде столбиков грунта, не допускаются.

4.65. Отбор, обработка и описание керна производится в соответствии с общеобязательными правилами. Весь керн, как из карстующихся, так и из покрывающих отложений, должен немедленно после извлечения укладываться в ящики и маркироваться. Выход керна в процентах подсчитывается по интервалам бурения, измене-

ние его по разрезу скважины отражается на графике. Производится фотографирование и делаются зарисовки всего керна (по ящикам и рейсам) и характерных деталей (структур, текстур, контактов, трещин, каверн и т.д.).

4.66. Должно быть проведено описание керна с подробной послышной характеристикой: геолого-литологического разреза (п. 4.67); трещиноватости пород (п. 4.68), пористости, кавернозности, степени выветрелости и разрушенности; проявлений закарстованности пород, размеров и формы карстовых полостей, характера их заполнения (п. 4.69); проявлений кальцитизации, доломитизации, огипсования, соленосности, пиритизации, битуминозности, кремнистости. Описывается состояние керна: раздробленность, размытость и т.д. Указывается величина обломков и высота столбиков при распадении керна, их количество и степень сохранности. Рекомендуются также определять линейный и объемный коэффициенты кавернозности (пп. 4.70-4.72).

4.67. Описание должно содержать подробную характеристику каждого слоя. При этом: отмечается глубина и абсолютная отметка кровли или подошвы слоя, его мощность; указывается название породы, ее цвет (во влажном и сухом состоянии); описывается состав, структура и текстура породы, примеси и включения (конкреции и др.), ископаемая фауна и флора; отмечается плотность, крепость, консистенция, влажность породы; описывается характер контактов со смежными слоями; отмечается отклонение слоистости от положения, нормального к оси керна; указывается геологический индекс слоя. Обязательно определяется карбонатность породы (и включений) с помощью 10%-ой HCl.

4.68. В описании трещин указывается их направление (вертикальные, горизонтальные, наклонные с указанием угла падения), отношение к слоистости, частота и характер (скрытые, закрытые, зияющие). Измеряется ширина трещин. Описывается их форма (извилистые, ветвящиеся и пр.), характер стенок и налеты на них, состав, структура, текстура и состояние заполнителя, выделения вторичных минералов (кальцита, гипса и т.д.). Если керн ориентирован, измеряется азимут падения трещин. При наличии нескольких типов трещин отдельно описывается каждый тип и указывается его относительная распространенность.

На участках моноклинального падения пород, а также при бурении наклонных скважин на участках горизонтального залегания,

керна ориентируется по отношению к их слоистости.

4.69. Особенное внимание должно уделяться документации карстовых полостей и каверн. О полостях судят по провалам бурового инструмента, по резкой смене скорости бурения, по керну (степень и характер заполнения), а также по режиму промывки (поглощение), поведению уровня воды и данным геофизического изучения скважины (пп. 4.74-4.76). При описании карстовых полостей и каверн указывается их глубина залегания, форма, размеры, характер стенок (кровли и дна у больших полостей), степень и характер заполнения.

Описание заполнителя карстовой полости дается послойно. В описании каждого слоя указывается: его мощность, состав, текстура и состояние, размеры зерен и обломков и степень их окатанности (для продуктов механического привноса); форма, размеры и расположение кристаллов и их агрегатов (для продуктов, выпадающих из водного раствора путем кристаллизации). Таким же образом описывается заполнитель каверн, отмечается степень их заполнения.

4.70. После всестороннего исследования и описания керна рекомендуется вычислять линейный коэффициент кавернозности k_1 по следующей формуле:

$$k_1 = \frac{\Sigma d}{4l} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Σd - суммарный диаметр (поперечник) пустот по четырем измерениям;

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

Для вычисления коэффициента кавернозности с разных сторон керна параллельно его оси проводятся 4 линии и измеряются диаметры пустот (каверн), попадающих на эти линии. Линейный коэффициент кавернозности для всего стратиграфического горизонта подсчитывается как среднее арифметическое отдельных значений.

4.71. Рекомендуется также определять объемный коэффициент открытой пористости и кавернозности k_v по следующей формуле:

$$k_v = \frac{v_2 - v_1}{v_2} \cdot 100\% = \frac{v_3}{v_2} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где v_1 - объем керна без объема открытых пор и каверн;

v_2 - объем керна с заполненными парафином порами и кавернами;

v_3 - объем открытых пор и каверн.

4.72. Для определения коэффициентов кавернозности из каждого стратиграфического горизонта или закарстованной зоны отбираются 3-4 наиболее характерных образца керна, равномерно распределенных по рассматриваемому горизонту.

Полученные коэффициенты обрабатываются графически для получения более наглядной картины изменения кавернозности с глубиной и в различных стратиграфических горизонтах.

4.73. Непосредственно при проходке скважин производится отбор образцов пород с ненарушенной и с нарушенной структурой для лабораторных исследований. Для отбора образцов рыхлых пород применяются грунтоносы или двойные колонковые трубы.

4.74. 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, без нагрузки или с нагрузкой и т.д.). Каждый такой случай фиксируется в сменном рапорте и буровом журнале, где указывается, в каком интервале инструмент шел по карстовой полости.

Для надежного выявления полостей, разрушенных и ослабленных зон обязателен хронометраж бурения. Наблюдения за скоростью проходки следует вести и регистрировать непрерывно, причем не только в карстующихся, но и в покрывающих породах. При простейшем хронометраже размечаются штанги мелом на интервалы по 0,5 м или короче и по секундомеру или часам регистрируется время проходки каждого интервала.

4.75. В процессе бурения обязательны гидрогеологические наблюдения, при которых должны отмечаться: интервалы различного характера циркуляции промывочной жидкости (нормальная циркуляция, частичное, большое или полное поглощение); для каждого водоносного горизонта - глубина появления воды, наблюдения за восстановлением и установившийся уровень; установившийся уровень воды для каждого из интервалов поглощения; уровень воды в начале и в конце каждой смены; интервалы самоизлива воды и их

пьезометрические уровни; выходы газа из скважины. Обращается внимание также на температуру воды. Результаты наблюдений заносятся в первичные документы установленной формы. Отбираются пробы воды и газа на химический анализ, предусмотренный программой.

4.76. Во всех скважинах, предназначенных для изучения карста, следует проводить геофизические исследования, как минимум каротаж. Наилучшие результаты дает применение комплекса геофизических методов изучения скважин и околоскважинного пространства.

4.77. Все скважины (кроме режимных) немедленно после бурения и предусмотренных наблюдений в них и специальных работ (каротажные, опытные работы) должны быть ликвидированы (затампонированы). Ликвидационный тампонаж в нескальных породах производится вязкой глиной с поинтервальным уплотнением снизу вверх, а в скальных породах - цементными растворами с добавками инертных материалов. Тампонаж каждой скважины должен строго контролироваться и оформляться актом.

4.78. При выполнении изысканий в карстовых районах должны осуществляться специальные мероприятия по организационно-техническому обеспечению, контролю и экономическому стимулированию повышения качества бурения и документации скважин. В этих целях рекомендуется внедрение самописцев, регистрирующих режим бурения (в том числе интервалы ослабленных пород и провалов инструмента, режим промывки), сплошной фотодокументации керна, увеличение объемов каротажных работ.

4.79. Для более полного, чем при бурении, изучения трещиноватости и закарстованности пород, состава, свойств и состояния пород покрывающей толщи, наличия в них ослабленных, разуплотненных зон и полостей, изучения строения воронок и других карстовых форм рельефа применяются горные выработки (шурфы, дудки, канавы, расчистки и др.). Их тщательно документируют с составлением зарисовок и фотографированием стенок. Методика и содержание описания пород, их трещиноватости и закарстованности в основном аналогичны описанию обнажений (п. 4.30-4.36, 4.45, а также 4.66-4.69). Производится инженерно-геологическое опробование горных пород, отмечают водопритоки и капез в горных выработках, выходы газа, отбираются пробы воды. Выполняются предусмотренные программой полевые исследования грунтов, опыт-

но-фильтрационные и геофизические работы. При проходке горных выработок следует учитывать возможность наличия неустойчивых разрушенных закарстованных пород и больших водопритоков, иногда неожиданных, а также возможность наличия скоплений газа. В сложных случаях при изысканиях для особо важных объектов может оказаться целесообразной проходка шахт или штолен.

Геофизические исследования

Общие указания

4.80(3.188). При изысканиях следует максимально использовать наземные и скважинные геофизические методы для решения задач:

изучения условий развития карста - литологическое расчленение геологического разреза, установление тектонических особенностей, выявление и изучение древних долин, определение положения уровня подземных вод и т.п.;

изучения погребенного карстового рельефа, мощности, степени трещиноватости и кавернозности карстующейся толщи;

картирования карстовых полостей, разрушенных и разуплотненных зон в карстующейся толще и в толще покрывающих пород;

изучения трещинно-карстовых вод;

определения изменчивости физико-механических свойств горных пород (карстующихся и покрывающих).

4.81. Следует иметь в виду, что существующие методы и аппаратура наземных геофизических исследований позволяют выявить карстовые полости, как правило, лишь при отношении глубины залегания к их диаметру (h/d) не более 1-2, если к тому же они достаточно контрастно выделяются среди окружающих пород своими физическими характеристиками, а методы исследований околоскважинного и межскважинного пространства недостаточно разработаны и тоже имеют ограничения, касающиеся размеров и контрастности выражения в геофизических полях выявляемых полостей.

4.82. Для решения поставленных в п. 4.80 задач применяют различные модификации электроразведки и каротажа скважин, сейсморазведку, гравиразведку, радиометрические и прочие методы.

Геофизические методы необходимо применять комплексно.

Включение в комплекс того или иного метода определяется наличием благоприятных для него физических предпосылок и его способностью решать перечисленные в п. 4.80 задачи. Пример одного из возможных вариантов комплекса геофизических работ для изучения карста на стадии - проект приводится в табл. 5. При выборе комплекса геофизических работ рекомендуется учитывать характеристику возможностей и особенностей применения различных геофизических методов для изучения карста, излагаемую в настоящем разделе руководства в пп. 4.80-4.116.

Таблица 5
Комплекс геофизических работ для изучения карста
на стадии - проект, разработанный в Башкирии /7/1)

| NN пп. | Виды работ | Объемы на 1 км ² |
|-----------|--|--------------------------------|
| 1. | Наземные геофизические исследования, ф.н. | |
| | а) круговое вертикальное электророндирование (КВЗ) | 15-30 |
| | б) вертикальное электророндирование (ВЗР) ²⁾ : | |
| | - для глубокого (более 20-30 м) карста по сетке 100 x 100-50 м | 100-200 |
| | - для неглубокого (до 20-30 м) карста по сетке 50 x 50-25 м | 400-800 |
| | в) электропрофилирование (ЭП): | |
| | - для глубокого карста по сетке 50 x 50-25 м | 400-800 |
| | - для неглубокого карста по сетке 25 x 25-10 м | 1600-4000 |
| | г) сейсморазведка (МПВ): | |
| | - для глубокого карста (база приема 92 м, шаг сейсмоприемника 2-5 м) | 60-100 |
| | - для неглубокого карста (база приема 46 м, шаг сейсмоприемника 2 м) | 100-150 |
| 2. | Комплексный каротаж, % от объема бурения | 80 ³⁾ |

Примечания:

1) Таблица приводится в качестве примера одного из возможных вариантов комплекса геофизических работ для изучения карста

та (см. п. 4.82).

2) При выполнении ВЭЗ применяется метод двух составляющих (МДС).

3) В каротажные исследования в данном комплексе включаются методы сопротивлений КС (а в случае отсутствия воды в скважине - каротаж МСК), потенциалов собственной поляризации ПС, гамма-каротажа ГК, кавернометрии КМ, расходомерии РМ-С, ревивиметрии скважин РЕЗ (с засолением). При необходимости комплексу дополняется методом заряда МЗ, вертикальным сейсмическим профилированием ВСП и другими методами.

Важной особенностью геофизических исследований карста является потребность в проведении опытно-параметрических работ для выбора комплекса методов и схем измерения, оптимального для данных геологических условий.

4.83. Должно быть обеспечено своевременное выполнение геофизических исследований, требующихся для рационального размещения скважин. По мере накопления данных бурения, а также других работ, материалы этих исследований целесообразно подвергнуть повторной интерпретации.

Электроразведка

4.84. Электроразведка, как простой, мобильный и экономичный метод изысканий, используется для решения большинства задач, связанных с изучением общих вопросов геологии и гидрогеологии карстовых районов и определением местоположения зон развития карста, а в благоприятных условиях и отдельных карстовых полостей. Поскольку для карстовых районов зачастую характерны сложные геоэлектрические условия: наклонное залегание контактов пород, большая изменчивость удельного электрического сопротивления (УЭС) пород в разрезе и по площади, - преимущества имеет выполнение электропрофилирования (ЭП) и вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) методом двух составляющих (МДС).

4.85. Для изучения общих вопросов геологии районов используются вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и электропрофилирование (ЭП) установками различных модификаций и комплексные каротажные исследования. В сложных геоэлектрических ус

ловиях ведущими геофизическими методами являются ЭП МДС и ВЭЗ МДС. Применяются также вспомогательные методы: вызванной поляризации (ВЭЗ ВП и ЭП ВП), частотное электромагнитное зондирование (ЧЭМЗ), дипольно-электромагнитное профилирование (ДЭМП) и др. Методика работ по изучению общих вопросов геологии аналогична той, которая применяется вне карстовых районов. Сеть наблюдений, тип и размеры установок выбираются в соответствии с масштабом съемки и характером геоэлектрических условий района.

Проводятся измерения УЭС горных пород на образцах (из скважин и др.), в обнажениях и горных выработках.

4.86. При изучении погребенного карстового рельефа и подземных карстовых полостей основными методами являются различные модификации электропрофилирования (преимущественно МДС и по схеме "вычитания полей") и вертикального электрического зондирования (преимущественно МДС) и комплексные каротажные исследования. Кроме того применяются: метод вызванной поляризации, метод заряда (МЗ), электропросвечивание межскважинных массивов, дипольное электромагнитное профилирование, радиоволновое просвечивание и др.

ЭП МДС применяется для изучения сложного погребенного карстового рельефа и обнаружения и оконтуривания карстовых полостей, залегающих на небольшой глубине (менее 10-15 м). Сеть наблюдений выбирается в соответствии с масштабом съемки; при этом профили на местности располагаются произвольно по направлениям, позволяющим избежать помех со стороны рельефа, растительности или застройки территории. Работу следует проводить в виде непрерывной, т.е. с шагом, равным длине приемной линии (MN), профильной съемки двусторонними трехэлектродными или дипольными установками. Для уточнения формы карстовых полостей и положения их границ в разрезе целесообразно использовать симметричные установки МДС с двумя разносами приемных линий. В этом случае, наблюдения по профилю ведутся с шагом, равным длине меньшей приемной линии. ЭП МДС можно выполнять как по отдельным профилям (маршрутная съемка), так и по площади (площадная съемка).

При маршрутной съемке ЭП МДС, строят геоэлектрические разрезы по отдельным профилям, на которых показывают местоположение боковых границ раздела сред, их глубину залегания и видимый угол падения относительно дневной поверхности. Они сопровожда-

ются планом простираения геоэлектрических границ, построенным в том же масштабе, что и геоэлектрические разрезы. При площадной съемке строят карты-схемы корреляции границ геоэлектрических аномалий на исследуемой территории.

ВЭЗ МДС применяется для определения глубины, элементов залегания, мощности и строения карстующихся толщ и для изучения проявлений карста, выявленных электропрофилеированием. Выполняется двусторонними трехэлектродными или дипольными установками. Положение центров зондирований определяется по данным ЭП. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы каждая карстовая или предположительно карстовая аномалия на графиках ЭП МДС была охарактеризована двумя ВЭЗ МДС, один из которых должен располагаться над центром аномалии, а второй - за ее пределами, вблизи одной из боковых границ. На каждой точке зондирования определяют: количество горизонтальных слоев в разрезе, их мощность и УЭС (с точностью $\pm 20\%$); местоположение в разрезе наклонных контактов, их глубину залегания (с точностью $\pm 20-30\%$), простираение (с ошибкой $\pm 5-10^\circ$), истинный угол падения (с погрешностью $\pm 2-5^\circ$). По этим данным составляются геоэлектрические разрезы и планы простираений по отдельным профилям. В случае площадной съемки строятся карты глубин залегания кровли и подошвы карстующейся толщи. На основании анализа данных ЭП МДС и ВЭЗ МДС выявляют зоны различной интенсивности карстопоявлений и определяют их форму, размеры и глубину залегания.

Для выявления трещиноватых и закарстованных зон и полостей в околоскважинном пространстве используется метод заряда (МЗ) в разных вариантах, а между скважинами и другими горными выработками - электропросвечивание и радиоволновое просвечивание.

4.87. При выполнении электроразведки обводненные трещиноватые и закарстованные зоны, а также полости, заполненные породами низкого сопротивления, выделяются в виде зон пониженных сопротивлений; а сухие незаполненные карстовые полости - в виде зон повышенного сопротивления. На графиках ЭП МДС и ВЭЗ МДС карстовые полости выделяются аномалиями характерного вида, в том случае, если их размеры достаточно велики по сравнению с глубиной залегания.

4.88. На участках с наклонной слоистостью или трещиноватостью необходимо проводить крестовые ВЭЗ МДС. Количественная интерпретация получаемых с их помощью данных позволяет опреде-

лить простирание слоистости или трещиноватости, соотношение мощностей проводящих (разрушенных или заполненных водой) и непроводящих (сохранных) прослоев пород, УЭС прослоев пород и коэффициент электрической анизотропии толщи. Для изучения направлений трещиноватости применяют также круговые ВЭВ. В случае горизонтального залегания слоистости или трещиноватости аналогичная информация может быть получена в результате комплексной интерпретации кривых ВЭВ КС и каротажа КС скважин.

4.89. ЭП и ВЭВ в любой их модификации играют роль вспомогательных методов при определении уровня грунтовых вод (УГВ) в карстовых районах. Участки инфильтрации поверхностных и места разгрузки подземных вод исследуются с помощью комплексной наземной или подводной съемки потенциала естественного электрического поля (ЕП), резистивиметрии и термометрии. Измерения производятся по стандартной методике, разработанной для каждого из этих методов. Результаты наблюдений представляются в виде графиков измеряемых параметров по профилям или карт распределений равных значений этих параметров по площади. Качественная и количественная интерпретация материалов комплексной съемки позволяет выявить и оконтурить площади инфильтрации поверхностных вод, определить направление движения подземных вод при их неглубоком залегании и обнаружить места их разгрузки, если они перекрыты рыхлыми отложениями или находятся на дне водоемов.

4.90. Метод заряженного тела (МЗТ) применяется для определения направления и скорости движения вскрытых скважиной подземных вод. Наблюдения производятся по стандартной методике. Результаты измерений изображаются в виде круговых диаграмм изменения формы эквипотенциальных линий в пространстве и времени. По форме круговых диаграмм находят направление потока подземных вод, а по скорости миграции какой-либо одной из эквипотенциалей - горизонтальную составляющую скорости движения потока. МЗТ применим при относительно неглубоком залегании подземных вод (до 20-30 м) и близком к горизонтальному направлению движения потока.

4.91. Каротаж сухих необсаженных скважин производится по способу кажущегося сопротивления (КС) с помощью зондов, предусматривающих непосредственный гальванический контакт питающих и приемных электродов со вскрытыми породами (МСК). Размеры зондов подбираются таким образом, чтобы влиянием ствола скважины можно

было пренебречь, а электроды можно было бы считать точечными. Из остальном методика наблюдений, схемы измерительных зондов и применяемая аппаратура остаются стандартными. Результаты измерений изображаются в виде диаграмм КС. Количественная и качественная интерпретация их позволяет: уточнить местоположение литологических границ в разрезе; уточнить вертикальные размеры карстовых полостей; определить величины продольного УЭС слоистой или трещиноватой толщи, необходимые для вычисления инженерно-геологических и электрических характеристик.

4.92. В обводненных или заполненных буровым раствором скважинах необходимо проводить комплексный электрический каротаж: кажущихся сопротивлений (КС), естественного поля (ПС), вызванной поляризации (ВП) и резистивиметрию. Применяются также боковое каротажное зондирование (БКЗ), повторное боковое каротажное зондирование (ПБКЗ), микрозондирование. Конструкции и параметры зондов, измерительная аппаратура, методика наблюдений и интерпретации - обычные. Данные комплексного электрического каротажа используются для уточнения геолого-литологического разреза скважины, выделения в нем зон трещиноватых и разрушенных пород, уточнения данных о глубинах, вертикальных размерах и характере заполнения вскрытых скважиной карстовых полостей, определения удельного электрического сопротивления (УЭС) пород, выделения интервалов притока и поглощения воды в скважине, определения минерализации воды.

Электрический каротаж рекомендуется проводить в комплексе с термометрией, кавернометрией, расходомерией, радиоактивным и акустическим каротажом.

Резистивиметрические исследования с искусственным засолением воды, а также ПБКЗ, позволяют получить по разрезу скважины послойную оценку водопроницаемости пород и скорости фильтрации вод.

Гравиразведка

4.93. Возможность применения гравиразведки для изучения карста основана на значительной разнице по плотности рыхлых отложений, кавернозных и сохранных карстующих пород.

4.94. В благоприятных условиях с помощью гравиразведки могут быть решены следующие задачи:

выявление тектонических структур и переуглубленных речных долин;

картирование и определение глубины залегания кровли карстующихся пород;

обнаружение, оконтуривание и определение глубины залегания крупных полостей или зон разрушенных и сильнокаверновых пород.

4.95. Специфика гравиметрических работ в карстовых районах определяется тем, что карстовые формы из-за малости их размеров создают слабые аномалии в поле силы тяжести, несмотря на значительную дифференциацию пород по плотности. В связи с этим поставленные выше задачи решаются на базе высокоточной гравиметровой съемки, выполняемой по стандартной методике.

Интерпретация гравиразведочных данных проводится обычными способами и подразделяется на качественную и количественную, в ходе которой определяют форму, размеры, местоположение возмущающего объекта, а также вычисляют глубину залегания его и плотность.

Сейсморазведка

4.96. Сейсморазведочный метод исследований карста основан на особенностях распространения упругих волн в породах с различной литологией, состоянием, трещиноватостью и закарстованностью. Участки ненарушенных пород характеризуются повышенными скоростями продольных и поперечных волн. Закарстованные и сильнотрещиноватые участки - пониженными скоростями упругих волн и особенностями, связанными с анизотропией пород, дифракцией волн на границах раздела и другими явлениями.

4.97. Сейсморазведка в карстовых районах применяется для решения следующих задач:

изучение геологического строения территории;

определение положения уровня грунтовых вод;

определение мощности закарстованной толщи;

выявление и картирование трещиноватых и закарстованных зон;

в благоприятных случаях - выявление карстовых полостей и оценка их размеров;

определение упругих свойств горных пород.

4.98. При сейсморазведочных исследованиях в карстовых ра-

йонах используются различные модификации наземных наблюдений и наблюдений во внутренних точках среды. Наземные наблюдения обычно проводятся методами преломленных волн (МПВ), в том числе корреляционным (КМПВ), в модификации, как правило, непрерывного сейсмического профилирования. Наблюдения с использованием скважин и других горных выработок проводятся методами вертикального сейсмического профилирования (ВСП), сейсмокаротажа и сеймопросвечивания.

4.99. Возбуждение колебаний производится, как правило, ударным способом: с помощью ручного молота или передвижной ударной установки, смонтированной на шасси автомашины или прицепа, и вибраторов. В отдельных случаях могут применяться пороховые заряды, электрические разряды в жидкости и другие известные источники колебаний.

4.100. При сейсморазведочных работах используются многоканальные станции ряда "Поиск", СМОВ-0-24, ISN-24, Прогресс-2 и другие. При небольшой глубине исследований (до 20 м) можно использовать одно-трехканальные сейсмические установки.

4.101. Непрерывное сейсмическое профилирование выполняется по корреляционно увязанной системе с получением встречных и нагоняющих годографов при 4-6 пунктах удара на одной стоянке. Шаг между сейсмоприемниками по профилю (Δx) изменяется от 2 до 5 м.

4.102. Для построения геосейсмических разрезов по годографам прямых, преломленных и рефрагированных волн используются известные в сейсморазведке приемы ручной и машинной обработки.

4.103. При совместной регистрации продольных и поперечных волн оцениваются модули упругости и прочностные характеристики пород различной степени трещиноватости и разрушенности. Определяется также положение уровня грунтовых вод.

4.104. Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) проводится с целью изучения процесса образования и распространения сейсмических волн в реальной среде и формирования волнового поля, детального изучения упругих свойств пород, обнаружения (если позволяют условия) карстовых полостей и закарстованных зон в околоскважинном пространстве, а также для оценки направлений трещиноватости в массиве пород.

ВСП основано на изучении распространения упругих волн вдоль лучей, наклонных относительно оси скважины, а также вдоль оси скважины. Пункты возбуждения упругих колебаний (удара)

обычно располагаются на земной поверхности на различных расстояниях от устья скважины по одному или нескольким лучам, а сейсмоприемники - в скважине на различных глубинах. Используются многоканальные скважинные вонды с прижимными устройствами, позволяющими принимать волны не только в обводненных, но и в сухих интервалах скважин.

Обработка получаемых непродольных вертикальных годографов производится или вручную путем приведения их к вертикали или с помощью имеющихся программ на ЭВМ.

4.105. Сейсмический каротаж скважин является частным случаем ВСП, когда пункт удара располагается возле устья скважины. Применяется для определения средних и пластовых скоростей распространения волн, оценки упругих свойств горных пород и расчленения разреза скважины по этим признакам. Регистрируются, как правило, первые вступления проходящих (прямых) волн. Результаты сейсмического каротажа изображаются в виде диаграмм изменения средних и пластовых скоростей с глубиной. Соответствие полученных скоростей тем или иным породам устанавливается при сопоставлении каротажных диаграмм с геологической колонкой и данными других видов каротажа.

4.106. Сейсмическое просвечивание производится между двумя горными выработками (скважинами, шурфами и др.) с целью определения средних скоростей волн в массиве на различных глубинах и, если условия позволяют, для выявления и определения формы и размеров карстовых полостей, залегающих между выработками и не вскрытых ими.

Выполняется с помощью той же аппаратуры, что наземная сейморазведка и ВСП. Наблюдения ведутся по системе горизонтальных (прямых) и наклонных лучей. Упругие колебания возбуждаются в одной из выработок с помощью ударов на различных глубинах, а сейсмоприемники помещаются на различных глубинах в другую выработку. Базы просвечивания, то есть расстояния между пунктами возбуждения и приема, определяются по данным маркшейдерской привязки выработок.

Результаты сеймопросвечивания представляются в виде индикатрисс скоростей для различных глубин и направлений. По горизонтальным (прямым) лучам вычисляются средние скорости распространения волн в породах на различных глубинах. Местоположение, форма и приблизительные размеры карстовых полостей в прос-

вечиваемом массиве определяются на основании анализа изменения всех индикатрисс скоростей. Разработаны алгоритмы расчета на ЭВМ элементов волнового поля применительно к задачам сейсмического просвечивания.

Акустические исследования

4.107. Акустические исследования, используемые при изучении карста, включают: акустический (ультразвуковой) каротаж - АК, акустическое просвечивание (проввучивание) массива пород между скважинами и другими горными выработками и ультразвуковую керноскопию.

4.108. Акустический (ультразвуковой) каротаж (АК) применяется для:

детального расчленения разреза скважины по литологии;
обнаружения зон разуплотнения и напряженного состояния пород;

оценки инженерно-геологических характеристик пород в массиве;

определения значений скоростей распространения упругих волн на высоких частотах;

оценки степени неоднородности массива и, в частности, его анизотропии.

Для проведения акустического каротажа может быть использована ультразвуковая аппаратура типа ИПА-59, ДУК-20, УК-10П и различные варианты переделанных для этих целей приборов ИКЛ-5 и Р-5-5. Каротаж скважин производится с помощью зондов различной конструкции. База зонда и шаг измерений выбираются исходя из дифференцированности разреза и необходимой детальности исследований, с учетом аппаратурных возможностей и наличия помех.

Обработка материалов АК заключается в выделении двух групп волн - продольных Р и поверхностных R, считывании времени их прихода, построении годографов и вычислении скоростей распространения. Результаты представляются в виде диаграмм изменения скоростей продольных и поверхностных волн (V_P и V_T) по глубине. Измеряя, кроме того, периоды и амплитуды волн (при различных расстояниях от источника до приемника колебаний) получают характеристики их спектральных особенностей и поглощающих способностей среды.

Интерпретация данных акустического каротажа заключается в нахождении интервалов глубин, характеризующихся близкими значениями определяемых сейсмоакустических параметров, и оценке по их совокупности инженерно-геологических свойств грунтов.

Оценка производится на основании существующих связей между составом, строением и состоянием пород, и их физико-механическими свойствами. Инженерно-геологические характеристики пород, полученные по данным ультразвуковых наблюдений в скважинах и выработках, могут быть распространены на массив при совместном рассмотрении результатов ультразвуковых и сейсмических исследований.

4.109. Акустическое просвечивание (прозвучивание) массивов пород может быть применено для выявления закарстованных зон и полостей между скважинами и другими горными выработками. В одной скважине (выработке) помещается источник возбуждения акустических волн, в другой - приемник. Взаимное перемещение излучателя и приемника по глубине скважин позволяет построить сплошное поле скоростей распространения волн и поле их поглощений в межскважинном массиве. Закарстованные зоны отмечаются на этих полях минимумами значений скоростей и аномалиями поглощений. Имеются программы для обработки результатов измерений на ЭВМ.

Магниторазведка

4.110. Область применения магниторазведки при изучении карста ограничена. Она может быть использована для обнаружения карстовых полостей, заполненных материалом с высокой магнитной восприимчивостью, например, бокситами, приуроченными к погребенным карстовым воронкам в карбонатных породах. Методика проведения магнитной съемки обычная. Интерпретация полученных данных ведется по стандартной методике.

Резистивиметрия поверхностных водоемов и колодцев

4.111. В основу метода положена отчетливая зависимость УЭС воды от ее минерализации, то есть от концентрации растворенных в ней солей. Резистивиметрия выгодно отличается от гидрохими-

ческих методов определения минерализации подземных вод своей высокой производительностью и возможностью непрерывной регистрации изменений УЭС воды, что позволяет с большей детальностью картировать изменения минерализации вод как по площади, так и по глубине водоемов. Методика наблюдений стандартная. Работа должна выполняться в комплексе с термометрией (п. 4.112) и увязываться с гидрохимическими исследованиями.

Результаты измерений изображаются в виде карт и графиков изменения УЭС и температуры воды в горизонтальном (профилирование) или вертикальном (зондирование) направлении. При определении минерализации вод УЭС приводят к температуре 18°C по формуле:

$$\rho_{18^{\circ}} = \rho_{t^{\circ}} [1 + 0,025(t^{\circ} - 18^{\circ})], \quad (3)$$

где t° - температура, при которой измерено УЭС воды.

Переход от УЭС воды к ее минерализации M осуществляется по формулам:

$$M \text{ мг/л} = K_1 \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

или

$$M \text{ мг-экв/л} = \frac{10^4}{K_2 \cdot \rho}, \quad (5)$$

где K_1 и K_2 - переходные коэффициенты, зависящие от класса воды.

Для определения минерализации вод без учета их относительного состава используют корреляционную зависимость вида $\rho_{18^{\circ}} = f(M)$, которую составляют для каждого района исследований отдельно по установленным в ходе работ данным о величинах УЭС и минерализации поверхностных и подземных вод.

Получаемая информация используется для районирования водоемов, а также изучаемой территории в целом, по минерализации вод, определения мест разгрузки подземных вод (в частности, субквальных источников) и участков поглощения поверхностных вод.

Термометрия

4.112. Термометрия проводится:

в скважинах, в комплексе с другими каротажными работами и гидрохимическим опробованием;

в поверхностных водоемах, реках, ручьях, источниках, колодцах в комплексе с резистивиметрией и гидрохимическими исследованиями.

Термометрия в водоемах, реках и других поверхностных водопоявлениях выполняется для решения задач, изложенных в п. 4.111. В частности, она является эффективным методом обнаружения субаквальных источников и участков поглощения вод на дне водоемов и рек. Работа выполняется в виде непрерывной записи данных термодатчиков различных конструкций или в виде точечных наблюдений с помощью закаливаемых термометров. Пункты измерений в реках и водоемах следует располагать на профилях, ориентированных вдоль береговых линий. Температуру воды в каждом пункте рекомендуется определять на нескольких глубинах и обязательно - у самого дна. Шаг наблюдений выбирается с таким расчетом, чтобы источники подземных вод могли быть надежно зафиксированы в изучаемых температурных условиях.

Ядерные исследования скважин

4.113. Ядерные исследования скважин: гамма-каротаж (ГК), гамма-гамма-каротаж (ГГК), нейтрон-нейтронный каротаж (ННК), а также нейтронный гамма-каротаж (НГК), - применяются для оценки плотности породы, ее влажности и содержания в ней глинистых частиц, для детального расчленения геолого-литологического разреза скважины по этим признакам, оценки водонасыщенности пластов, выделения в разрезе трещиноватых и закарстованных зон и полостей и изучения характера заполнения карстовых полостей и трещин. Радиоактивный каротаж может выполняться в любых скважинах: обводненных и сухих, необсаженных и обсаженных. Данные ГК характеризуют содержание глинистого материала, ГГК - плотность породы, ННК и НГК - содержание воды (влажность). Эти данные позволяют получить ценную информацию о трещиноватости и закарстованности пород по разрезу скважины, включая характеристику заполнителя полостей и трещин. Методика проведения работ и интерпретации полученных материалов обычная.

Эманационная съемка

4.114 Для выявления карстоопасных зон в пределах изучаемой территории может быть использована эманационная (радон-тоновая) съемка. Методика работ заключается в изучении распределения свободной эманации в подпочвенном слое песчано-глинистых грунтов. Работа выполняется по стандартной методике с помощью серийных приборов типа "Радон". Пробы воздуха для определения содержания эманации отбираются входящим в комплект прибора насосом из шпуров глубиной 0,8-1 м. Сеть наблюдений выбирается в соответствии с масштабом съемки. При детализации аномалий она сгущается до 5-0,2 м. Большое значение имеет тщательность соблюдения технологических требований к выполнению съемки (к отбору проб воздуха, работе с прибором).

Эманационная съемка может выполняться как на незастроенных, так и на застроенных территориях. Результаты наблюдений изображают в виде графиков частоты импульсов в минуту или карт равных интенсивностей эманации (изоземан). Наличие минимумов среди нормального эманационного фона, характерного для данных отложений, свидетельствует о возможном наличии трещиноватой или закарстованной зоны.

Кавернометрия, расходометрия и фотометрия

4.115. Кавернометрия заключается в измерении диаметра скважины специальными приборами - каверномерами. Сведения об изменении диаметра скважины нужны для оценки ее технического состояния, при интерпретации результатов большинства методов каротажа, а также для расчленения геологического разреза. Расчленение разреза основано на том, что при проходке скважины в сыпучих и мягких породах ее диаметр увеличивается. Выполнение кавернометрии позволяет измерить размеры вскрытых скважиной карстовых полостей и определить степень их заполнения. Результаты наблюдений изображаются в виде кавернограммы, отражающей изменение диаметра скважины с глубиной.

4.116. Расходометрия заключается в измерении расхода, а также определении направления потока воды в стволе скважины специальными приборами - расходомерами. Результаты измерений представляются в виде расходограммы, показывающей изменение

расхода по глубине. На диаграмме интервалам водонепроницаемых пород соответствуют участки с постоянными значениями расхода, а в интервалах водопроницаемых пород расход с глубиной изменяется. Расходомерия может проводиться при естественном режиме перетока воды в скважине, при фонтанировании, откачках и наливах. Обычно ее выполняют при естественном уровне воды в скважине и при одной или нескольких ступенях его изменения. Применение расходомерии позволяет произвести детальное расчленение разреза скважины на пласты и зоны различной водопроницаемости и определить их гидрогеологические параметры. Ее выполнению обязательно должна предшествовать квернометрия.

Существуют методы и аппаратура для проведения фотометрии скважин (боковое фотографирование стенок, телефотометрический каротаж).

Гидрогеологические исследования

4.117. Гидрогеологические исследования решают задачи, изложенные в п. 5.40. Они включают:

сбор, анализ и обобщение гидрогеологических данных по материалам прошлых лет (пп. 4.1-4.5);

гидрогеологические исследования при наземном карстологическом обследовании местности (пп. 4.47-4.52);

гидрогеологические наблюдения при буровых и горнопроходческих работах (пп. 4.75 и 4.79);

опытно-фильтрационные работы (пп. 4.118- 4.131);

стационарные гидрогеологические исследования (пп. 4.144-4.151);

специальные гидрогеологические исследования (п. 4.132).

В составе перечисленных гидрогеологических исследований выполняются гидрохимические исследования для установления химического состава подземных и поверхностных вод в целях оценки их влияния на развитие карста, в том числе в целях оценки возможности и интенсивности его развития (пп. 5.41-5.57).

При проведении гидрогеологических и, входящих в них, гидрохимических исследований следует максимально использовать возможности геофизических методов (пп. 4.89, 4.90, 4.92, 4.111-4.113, 4.116, 4.148 и др.).

4.118. Опытнo-фильтрационные работы в карстовых районах производятся для определения:

коэффициентов фильтрации (водопроницаемости), уводнепроводности (пьезопроводности) и водоотдачи (водовместимости), а также удельного водопоглощения закарстованных пород и покрывающих их отложений;

производительности водоносных горизонтов (удельные и общие дебиты);

размеров, форм и темпов роста депрессионной воронки;

связи между отдельными водоносными горизонтами;

гидравлической связи подземных вод с поверхностными;

направления и скорости движения подземных вод.

4.119(3.190). Для определения фильтрационных свойств пород, установления проницаемых зон и линий (зон) тока подземных вод, скорости фильтрации следует выполнять полевые опытнo-фильтрационные работы: кустовые откачки с несколькими лучами наблюдательных скважин - кустовые наливыв в скважины; нагнетания воды и воздуха в скважины; следует применять индикаторные методы (химический, электрохимический, колориметрический, радиоиндикаторный).

Применяются и другие виды опытнo-фильтрационных работ: экспресс-откачки, экспресс-наливыв, пробные и опытные откачки из одиночных скважин и шурфов, наливыв в одиночные скважины и шурфы.

При выполнении опытнo-фильтрационных работ отбираются пробы воды на химический анализ.

Для решения перечисленных в п. 4.118 задач проводятся также геофизические, стационарные и другие исследования.

4.120. При определении видов и объемов необходимых опытнo-фильтрационных работ, выборе мест их проведения, определении методики выполнения и обработке результатов следует учитывать крайнюю неравномерность водопроницаемости закарстованных массивов в плане и по вертикали, наличие зон с различной степенью и характером закарстованности и различным режимом подземных вод, вплоть до нередко встречающихся практически водонепроницаемых зон и изолированных водотоков.

Зачастую характерна так называемая "двойная пустотность" трещиноватых и закарстованных пород. Система пустот первого порядка (макротрещины и карстовые полости) характеризуется повы-

шонной водопроницаемостью, относительно низкой емкостью и высокой пьезопроводностью. Проницаемые же блоки породы с пустотами второго порядка (микротрещины, пористость, каверновость) характеризуются малой водопроницаемостью, повышенной емкостью и относительно низкой пьезопроводностью. В случае двойной пустотности водопроницаемость массива определяется в основном пустотностью первого порядка, а емкостные свойства - преимущественно пустотностью второго порядка.

В толщах гипсов, ангидритов и массивных известняков движение вод осуществляется по системе редких трещин, карстовых полостей и закарстованных зон, а также по прослоям водопроницаемых пород; основная же масса гипса и ангидрита между этими трещинами, полостями и прослоями обычно водонепроницаема. В плитчатых, пористых, незакарстованных известняках, наоборот, может преобладать пустотность второго порядка. Гипсы и карбонатные породы, массивные и плитчатые разновидности могут переслаиваться, создавая анизотропию и т.д.

Выбор (или уточнение) местоположения скважин и, в особенности, их кустов, предназначенных для опытно-фильтрационных работ, должен проводиться на основе анализа неоднородности гидрогеологических условий по данным наземного карстологического обследования местности, бурения разведочных скважин, выполненных на этих скважинах гидрогеологических наблюдений в процессе проходки, экспресс-откачек и экспресс-наливов, по результатам каротажных работ и полевых геофизических исследований.

4.121. При изысканиях в карстовых районах для получения сравнительной оценки закарстованности различных зон, предварительной ориентировочной оценки их водопроницаемости и водоносности и для выбора мест заложения опытных откачек рекомендуется применять в массовом порядке при бурении разведочных скважин экспресс-откачки и экспресс-наливы с наблюдениями за восстановлением уровня воды.

4.122. Основным методом исследования водонасыщенных пород для определения их гидрогеологических параметров являются откачки, при проведении которых измеряются дебиты и понижения уровней воды и вычисляются коэффициенты фильтрации, уровнеспроводности (пьезопроводности) и водостдачи. Различаются следующие виды откачек: пробные, одиночные опытные, кустовые (в том числе, групповые) опытные и опытно-эксплуатационные.

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

4.124. Опытные откачки из одиночных скважин выполняются с целью определения коэффициентов фильтрации (водопроницаемости) в случаях, когда не требуются более точные определения этих коэффициентов, и для изучения их распределения по площади. На основании большого числа опытных откачек из одиночных скважин могут быть получены характеристики водопроницаемости для зон с различной степенью закарстованности, а также осредненное представление об изучаемой территории.

4.125. Опытные кустовые откачки выполняются с целью определения расчетных значений коэффициентов фильтрации, уровнепроводности (пьезопроводности) и водоотдачи. Они применяются также для изучения связи между водоносными горизонтами и связи подземных вод с поверхностными. Ввиду значительной стоимости кустовых откачек и неравномерной водопроницаемости карстовых массивов места расположения опытных кустов следует выбирать особенно тщательно.

4.126. При выборе методики, подготовке, проведении откачек и обработке их результатов нужно учитывать различный характер водопроницаемости карстующихся пород и неравномерность их закарстованности (п. 4.120), зачастую наблюдающийся эффект двойной пустотности, фильтрационную анизотропию, наличие внутри пласта (массива) различного рода непроницаемых границ, границ неоднородности и т.п. В зависимости от конкретных условий проведения опыта и поставленных задач изучаемый откачкой участок карстового массива может рассматриваться как однородный (в простейших случаях), однородно-анизотропный (по вертикали или горизонтали), неоднородно-анизотропный во всех направлениях и т.д., вплоть до наличия отдельных подземных водотоков. Сведения об особенностях методики определения параметров водоносных горизонтов в трещиноватых и закарстованных горных породах, а также ссылки на литературу по этим вопросам можно найти в "Справочном руководстве гидрогеолога"/87/ и в книге Боровского В.В., Самсонова Б.Г., Язвина Л.С. /14/.

При кустовых откачках в карстующихся породах следует, как правило, иметь не менее двух лучей наблюдательных скважин, при-

чем, с целью изучения анизотропии по горизонтали, один из них рекомендуется располагать по направлению преобладающей трещиноватости, а другой перпендикулярно. В случае проведения откачки вблизи реки один луч направляется перпендикулярно к ней, а другой - параллельно. Длину и положение фильтров в центральной и наблюдательных скважинах предпочтительно иметь одинаковыми, а в случае необходимости определения фильтрационной анизотропии в вертикальном направлении и изучения взаимосвязи между водоносными горизонтами наблюдательные скважины располагаются "позажно" в характерных слоях. Для получения более надежных характеристик водопроницаемости и уровнепроводности расстояния от центральной до крайних наблюдательных скважин куста рекомендуется выбирать возможно большими (насколько позволяют радиус влияния и граничные условия).

При выборе конструкции скважин и оборудования для откачек следует учитывать, что коэффициенты фильтрации сильно закарстованных зон зачастую превышают 100 м/сут. Если при этом одной центральной скважины недостаточно для создания требуемого понижения уровня, проводится групповая откачка (из двух и более скважин). Иногда при определении режима откачки и расположения наблюдательных скважин приходится считаться с возможностью возникновения турбулентного режима в зоне, прилегающей к центральной скважине. Потребность в устройстве фильтров и их конструкция зависят от степени устойчивости закарстованных пород и наличия или отсутствия заполнителя в трещинах и полостях.

Следует очень внимательно подходить к размещению скважин и интерпретации результатов кустовых откачек в гипсах, ангидритах и массивных карбонатных породах с редкой трещиноватостью. В этих породах одни скважины куста могут вскрыть водоносные карстовые полости и крупные трещины (пустотность первого порядка), другие - попасть в блоки с пустотностью второго порядка и по иному реагировать на откачку, третьи - попасть в монолитные породы и оказаться безводными, четвертые - вскрыть подземные водотоки, гидравлически не связанные с остальными скважинами. Неучет этого обстоятельства приводит к ошибочным оценкам гидрогеологических параметров.

В случае необходимости проводят откачки при двух-трех понижениях для решения специальных задач, например: установление зависимости расхода от понижения (кривая дебита), изучение не-

однородности пластов, определение значения естественной разгрузки подземных вод, оценка суффозионной устойчивости заполнителя трещин и пустот и др.

4.127. 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 и возможности активизации карста и суффозии. Причем, влияние откачки не должно распространяться на площадки ответственных зданий и сооружений.

Откачки по методу больших депрессий проводятся из одной или двух-четырех скважин большого диаметра (300 мм и более) с использованием достаточно мощных насосов глубинного типа или центробежных (самовсасывающих).

Для выявления фильтрационной неоднородности пород наблюдательные скважины следует закладывать по 3-6 лучам и в достаточном удалении от предполагаемой зоны турбулентного движения воды, образующейся вблизи откачиваемой скважины. В качестве наблюдательных используются также все существующие ранее пробуренные скважины, попадающие в зону влияния откачки.

4.128. Для определения фильтрационных характеристик и решения других задач п. 4.118 необходимо организовать специальные наблюдения за работой водозаборных скважин, имеющих на исследуемой территории, и изменениями связанных с ними депрессионных воронок. Для этого, в случае необходимости, бурятся дополнительные наблюдательные скважины.

4.129. Для изучения неоднородности водопроницаемости и закарстованности пород по вертикали проводятся зональные (поинтервальные) по длине скважины опытно-фильтрационные работы (экспресс-откачки, экспресс-наливы, пробные и опытные откачки, наливы, нагнетания воды или воздуха). В тех же целях в скважинах проводятся расходомерия, резистивиметрия, термометрия и другие геофизические работы.

4.130. Опытные наливы и нагнетания проводятся: для оценки водопроницаемости неводоносных горных пород; для получения данных об удельном водопоглощении горных пород, необходимых для оценки условий проведения цементационных работ; взамен пробных откачек. Кроме того, нагнетания воды проводятся для определения изменения водопроницаемости грунтов под воздействием фильтрации

и в других случаях, создаваемого гидротехническими сооружениями. В отношении условий выполнения наливов и нагнетаний в карстовых районах в основном те же, что при осуществлении откачек (пп. 4.134, 4.135).

4.131. Определение направления и скорости движения подземных вод производится путем запуска индикаторов в скважины или в места поглощения поверхностных вод, с последующим улавливанием их в других пунктах в скважинах или источниках. В качестве индикаторов применяются различные краски (флюоресцеин, эозин, притрозин, красная конго, метиленовая синька, анилиновая голубая и др.), растворимые 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.

4.132. При необходимости выполняются специальные гидрогеологические исследования. В их числе:

натурные наблюдения за растворением пород подземными и поверхностными водами в естественных и искусственных обнажениях (п. 4.154) и на образцах, помещаемых в буровые скважины, в подземные водопоявления в горных выработках и пещерах, в источники карстовых вод и т.д.;

натурные опыты по изучению размыва и суффозионного выноса заполнителя из пустот и трещин в горных породах;

опыты по закачке в горные породы цементных растворов, инертных и других материалов;

экспериментальные лабораторные исследования процессов растворения в карстующихся породах и грунтах покрывающей толщи и развития фильтрационно-гравитационных деформаций в грунтах над

трещиноватыми и закарстованными породами (шп. 4.141, 5.41, 5.57);

гидродинамическое моделирование на аналоговых машинах и ЭЦВМ, гидрогеомеханические расчеты, компьютерное термодинамическое моделирование растворения горных пород (4.143, 5.40, 5.53, 5.142, 5.143).

Полевые исследования грунтов

4.133(3.189). При необходимости используются статическое, динамическое, вибрационное зондирование и пенетрационно-картажные исследования для решения задач: выявления и оконтуривания в толще покрывающих пород ослабленных разуплотненных зон и полостей; выявления и оконтуривания слабых грунтов как поверхностных и погребенных карстовых форм рельефа; уточнения геологического разреза, в том числе изучения рельефа кровли скальных пород в случае их залегания на доступной для зондирования глубине.

Рекомендуется по возможности шире применять зондирование и пенетрационно-картажные исследования для решения вышеперечисленных задач, выделения инженерно-геологических элементов, определения состава, состояния, физических и механических свойств грунтов, оценки их пространственной изменчивости, оценки возможности погружения в грунты свай и их несущей способности.

4.134. В карстовых районах применяются также другие методы полевых исследований пространственной изменчивости состава, состояния и свойств грунтов, определения их плотности, прочностных и деформационных характеристик, напряженного состояния, порового давления, сопротивления сваям: замеры объема и массы грунта для вычисления его плотности, испытания статическими нагрузками на штампы, прессиометрия, сдвиги целиков, выпирание или обрушение призм грунта, вращательный срез, поступательный срез, испытания эталонной сваей, микропенетрация и др. Результаты используются для расчетов оснований зданий и сооружений и противокарстовых конструкций.

Лабораторные работы и экспериментальные исследования

4.1:5(3.191). Лабораторные исследования должны включать определение состава, состояния и физико-механических свойств или растворимых, так и нерастворимых пород, входящих в состав карстующейся толщи и покрывающих их отложений, в том числе изучение заполнителя карстовых полостей и трещин. Устанавливается качественный состав подземных и поверхностных вод и определяется их агрессивность к карстующимся породам аналитическими и экспериментальными методами.

Число лабораторных определений следует устанавливать исходя из необходимости дать характеристику всех основных литологических разностей и инженерно-геологических элементов, входящих в состав карстующейся и покрывающей толщ, заполнителя карстовых полостей, всех водоносных горизонтов и гидрохимических зон. Требуется изучить качественный состав вод в зонах различной закарстованности пород.

При необходимости проводятся специальные экспериментальные исследования по растворению горных пород агрессивными водами и проточками, суффозионной устойчивости и т.д.

4.136. Необходимо изучение минералогии, петрографии и химического состава горных пород для литолого-стратиграфического и инженерно-геологического расчленения карстующейся толщи и покрывающих отложений, оценки степени закарстованности и способности горных пород к карстованию, 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 производится полный или сокращенный анализ, применяются спектральный анализ, водные

и кислотные вытяжки. В состав химического анализа, в числе других определений, входит определение общего содержания органических веществ.

Определение содержания в горных породах стронция и суммы окислов калия и натрия требуется для применения геохимического метода диагностики зон активного карстования (п. 5.35).

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

4.137. Химический анализ подземных и поверхностных вод требуется для определения степени их агрессивности к карстующимся породам и скорости растворения этих пород, выделения гидрoхимических зон, изучения взаимосвязи между водоносными горизонтами, изменений химического состава подземных вод под влиянием естественных и техногенных факторов, оценки и прогноза интенсивности развития карста.

При отборе пробы воды измеряется ее температура. Немедленно проводится полевое определение pH, содержания свободной CO₂ и других неустойчивых характеристик. Состав определений, требующихся для оценки агрессивности воды к карстующимся породам и скорости растворения пород, указан в п. 5.42. Кроме того, отмечают или определяют количественно прозрачность, наличие взвешенных веществ, выпадение осадка и изменение воды при стоянии, цветность, запах. Определяется перманганатная окисляемость и, при необходимости, прочие составляющие химического состава и физических свойств (с учетом возможного техногенного загрязнения). Перед взятием проб воды на анализ из скважин и колодцев следует проводить кратковременные откачки (из скважин не менее двух объемов водяного столба).

4.138. Для скальных пород определяют плотность частиц, природную и гигроскопическую влажность, плотность в природном, водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии, временное сопротивление одноосному сжатию в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии, вычисляют коэффициент размягчаемости, открытую и закрытую пористость. В случае необходимости определяют временное сопротивление растяжению, коэффициент выветрелости, коэффициент крепости по Протодьяконову, растворимость в воде (с учетом химического состава и температуры подземных вод), коэффициент скорости растворения (при различных скоростях движения подвем

и их вид)

Данные указанных исследований используются при оценке степени инфильтрованности, водоотдачи, несущей способности и спондиличности пород к карстованию, а также при выяснении устойчивости цоколя карстовых полостей.

Иногда дополнительно изучают размокаемость (скорость размокания), 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, механизма карстовых деформаций и устойчивости кровли карстовых полостей.

4.139. Для глинистых, песчаных и крупнообломочных пород выполняют общепринятые лабораторные исследования их физико-механических свойств (гранулометрический состав, плотность частиц, плотность грунта в природном состоянии, плотность песчаного грунта в двух предельных состояниях уплотнения, природная и гигроскопическая влажность, пределы пластичности, набухание, усадка, размокаемость, угол естественного откоса, коэффициент фильтрации, сопротивление сжимающим усилиям в одометрах и стабиллометрах, просадочность, сопротивление сдвигу, удельное сопротивление пенетрации, временное сопротивление одноосному сжатию, коррозионная активность, а также другие свойства). В случае необходимости проводятся специальные лабораторные исследования, например изучение способности грунта к механической суффозии на приборе Славянова В.Н. Состав лабораторных исследований назначается в зависимости от типа породы, условий ее залегания, общей природной обстановки и задач изысканий.

Данные лабораторных исследований физико-механических свойств пород используются не только в обычных 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, пористость, консистенция, размокаемость и т.д.), поведения пород в кровле карстовых полостей (плотность, консистенция, сопротивление сдвигу, размокаемость и т.д.), соотношения диаметров и глубин карстовых провалов (сопротивление сдвигу, угол естественного откоса и другие свойства) и т.д.

4.140. Экспериментальные лабораторные исследования, включая моделирование, проводятся при необходимости:

установления основных, главным образом, количественных закономерностей карстового процесса (определение скоростей растворения пород, в том числе в стенках карстовых полостей, выявление механизма карстовых деформаций и т.п.);

прогноза развития карста во времени и в пространстве при воздействии как природных, так и техногенных факторов;

оценки степени опасности обнаруженных карстовых полостей;

определения параметров проектирования противокарстовых мероприятий.

Экспериментальные исследования проводятся по индивидуальным программам.

4.141. Химико-кинетическое моделирование применяется при экспериментальном изучении процессов растворения в карстующихся породах и в грунтах покрывающей толщи (выщелачивание солей, растворение карбонатного цемента крупнообломочных грунтов и т.п.). Применяются опытные установки различных конструкций, в зависимости от поставленных экспериментальных задач.

Моделирование методом эквивалентных материалов используется в целях экспериментального изучения различного рода гравитационных процессов, протекающих над карстовыми полостями (прогиб и растрескивание пород кровли карстовой полости, гравитационные смещения грунтовых масс в карстовую полость).

В качестве эквивалентных материалов используют различные порошкообразные смеси твердых минералов, цементируемые вазелином, техническим маслом, парафином, гипсом и др. Моделирование осуществляется на специальных плоских или объемных стендах.

Физическое гидрогеологическое моделирование применяется для экспериментальных исследований фильтрационно-гравитационных деформаций, протекающих в водонасыщенных грунтах над карстовыми полостями и трещинами или над сквовными нарушениями в водоупорах, связанных с карстовыми процессами. Для моделирования применяются фильтрационные (грунтовые) лотки, которые могут быть прямоугольными, секторными или цилиндрическими.

4.142. Для определения возраста карстовых воронок и полостей могут быть применены минералого-петрографические исследования (изучение минералогических ассоциаций), спорово-пыльцевой, палеонтологический, археологический и радиоактивный методы.

с помощью индикаторной анализ образцов, взятых из отложений в карстовой воронке или полости, позволяет установить стадии смены индикаторности, происшедшие со времени образования воронки (заполнителя карстовой полости) и определить ее возраст. Радиоактивный метод основан на определении количества изотопа углерода ^{14}C в отложениях воронок и заполнителя карстовых полостей.

4.143. Для прогноза развития карста в естественных и в изменяемых техногенными факторами условиях применяется гидродинамическое моделирование на аналоговых машинах и ЭЦМ.

Стационарные исследования

4.144(3.192). При изысканиях для проектирования крупных и сложных объектов, а при необходимости и небольших объектов должны проводиться стационарные наблюдения за режимом подземных вод и за развитием проявлений карста на земной поверхности. Как правило, их следует проводить в комплексе со стационарными гидрометеорологическими и геодезическими наблюдениями за деформациями зданий, сооружений и при необходимости земной поверхности и толщ грунта.

4.145. Наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод проводятся в целях районирования территории по условиям развития карста (выделение зон по типам режима подземных вод); определения степени закарстованности, водопроницаемости, уровнепроводности (пьезопроводности) и водовместимости пород в массиве; изучения взаимосвязи между горизонтами подземных вод и поверхностных вод с подземными; расчетов фильтрации из водохранилищ, водопритоков в строительные котлованы и горные выработки; оценки возможности подтопления объектов и расчетов дренажных сооружений; определения количества растворимого вещества, выносимого из карстового массива за определенные периоды времени. Они необходимы для контроля за техногенным влиянием на развитие карста и прогноза развития карста в будущем с учетом естественных и техногенных факторов.

4.146. 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.

Наблюдения следует вести за каждым из влияющих на условия строительства горизонтов карстовых вод и за каждым из горизонтов в покрывающих породах, а при необходимости и за водоносными горизонтами в подстилающих породах. Для этого оборудуются кусты режимных скважин.

В состав режимных наблюдений входят: замеры уровней, измерения дебитов (источников и самоизливающихся скважин), определение химического состава и замеры температуры воды. Попутно ведутся записи о погоде в момент наблюдений (температура воздуха, осадки, облачность, ветер).

В наблюдательных пунктах с неустойчивым режимом частоту замеров уровней нужно увеличивать в периоды паводков и дождей. Для регистрации резких кратковременных колебаний уровней воды используются самописцы.

4.147. Для изучения режима поверхностных вод и их связи с подземными водами используются данные гидрометслужбы об осадках, стоке, испарении, инфильтрации, температуре воздуха и т.д.; организуются гидрометрические посты и створы на реках, ручьях и озерах; проводятся наблюдения за атмосферными осадками и их химическим составом, испарением, инфильтрацией, температурой, влажностью воздуха 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).

4.148. При проведении наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод рекомендуется использовать геофизические методы. Особенно эффективно применение резистивиметрии, позволяющей провести непрерывное изучение химического состава воды по всему стволу скважины, створу или отрезку вдоль течения реки, рационально отобрать пробы на химический анализ. Целесообразно также применение термометрии.

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

4.149. В результате исследований режима поверхностных и подземных вод устанавливаются: изменения во времени уровней.

интенсивности и скорости движения вод, их температуры, химического состава, а также степени агрессивности по отношению к карстующимся породам; водопроницаемость, уровнепроводность (пьезопроводимость) и водовместимость пород в массиве; места питания и группировки 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 прогноз развития карста (см. также п. 4.145).

4.150. При организации сети режимных исследований поверхностных и подземных вод следует учитывать наличие водозаборных скважин и гидротехнических сооружений и использовать данные ведущихся на них наблюдений. В случаях недостаточности этих данных организуются дополнительные наблюдения за влиянием водозаборов и гидротехнических сооружений на режим вод.

4.151. 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, температура и химический состав) и за ореолом загрязнения подземных, а также поверхностных вод. В нескольких пунктах по направлению предполагаемого распространения ореола загрязнения бурятся режимные скважины, в которых ведутся наблюдения за уровнями, температурой, регулярно отбираются пробы подземных вод, определяется их химический состав и агрессивность.

4.152. Стационарные наблюдения за проявлениями карста организуются на базе наземного обследования его проявлений (картологической съемки) масштаба 1:5000 или крупнее (допускаются масштабы 1:10000-1:25000, если исследования ведутся на большой площади со слабым развитием и редкими проявлениями карста). В состав наблюдений прежде всего входит регистрация случаев карстовых провалов и локальных оседаний земной поверхности и их обследование. Кроме того ведутся наблюдения за другими проявлениями карста.

На территории наблюдений должно периодически проводиться не реже одного раза в 3-5 лет сплошное обследование для обнаружения и описания новых карстовых провалов и оседаний, дающее наиболее полноценные результаты весной после таяния снега. Рекомендуется использовать также аэровизуальные наблюдения и пов-

торные аэрофотосъемки. Должна постоянно поддерживаться связь с местными организациями (лесничествами, колхозами, совхозами, жилищно-коммунальными организациями, предприятиями, местными органами власти) и населением, позволяющая получать своевременную информацию о случаях новых карстовых провалов и оседаний. Их обследование должно производиться немедленно после получения информации. Обследование и документацию следует производить в соответствии с пп. 4.39-4.40. Обязательно составление планов и разрезов выявленных провалов и оседаний, их топографическая привязка и фотографирование.

Устанавливаются наблюдения за изменением во времени выявленных новых воронок, некоторых старых воронок и других карстовых форм. Наблюдения заключаются в периодическом повторном измерении, описании и фотографировании с определенных точек. Иногда в карстовых воронках закладываются реперы и периодически проводятся нивелировки.

Проводится периодическое обследование зданий и сооружений, устанавливаются наблюдения за выявленными деформациями.

4.153. Организируются стационарные геодезические наблюдения за деформациями толщ горных пород (грунтов), земной поверхности, зданий и сооружений (пп. 4.8-4.13). Сопоставление наблюдений за деформационными марками в конструкциях, грунтовыми и глубинными реперами позволяет выяснить причину деформации здания или сооружения (дефекты в наземных или подземных конструкциях, осадка грунта в активной зоне под фундаментом или деформация глубинных слоев горных пород).

Ведутся наблюдения за состоянием зданий и сооружений, описание, измерение, зарисовки и фотографирование выявленных деформаций. В местах появления трещин устанавливают маяки и щелемеры и ведут за ними наблюдения. Для предупреждения о начале провальных деформаций создается система аварийной сигнализации.

4.154. В некоторых случаях проводятся наблюдения за интенсивностью размыва и растворения пород в обнажениях. По методу З.А.Макеева для этой цели выбирается площадка размером 2x2 или 2x3 м и половина ее закрывается водонепроницаемым материалом. Величина и характер растворения (размыва) определяется сравнением через определенные промежутки времени состояния пород на закрытой и открытой частях площадки.

Скорость растворения и размыва пород в обнажениях и пеще

Для изучения также с помощью повторных замеров свободного конца отяжелен, заглубленного в карстующую породу. Наблюдения проводятся преимущественно 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 пластилином или воском. Изменение глубины шпура измеряется мерной спицей.

При необходимости ведутся наблюдения за растворением образцов или стандартных таблеток горных пород, помещаемых в подземные и поверхностные воды (п. 4.132).

Камеральная обработка материалов, содержание технического отчета

4.155. В период полевых работ, непосредственно на месте их выполнения (на базе отряда, партии, экспедиции), должна производиться предварительная (текущая) камеральная обработка материалов. Ее задачей является контроль и обеспечение качества и полноты материалов, их систематизация и предварительное обобщение с целью своевременного уточнения направления и содержания работ.

Предварительная (текущая) камеральная обработка материалов включает:

регулярную проверку полевой документации (дневников, журналов, описаний);

уточнение дешифрирования, закрепление на аэрофотоснимках, фотосхемах и топографической основе точек наблюдений и других данных наземного обследования местности;

подробное контрольное изучение и описание керна, а также образцов пород, взятых из обнажений и горных выработок;

составление описаний и колонок буровых скважин, разверток или разрезов шурфов и других горных выработок;

составление каталогов буровых скважин и горных выработок, поверхностных и подземных проявлений карста, водопроявлений;

систематизацию и обработку материалов полевых исследований свойств грунтов, геофизических, гидрогеологических, стационарных и других работ с составлением соответствующих каталогов,

таблиц, графиков.

Систематизируются и отправляются на лабораторные исследования образцы пород и пробы воды.

В период проведения полевых работ составляется и по ходу их выполнения дополняется карта фактического материала. На нее наносятся данные наземного обследования местности (обнажения, проявления карста, водопоявления и др.), горно-буровые выработки, точки режимных наблюдений и т.д. В предварительном виде составляются геофизические и инженерно-геологические разрезы и карты: геофизические, геолого-литологические, геоморфологические, гидрогеологические, поверхностной и подземной закарстованности и инженерно-геологического районирования по условиям, характеру и степени развития карста.

4.156. В заключительный камеральный период производится окончательная обработка материалов, завершающаяся составлением технического отчета.

Все материалы окончательно проверяются, уточняются и систематизируются. Производится статистическая обработка данных, выполняются другие расчеты, составляются, уточняются и сопоставляются между собой таблицы, графики, разрезы, карты. На основе анализа и обобщения материалов всех исследований, проведенных в процессе изысканий, составляется технический отчет. Отчет включает текстовую часть и текстовые и графические приложения.

4.157. Текстовая часть технического отчета должна содержать следующие разделы и сведения:

а) Введение. Указываются: основание для производства работ; задачи выполненных инженерно-геологических изысканий; местоположение района, площадок, трасс и их вариантов; данные о проектируемом объекте с краткой характеристикой проектируемых зданий, сооружений и внеплощадочных коммуникаций; состав, объемы, сроки и методика выполнения изыскательских работ; состав исполнителей; отступления от программы и их обоснование.

б) Физико-географические условия. Приводятся сведения о рельефе, климате, гидрографии и гидрологических условиях, а также сведения об использовании и состоянии территории (наличие леса, пашни и других угодий, характер существующей застройки, наличие гидротехнических сооружений, водозаборов, карьеров, шахт, заброшенных колодцев и т.п.).

и) Изученность природных условий. Дается краткий обзор истории и состояния геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической изученности района, а также его топографо-геодендрологической и гидрометеорологической изученности. При этом должны быть рассмотрены все работы, в какой-либо мере касающиеся изучения карста.

В обзоре приводятся сведения о задачах и границах участков ранее выполненных изысканий и исследований, наименования организаций исполнителей, время производства и основные результаты работ, имеющие значение для оценки инженерно-геологических условий территории, включая карстовые явления. Приводятся также сведения об истории освоения, использования территории и местном опыте строительства.

г) Геологическое строение и гидрогеологические условия. Описывается геолого-стратиграфический разрез с характеристикой генезиса и литолого-петрографического состава горных пород (грунтов), их распространения, мощности, условий залегания, тектонической нарушенности и выветрелости. Большое внимание уделяется тектонике района и трещиноватости пород (в особенности, линейным тектонически ослабленным зонам с разрывными нарушениями и повышенной трещиноватостью). Дается анализ геологической истории района, включая историю развития древних и современных долин, изменений их базисов эрозии, соотношения залегания закарстованных пород и положения древних переуглубленных долин.

Рассматривается геоморфология района. Описывается строение, возраст и генезис основных элементов рельефа (поверхности выравнивания, склоны, речные террасы и др.).

Выделяются и описываются все гидрогеологические комплексы и горизонты с характеристикой их распространения, условий и глубины залегания, мощности, строения и состава вмещающих пород, гидрогеологических параметров, уровней, температуры и химического состава вод, их режима, условий и интенсивности питания, движения и разгрузки, взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами. Рассматривается растворяющая способность поверхностных и подземных вод по отношению к карстующимся породам и их роль в развитии карста. Оценивается агрессивность к бетону и коррозивная активность вод и грунтов к металлам.

д) Инженерно-геологические свойства грунтов (горных пород). Выделяются инженерно-геологические элементы, приводится характеристика состава, состояния, свойств грунтов и их пространственной изменчивости, анализируются результаты определения показателей свойств грунтов, полученные различными лабораторными и полевыми методами, оценивается возможность изменения свойств грунтов при строительном освоении территории. При выделении инженерно-геологических элементов и описании состава, физических, механических и химических свойств грунтов необходимо учитывать выветривание и специфику закарстованных территорий (см. пп. 2.11, 4.133-4.139).

е) Природные естественные и техногенные геологические процессы и явления. Рассматриваются сейсмичность района (участка), оползни, сели, криогенные, посткриогенные и другие естественные и техногенные процессы и явления. Особенное внимание уделяется подтоплению и другим изменениям гидрогеологических условий, источникам и факторам их вызывающим. Приводятся сведения о состоянии существующих зданий, сооружений и их оснований, наличии и причинах их деформаций, о применяемых защитных мероприятиях от естественных и техногенных геологических процессов и явлений и об эффективности этих мероприятий.

В состав раздела включается глава "Карстовые явления". В ней описываются подземные и поверхностные проявления карста, распространение, характер и степень подземной и поверхностной закарстованности (пп. 5.16-5.37, 5.58-5.71), в том числе приводятся сведения о карстовых провалах и оседаниях земной поверхности. Проводится анализ условий и истории развития карста, излагаются выявленные особенности и закономерности его распространения и развития. Дается инженерно-геологическое районирование территории по условиям, характеру и степени развития карста (пп. 5.1.-5.15), оценка интенсивности развития карста гидрогеохимическими методами (пп. 5.41-5.57) и оценка устойчивости территории относительно провалов и оседаний земной поверхности (пп. 5.72-5.122).

ж) Инженерно-геологические условия и районирование. Дается общее инженерно-геологическое районирование территории, учитывающее весь комплекс природных условий, характеристика и сопоставительная оценка выделенных участков, прогноз изменения инженерно-геологических условий под воздействием строительного ос-

территории. В том числе, обязателен прогноз подтопления и других изменений гидрогеологических условий.

После районирования и характеристика выделенных участков должна быть с учетом частного (специального) инженерно-геологического районирования территории по условиям, характеру и степени развития карста и с учетом оценки устойчивости территории относительно карстовых провалов и оседаний. Дается прогноз влияния тектонических факторов на развитие карста и связанных с ним явлений (пп. 5.123-5.145).

Раздел завершается рекомендациями с инженерно-геологических позиций по возможному использованию участков, инженерной подготовке территории и борьбе с неблагоприятными факторами. В том числе, даются рекомендации по рациональному использованию закарстованных территорий и противокарстовым мероприятиям.

в) Выводы. Кратко излагаются основные данные об инженерно-геологических условиях и основные положения рекомендаций с инженерно-геологических позиций по использованию территории и защитным мероприятиям, в том числе - выводы по оценке, прогнозу карстовых явлений, использованию закарстованных территорий и противокарстовым мероприятиям.

и) Список использованных материалов и литературы.

В зависимости от характера материалов, полученных в результате изысканий, допускаются изменения в структуре отчета. Например, иногда целесообразно выделять в самостоятельные разделы сведения о методике выполненных работ, результаты геофизических и результаты гидрогеологических исследований.

4.158. В состав текстовых и графических приложений к техническому отчету должны входить:

копии технических заданий на производство инженерно-геологических изысканий;

ситуационный план или схема размещения площадки;

карта фактического материала;

описание проявлений карста, обнажений, водопроявлений и других точек наблюдений наземного обследования местности;

каталог буровых скважин и других горных выработок, колонки или описания скважин, развертки или разрезы шурфов и других горных выработок с их описанием;

материалы геофизических исследований, в том числе геолого-геофизические разрезы и карты;

каталоги точек зондирования и пенетрационно-каротажных работ, других полевых исследований свойств грунтов и опытно-фильтрационных работ;

графики (колонки) зондирования и пенетрационно-каротажных работ, сводные таблицы и листы результатов обработки других полевых исследований свойств грунтов и опытно-фильтрационных работ;

сводные таблицы и другие материалы лабораторных исследований горных пород (грунтов), подземных и поверхностных вод, включая паспорта определений прочностных и деформационных свойств грунтов, описания, зарисовки и фотографии шлифов, диаграммы спорово-пыльцевых анализов и т.д., материалы лабораторно-экспериментальных исследований;

сводная таблица нормативных и расчетных значений характеристик грунтов основных инженерно-геологических элементов;

каталог и паспорта скважин и других пунктов режимных наблюдений, таблицы и графики наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод, материалы стационарных наблюдений за проявлениями карста, включая описания выявленных случаев карстовых провалов и оседаний, материалы геодезических наблюдений за осадками зданий, сооружений, земной поверхности и толщи грунтов;

каталог проявлений карста на земной поверхности - провалов, оседаний, воронок и др. (пп. 5.65-5.66), каталог выявленных подземных проявлений карста (п. 5.30), разрезы, планы, фотографии свежих воронок и других наиболее характерных проявлений карста;

инженерно-геологические разрезы с гидрогеологическими данными и сведениями о закарстованности (п. 5.36);

геологическая карта;

карта четвертичных отложений, совмещенная с геоморфологической;

гидрогеологическая карта;

карта закарстованности - совмещенная или отдельные карты проявлений карста на земной поверхности (пп. 4.56, 5.67) и подземной закарстованности (п. 5.37);

карта (или карты) инженерно-геологического районирования по условиям, характеру и степени развития карста (пп. 5.1-5.16) с оценкой устойчивости в отношении провалов и оседаний земной

поверхности (п. 5.1, табл. 6, 7, а также пп. 5.72-5.122) и с учетом влияния техногенных факторов (пп. 5.123-5.145);

таблицы, характеризующие закарстованность выделенных при районировании участков, таблицы и графики распределения воронок и провалов по удаленности (п. 5.87) и по величине с подбором соответствующих теоретических кривых распределения, определением средних значений и среднеквадратических отклонений диаметров и глубин воронок и провалов (п. 5.93), а также корреляционных зависимостей между диаметрами и глубинами;

основная итоговая карта инженерно-геологических условий и районирования, учитывающая весь комплекс природных условий.

Допускается совмещать или объединять между собой те или иные из перечисленных приложений. Например, содержание карты районирования по условиям, характеру и степени развития карста можно изобразить на основной карте инженерно-геологических условий и районирования, если это не приведет к перегрузке последней.

Рекомендуется составлять и прилагать к отчетам карты рельефа (изогипс) кровли коренных пород, карты рельефа кровли (или подошвы), мощности и фациальных изменений основных литолого-стратиграфических горизонтов, карты уровней, химического состава и агрессивности вод по разным водоносным горизонтам на разные периоды времени, таблицы и графики с количественной и качественной характеристикой систем трещин.

4.159. По результатам инженерно-геологической рекогносцировки вместо технического отчета составляется заключение. Составление заключения допускается также по результатам разведки, выполненной на площадках для проектирования отдельных не крупных зданий и сооружений.

Заключение отличается от технического отчета меньшим объемом текста, меньшим количеством и объемом приложений. При этом, во-первых, текст и приложения должны содержать все необходимые для решения поставленной проектной задачи достаточно обоснованные сведения о карсте, его оценки, а также рекомендации с инженерно-геологических позиций по использованию территории и противокарстовым мероприятиям. Во-вторых, к заключению должен быть приложен весь фактический материал выполненных работ (карта фактического материала, описание проявлений карста и других точек наблюдений наземного обследования местности, ко-

лонки или описания буровых скважин и т. д.).

Прочие работы (специальное обследование существующих зданий, сооружений и грунтов их оснований, инженерно-геологическое обследование котлованов, почвенные и ботанические исследования)

4.160. Обследование состояния существующих зданий, сооружений и грунтов их оснований выполняется: а) в составе работ по наземному обследованию местности, б) в составе стационарных исследований, в) самостоятельно или в комплексе с другими работами на разных стадиях изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации. Качество и эффективность обследования повышается при его выполнении совместно специалистами-строителями и инженерами-геологами.

4.161. Обследование состояния зданий, сооружений и грунтов их оснований проводится для решения (совместно с другими видами работ) следующих задач, связанных с инженерно-геологической оценкой местности: 1) выявления характерных для данного района или для его отдельных участков деформаций оснований, фундаментов и конструкций зданий и сооружений; 2) выяснения причин деформаций, оценки влияния естественных и техногенных геологических процессов на условия строительства и эксплуатации зданий и сооружений; 3) оценки эффективности различных защитных мероприятий в данных инженерно-геологических условиях; 4) выявления и оконтуривания участков, устойчивых для возведения различных типов зданий и сооружений.

4.162. При подготовке к обследованию собираются архивные данные о конструктивных особенностях сооружений, испытывающих деформацию, когда они построены, о типах фундаментов, принятых нагрузках, составе и свойствах пород основания, все имеющиеся сведения о деформациях. Кроме того, важны следующие сведения: величины осадки сооружений; принятые углы откосов котлованов, выемок и насыпей в различных породах; поведение пород в откосах и стенках котлованов при различной степени их увлажнения; величины водопритоков в котлованы; конструкция и эффективность дренажных сооружений; мероприятия по улучшению свойств грунтов и т.д. При подготовке к натурному обследованию следует провести

подвергнутый осмотру объектов и опрос лиц, принимавших участие в строительстве и эксплуатации сооружений.

4.163. Натурное обследование зданий и сооружений может быть сплошным или выборочным. Для выборочного обследования намечаются здания и сооружения: а) потерпевшие аварии; б) испытывающие деформации; в) крупные и особо ответственные; г) находящиеся в явно неблагоприятных инженерно-геологических условиях; д) с усиленной жесткостью и другими конструктивными особенностями, направленными на обеспечение устойчивости и долговечности сооружения; е) любого типа, класса и состояния в малоэтажных районах.

4.164. По объектам, подлежащим подробному натурному обследованию, должны быть получены материалы изысканий, проектная документация (в том числе по подземным коммуникациям), исполнительные чертежи, акты на выполненные строительные и ремонтные работы, материалы выполненных ранее обследований и наблюдений за деформациями и осадками сооружений.

4.165. Натурное обследование включает визуальный осмотр сооружения и прилегающего участка, сопровождающийся замерами, описаниями, зарисовками, фотографированием, составлением планов и профилей. Затем, в случае необходимости, проводятся специальные исследования конструкций, горно-буровые и другие работы.

4.166. При визуальном осмотре выясняется: а) пространственная конструктивная схема сооружения - не отклоняется ли она от имеющихся чертежей; б) состояние наземных конструкций - стен, колонн, перекрытий, лестничных клеток, перегородок и др. (причем основное внимание уделяется несущим конструкциям); в) состояние подземных конструкций, доступных для осмотра; г) состояние внутренних коммуникаций и оборудования - не имеют ли они нарушений, связанных с деформациями здания; д) планировка и благоустройство прилегающего участка - упорядоченность поверхностного стока, состояние водопровода, канализации и других коммуникаций, откосов, насыпей, дорожных покрытий, асфальтовых отмоств у стен зданий.

Особое внимание обращается на признаки деформаций (трещины, покосившиеся проемы, зазоры в сопряжении стен и т.п.), а также на разрывы трубопроводов и другие очаги инфильтрации воды в грунт.

На местности вблизи сооружения описываются естественные и

искусственные обнажения пород, геологические явления (в том числе проявления карста), водопоявления, следы инженерно-геологических процессов (признаки осадки, выпирания, разжижения пород и т.п.) и все изменения естественных условий, вызванные деятельностью человека (распашка склонов, орошение и т.п.).

4.167. При выяснении причин деформаций зданий и сооружений рекомендуется действовать методом исключения. Сперва следует проанализировать: какие части сооружения захватывают деформации - наземные конструкции, фундамент или основание; дает ли здание осадку, в каких частях и какую по величине. Затем, если выяснится, что деформации связаны с основанием, нужно установить захватывают ли они только зону распространения нагрузок от сооружений или прослеживаются глубже. Наконец, если выяснится, что деформации распространяются глубже, надо выяснить связаны они с карстом или с другими глубинными процессами. Такая схема выяснения причин деформаций наиболее надежна, но она может потребовать дополнительных изысканий, в частности стационарных наблюдений за осадками стенных марок, грунтовых и глубинных реперов с разной глубиной заложения.

4.168. Содержание и методика обследования котлованов в основном те же, что при обследовании естественных и искусственных обнажений. Оно сопровождается измерениями, описаниями, зарисовками, фотографиями. Особенное внимание уделяется трещиноватости, проявлениям карста, состоянию грунтов, их слоистости, отдельности, наличию в них нарушений залегания, ослабленных разуплотненных зон, водопоявлениям. Отбираются образцы горных пород (грунтов) для лабораторных исследований их состава и свойств. Может потребоваться топографическая привязка точек наблюдений, фототеодолитная съемка, проходка расчисток, шурфов, проведение зондирования, буровых, геофизических и других работ в котлованах.

4.169. Почвенные и ботанические исследования предусматриваются программой изысканий в случае необходимости получения дополнительных признаков (индикаторов) для дешифрирования на аэрофотоснимках проявлений карста, геологических, гидрогеологических и геоморфологических условий его развития. При их выполнении анализируется влияние карста на почвы и растительность и, наоборот, влияние почв и растительности на развитие карста, а также на условия существования карстовых воронок и других форм

Кроме того, почвенные и ботанические исследования могут быть использованы при изучении возраста карстовых форм рельефа.

Б. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАРСТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Инженерно-геологическое районирование территорий по условиям, степени и характеру развития карста

5.1(3.182). При районировании по результатам выполненных изысканий должны быть установлены категории устойчивости территории относительно карстовых провалов по интенсивности провалообразования в соответствии с табл. 6(45) и по средним диаметрам карстовых провалов в соответствии с табл. 7(46).

5.2. Инженерно-геологическое районирование является основой оценки закарстованных территорий для строительства. Результаты районирования должны дать возможность проектным организациям определить степень пригодности выделенных площадей для возведения зданий и сооружений, выбрать и запроектировать наиболее целесообразный в данных условиях комплекс защитных мероприятий.

5.3. Требования к районированию определяются его масштабом, а также зависят от местных условий и специфических потребностей проектной задачи. Масштаб районирования задается в зависимости от стадии проектирования согласно разделу 3 настоящего руководства.

5.4. Проведенное районирование отображается на карте заданного масштаба, который определяет таксономические ранги выделяемых районов, участков и т.д. и детальность их оконтуривания.

5.5. Районирование производится:

- а) по условиям развития карста, с учетом условий его проявления на земной поверхности;
- б) по степени и характеру развития карста, включая степень и характер его проявления на земной поверхности.

Выделение районов, участков и т.д. производится путем наложения на карту условий развития карста карты степени и характера его развития, их сопоставления и увязки. Следует учиты-

Таблица 6
(табл. 45 СНиП 1.02.07-87)

| Категории устойчивости территории относительно карстовых провалов | Интенсивность провалообразования, случаи / км ² · год |
|---|--|
| I | Св. 1,0 |
| II | " 0,1 до 1,0 |
| III | " 0,05 " 0,1 |
| IV | " 0,01 " 0,05 |
| V | До 0,01 |
| VI | Возможность провалов исключается |

Таблица 7
(табл. 46 СНиП 1.02.07-87)

| Категории устойчивости территории относительно карстовых провалов | Средние диаметры карстовых провалов, м |
|---|--|
| A | Св. 20 |
| B | Св. 10 до 20 |
| B | " 3 до 10 |
| Г | До 3 |

вать, что контуры распространения карста не всегда совпадают с геологическими и геоморфологическими границами, нередко развитие карста бывает приурочено именно к этим границам.

5.6. Принципиальной основой районирования является историко-геологический анализ основных условий развития карста. Этих условий (по Д.С.Соколову /83/) четыре: наличие растворимых горных пород, их водопроницаемость, движение в них или контактирующих с ними поверхностных и подземных вод, их растворяющая способность. При отсутствии хотя бы одного из основных условий карст не развивается, при наличии всех четырех условий - разви-

и неизбежно.

Кроме того, районирование по условиям развития карста должно проводиться с учетом условий развития суффозии, сдвижения и обрушения горных пород, а также других процессов, участвующих в формировании полостей, разрушенных и разуплотненных пород в карстующихся породах и покрывающих их отложениях и в образовании провалов и оседаний земной поверхности.

5.7. При районировании должны быть изучены и использованы закономерности развития карста. Выделяются закономерности общие, региональные и местные различных порядков.

5.8. Важнейшие общие закономерности, которые нужно учитывать при районировании, следующие: 1) активное развитие карста в растворимых породах происходит в зонах активного водообмена; 2) развитие карста определяется всей его историей в прошлом, настоящем и будущем. Из них вытекает ряд других общих закономерностей: а) уменьшение закарстованности пород с глубиной (при прочих равных условиях); б) увеличение закарстованности продолжительных участков по сравнению с ядрами водораздельных массивов; в) усиление карстового процесса по мере приближения климатических условий к субтропическим, влажным; г) наличие гидродинамической зональности развития и распределения карста, обусловленной условиями питания трещинно-карстовых вод и дренирующим влиянием эрозионных врезов и зон дизъюнктивных тектонических нарушений.

5.9. Для районирования по условиям развития карста составляется, в соответствующем масштабе, комплекс карт: геологических, структурно-тектонических, геоморфологических и гидрогеологических (включая гидрохимические).

5.10. При районировании прежде всего должны быть выделены и оконтурены территории типов карста, применительно в классификациям по литологии и особенностям залегания (пп. 2.14, 2.19, 2.23). Для этого выделяются и оконтуриваются формации, содержащие растворимые породы, с учетом их возраста, выделяются площади их поднятий и погружений, тектонически нарушенные зоны разрывных нарушений и сгущения трещиноватости, площади различные по характеру, мощности и водопроницаемости покрывающих отложений, геоморфологические области, районы, важнейшие элементы рельефа (поверхности выравнивания, склоны долин, террасы и т.д.), и, наконец, площади с различной гидродинамической зо-

нальностью и интенсивностью водообмена в карстующихся породах. Выявляются эпохи развития карста. Изложенного достаточно при районировании по условиям развития карста в масштабах 1:200000 - 1:100000, а при районировании более крупного масштаба требуется дальнейшая детализация (п. 5.13).

Распространение формаций, содержащих растворимые горные породы, обычно контролируется тектоническими структурами различных порядков.

5.11. При районировании в масштабах 1:200000 - 1:100000 выделяются территории незакарстованные и районы и участки сильной, средней и слабой закарстованности. Незакарстованными являются территории, где или отсутствуют растворимые горные породы, или они покрыты достаточно мощной и водонепроницаемой толщей нерастворимых пород. В платформенных условиях распространение закарстованных участков определяется обычно соотношением между залеганием формаций растворимых горных пород и развитием рельефа и эрозионной сети. На него влияют тектонические структуры различных порядков и зоны разрывных нарушений и сгущения трещиноватости.

5.12. Для каждого выделенного и оконтуренного при районировании в масштабах 1:200000 - 1:100000 карстового района или участка указывается тип карста и приводится характеристика геологических, геоморфологических и гидрогеологических условий с соответствующими разрезами. Дается характеристика степени и особенностей развития карста и его проявления на земной поверхности. Оценку степени закарстованности допускается давать качественную. Для ее количественной оценки, если недостаточно материалов прежних лет, выполняются в составе инженерно-геологической рекогносцировки дешифрирование аэрофотоматериалов и контрольные наземные карстологические маршруты. Оценка устойчивости территорий дается качественная или количественная по аналогии с другими районами и участками со сходными условиями.

5.13. При районировании в масштабах 1:50000 и крупнее рекомендуется составлять для каждого литолого-стратиграфического и гидрогеологического горизонта комплекс карт, отражающих рельеф его кровли, мощность, контуры типов разреза или фациальных зон, фильтрационные характеристики, уровни, химический состав и агрессивность вод. Составляются структурно-тектоническая и геоморфологическая карты, карты поверхностной и подземной закарс-

вещности, инженерно-геологические и гидрогеологические разрезы. В результате анализа этих материалов выделяются участки характеризующиеся различными условиями и разной степенью и характером развития карста.

Районирование по условиям развития карста проводится с использованием следующих признаков (см. также п. 5.10): 1) распространение различных литолого-стратиграфических горизонтов участвующих пород, их возраст, мощность, строение, состав и физико-механические свойства; 2) распространение различных литолого-стратиграфических горизонтов покрывающих отложений, их возраст, мощность, строение, состав, водопроницаемость, а также другие физико-механические свойства; 3) условия залегания карстующихся пород и покрывающих отложений, тектонические структуры и ослабленные зоны, древний погребенный карстово-эрозионный рельеф разного возраста; 4) геоморфологические элементы (речные террасы, склоны долин, прирвовочные участки водоразделов и водораздельные поверхности разного возраста и строения); 5) гидрогеологические условия развития карста и его проявлений на земной поверхности. Составляются типовые литолого-стратиграфические и гидрогеологические разрезы.

Районирование по степени и характеру развития карста следует проводить в соответствии с пп. 5.16-5.37 и 5.58-5.71. Оценка степени поверхностной закарстованности и устойчивости территорий в масштабах 1:50000 и крупнее должна быть, как правило, количественной, согласно пп. 5.69-5.101.

При районировании нужно учитывать закономерности распространения и развития карста. Из них, кроме указанных в п. 5.8, можно отметить следующие. Закарстованные участки зачастую бывают приурочены к местам облегченной инфильтрации поверхностных вод, зонам выклинивания водоупоров и перетока вод (в особенности из вышезалегающих горизонтов в нижележащие), склонам долин и прирвовочным участкам. Нередко карст широко распространен на речных террасах. Зачастую закарстованные участки приурочены к склонам древних погребенных долин, а также останцов растворимых пород, и к линейным зонам тектонических нарушений и сгущения трещиноватости, в особенности к их пересечениям. На Русской платформе такие зоны нередко имеют ширину порядка 1 км, длину до 10-15 и более километров и ритмично чередуются со спокойными зонами.

5.14. Методика микрорайонирования, уточнения и детализации (в масштабах крупнее 1:2000), оценки степени закарстованности и устойчивости площадок отдельных зданий и сооружений дается в пп. 5.102-5.122.

5.15. При инженерно-геологическом районировании и прогнозировании устойчивости территорий рекомендуется по возможности применять количественные методы оценки влияния природных факторов на развитие карста и интенсивность образования карстовых провалов, в том числе использовать методы множественного корреляционно-регрессионного анализа /16, 26/.

Оценка состояния горных пород и подземных проявлений карста

5.16. Оценка состояния горных пород и подземных проявлений карста необходима для определения устойчивости территорий и площадок отдельных зданий и сооружений, расчетов фундаментов, для которых эти породы служат основанием, оценки гидрогеологических условий строительства и эксплуатации сооружений, прогноза возможности и активности развития карста в будущем, проектирования противокарстовых мероприятий.

5.17. В результате изысканий должна быть дана оценка трещиноватости, пористости, других физико-механических свойств горных пород и их закарстованности.

5.18. К подземным проявлениям карста относятся: расширенные растворением (закарстованные) трещины; поры растворения; каверны; разнообразные полости (в том числе, пещеры); разрушенные и разуплотненные зоны; поверхности растворения кровли, подошвы и боковых частей пластов, линз и других валежей карстующихся пород; нарушения залегания горных пород в результате их сдвижения и обрушения над карстовыми полостями, разрушенными и разуплотненными зонами, а также воронки и другие карстовые формы погребенного палеорельефа земной поверхности.

Подземные проявления карста развиваются не только в толще растворимых пород, но и в покрывающей толще, где тоже формируются нарушения залегания горных пород в результате их сдвижения и обрушения, разрушенные и разуплотненные зоны, полости, размытые фильтрующейся водой трещины, колодцы (жерла) размыва, осе-

ионы и разрушения пород.

5.19. Оценка трещиноватости складывается из: а) выявления и подсчета типов систем трещин и трещиноватых зон; б) выделения региональных и локальных типов трещин и их систем различного залегания, морфологии, генезиса и возраста; в) определения степени трещиноватости пород с целью количественной оценки их разрушаемости, выделения участков и зон, различающихся по степени трещиноватости; г) оценки влияния трещин и их систем, как поверхностей и зон ослабления, на прочность, деформируемость, устойчивость, водопроницаемость и закарстованность пород и их инертность в этом отношении. Для решения практических задач важно знать степень и характер заполнения трещин.

Необходимо различать незакарстованные и закарстованные трещины. Последние отличаются непостоянной шириной и наличием следов обработки стенок водой (изъеденная или, наоборот, сглаженная поверхность, наличие характерных желобков, борозд, лунок, выступающих отпрепарированных труднорастворимых включений в породе).

5.20. В обнажении каждая система трещиноватости характеризуется следующими параметрами: 1) густота трещин, выражающаяся расстоянием между соседними трещинами данной системы (a , см); 2) ширина трещин (Δa , см); 3) протяженность трещин в плоскости обнажения (l , см); 4) угол падения плоскости трещин (β°); 5) азимут падения плоскости трещин (α°).

5.21. При количественной характеристике трещиноватости также используются следующие показатели:

Частота или модуль трещиноватости - среднее число трещин, приходящихся на 1 пог.м породы в направлении перпендикулярном плоскости трещин данной системы.

Блочность - количество блоков (кусков) породы, приходящихся на 1 м³.

Удельная блочность - средний размер блока в дм³.

Коэффициент трещинной пустотности - процентное отношение площади трещин ΣS_T к площади поверхности пород S , в пределах которой зарисовываются и замеряются трещины:

$$K_{ТП} = \frac{\Sigma S_T}{S} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Трещинная пустотность - отношение объема полостей трещин к общему объему массива:

$$\Pi_T = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta a_i}{a_i + \Delta a_i} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где Π_T - трещинная пустотность в процентах; a_i - расстояние между трещинами в системе; Δa_i - ширина трещин в системе; n - количество систем трещин.

Для вычисления перечисленных показателей достаточно иметь данные о параметрах, приведенных в п. 5.20.

5.22. Обработка данных о трещиноватости заключается в обработке замеров отдельно в каждой точке наблюдения и в систематизации материала в целом. Обработка замеров по каждой точке наблюдения включает построение диаграмм и вычисление параметров трещиноватости.

5.23. Изучение трещиноватости, вычисление количественных параметров и показателей нужно вести отдельно: а) для каждого структурного элемента, б) для каждого типа пород, в) для каждой зоны экзогенных изменений массива.

5.24. Рекомендуется составлять карты трещиноватости с соответствующими разрезами и, в случае необходимости, блок-диаграммами. В качестве их основы берется геолого-структурная схема и литологическая карта. На ней выделяются участки и зоны, отличающиеся разными степенями трещиноватости и, в особенности, зоны повышенной и высокой трещиноватости. На карте и разрезах показываются поверхности и зоны ослабления, созданные трещинами, системами и зонами трещин. Наносятся простирания наиболее характерных систем трещин, а иногда - направление и угол падения. Наносятся также результаты графической обработки данных о трещиноватости в отдельных точках и участках (розы или диаграммы трещин).

5.25. Порами считаются пустотные пространства размером меньше 0,2 см. По результатам историко-литологического анализа и петрографических исследований различают первичную и вторичную пористость.

Кавернами считаются пустотные пространства, размером от 0,2 см до 20 см. Они могут формироваться не только в зоне активного водообмена, но и в зоне замедленного водообмена, обусловленного дренирующим влиянием удаленных базисов эрозии.

Пустотными считаются пустотные пространства, размером более 0,1 мм.

5.26. В результате лабораторных исследований образцов породы определяются пористость и коэффициент пористости. Рекомендуется определять раздельно закрытую пористость (если поры изолированы друг от друга и не сообщаются между собой и наружной средой) и открытую.

Определяемые стандартными лабораторными исследованиями пористость и коэффициент пористости характеризуют наличие в породе не только пор, но и каверн. Поэтому, при использовании этих показателей следует всегда также указывать степень кавернозности породы.

5.27. По керну буровых скважин определяется линейный коэффициент кавернозности и объемный коэффициент открытой пористости и кавернозности (пп. 4.70-4.72). Последний соответствует определяемой в лаборатории открытой пористости породы.

В обнажениях, кроме указанных показателей, определяется также площадной коэффициент кавернозности - отношение суммы площадей каверн к площади расчетной площадки (в долях единицы или в процентах).

5.28. Степень закарстованности горных пород характеризуется в первую очередь наличием карстовых полостей, а также расширенных растворением (закарстованных) трещин. При этом следует различать полости и трещины незаполненные, частично заполненные, целиком заполненные и залеченные (полностью зацементированные кальцитом, ангидритом, гипсом или другими минералами). Первые наиболее опасны (при прочих равных условиях).

Важное значение для оценки степени закарстованности, несущей способности оснований зданий и сооружений и опасности возникновения провалов и оседаний грунта и земной поверхности имеет также выделение разрушенных, разуплотненных и кавернозных зон, нередко формирующихся в растворимых и покрывающих породах в результате развития карста. Нужно однако иметь в виду, что формирование этих зон бывает обусловлено не только развитием карста, но и другими процессами (зоны выветривания, связанные с континентальными перерывами в осадконакоплении, различные эпигенетические изменения). Соответственно, показатель разрушенности (п. 5.32), пористость, кавернозность и низкая плотность пород не всегда являются прямыми признаками их закарстованности.

5.29. Карстовые полости выявляются по данным бурения (п. 4.69), проходки других горных выработок, а также наземных и скважинных геофизических работ (см: п. 4.81). Причем, выявлению полостей наземными геофизическими методами и скважинными в око лоскважинном и межскважинном пространстве должно контролироваться бурением.

Для выявления и получения количественных характеристик разрушенных и разуплотненных зон в карстующейся и покрывающих толщах следует наряду с бурением и описанием керна, применять радиоактивный, а также другие виды каротажа, проводить отбор проб и определение классификационных показателей свойств пород (плотность, влажность, пористость для всех грунтов, гранулометрический состав - для крупнообломочных и песчаных, пределы пластичности и консистенцию - для глинистых и др.), максимально использовать возможности зондирования и пенетрационно-каротажных работ. В необходимых количествах определяются расчетные показатели свойств пород. Система опробования и подготовки проб к определению классификационных и расчетных показателей должна учитывать большую неоднородность закарстованных и разрушенных пород.

5.30. Данные о карстовых полостях и разрушенных зонах, обнаруженных при бурении скважин, рекомендуется сводить в таблицу со следующими графами (колонками): 1) Номер скважины. 2) Глубина скважины (м). 3-5) Интервал, пройденный в толще карстующихся пород: от - до (м), мощность (м), геологический индекс. 6-9) Встреченные карстовые полости: количество (шт.), на глубине от - до (м), размер по вертикали (м), характер заполнения. 10-13) Встреченные разрушенные зоны: количество (шт.), на глубине от - до (м), размер по вертикали (м), состояние пород. Таблица позволяет выделить зоны различной степени закарстованности и дать их количественную оценку. Рекомендуется также сводить в аналогичные таблицы данные о разуплотненных зонах, обнаруженных зондированием и пенетрационно-каротажными работами.

5.31. Фактические данные о расположении и размерах выявленных карстовых полостей, разрушенных и разуплотненных зон подвергаются статистической обработке для изучения распределения их по размерам, распространения по площади, по глубине и по литолого-стратиграфическим горизонтам.

5.32. Для количественной оценки подвемной закарстованности

ти и интервалу длины бурения, сведенные в таблицу (п. 5.30), вычисляются отдельно для каждого литолого-стратиграфического горизонта или зоны показатель закарстованности (Π_3) и показатель карстуемости пород (Π_p). Они вычисляются в виде отношения суммарной длины интервалов, пройденных по карстовым полостям и карстуемым породам, ко всему метражу, пройденному по карстующим породам данного литолого-стратиграфического горизонта или длины зоны развития карста. Причем, показатель закарстованности вычисляется, кроме того, отдельно для полостей заполненных и незаполненных.

5.33. Если растворение пород сосредотачивается на контакте с вышележащими отложениями (например, на поверхности кровли гипсов), вычисляются абсолютное снижение кровли карстующейся толщи

$$\Delta m = m_{\max} - m_{\min} \quad (8)$$

и средний ($K_{\text{ср}}$) и максимальный (K_{\max}) коэффициенты ее снижения

$$K_{\text{ср}} = \frac{m_{\max} - m_{\text{ср}}}{m_{\max}}, \quad (9)$$

$$K_{\max} = \frac{\Delta m}{m_{\max}}, \quad (10)$$

где m_{\max} , m_{\min} и $m_{\text{ср}}$ соответственно максимальная, минимальная и средняя мощность карстующейся толщи.

5.34. Закарстованность пород оценивается также по косвенным данным: поглощение промывочной жидкости при бурении, выход керна, гидрогеологические и геофизические характеристики, химический состав подземных вод.

5.35. Рекомендуется использовать, кроме того, геохимический метод диагностики зон активного карстования. Метод основан на высокой миграционной способности стронция, окислов калия и натрия.

Содержание стронция в сульфатных и карбонатно-сульфатных толщах, в связи с условиями геохимической седиментации, выше кларка для осадочных пород. В зависимости от степени активности карстового процесса содержание стронция в породах изменяется на общем фоне среднего содержания его в данном карстующемся массиве. По мере приближения к зоне активного карстования среднее

Содержание стронция уменьшается, доходя до минимума 0,03% в самой зоне, а также в кровле и подошве карстовой полости.

Содержание суммы окислов калия и натрия в сульфатных и карбонатно-сульфатных породах измеряется десятками долями процента. Снижаясь по мере приближения к зоне активного карста, а также в кровле и подошве карстовой полости оно тоже достигает минимума 0,03%.

5.36. На инженерно-геологических разрезах показываются: буровые скважины; литолого-стратиграфические горизонты и инженерно-геологические элементы; физико-механические свойства пород, места отбора образцов (монолитов); зоны различной трещиноватости, отдельные крупные трещины; интервалы различного характера циркуляции воды при бурении скважин; уровни, гидрогеологические параметры, данные о химическом составе подземных вод; обнаруженные карстовые полости с указанием характера заполнения, разрушенные и разуплотненные зоны, кавернозность пород; границы зон различной закарстованности; данные геофизических исследований.

5.37. На карте подземной закарстованности показываются: контуры распространения различных типов геолого-литологического разреза толщи карстующихся пород; тектонически ослабленные зоны; скважины и горные выработки не обнаружившие и обнаружившие карстовые полости с указанием в каком горизонте встречены полости, их количества, размеров и характера заполнения; разрушенные и разуплотненные зоны обнаруженные скважинами, другими горными выработками, зондированием, пенетрационно-каротажными работами, в каком горизонте, мощность; контуры распространения и мощность зон различной степени закарстованности. В случае необходимости на карту наносятся также данные геофизических исследований, гидрогеологические сведения и др. При наличии нескольких карстующихся литолого-стратиграфических горизонтов карты закарстованности могут составляться раздельно для каждого из них.

Оценка гидрологических и гидрогеологических условий закарстованных территорий

5.38. При оценке гидрогеологических и гидрологических ус-

Важными учитываются их особенности, характерные для карстовых районов: крайне неоднородная и нередко весьма высокая водопроницаемость закарстованных пород; повышенные значения коэффициента инфильтрационного стока; наличие в понижениях рельефа и руслах водотоков и рек локальных очагов интенсивного поглощения поверхностных вод; наличие замкнутых водосборов; возможность наличия в карстовом массиве местных водоносных горизонтов, зон и отдельных водотоков; сложность и разнообразие взаимосвязи между водоносными горизонтами, зонами и водотоками; возможность наличия локальных депрессий уровня подземных вод; наличие очагов интенсивной разгрузки карстовых вод; возможность значительных изменений скорости движения и химического состава подземных вод на коротких расстояниях; сложность гидродинамического и гидрохимического режима карстовых вод; возможность выноса заполнителя из карстовых пустот и трещин в одном месте и коагуляции в другом; в соленосных породах - быстрое растворение соли и большой удельный вес рассолов.

5.39. Оценка гидрологических условий включает: оконтуривание и характеристику водосборов различного порядка, в том числе замкнутых локальных водосборов; выявление очагов поглощения поверхностных вод, данные о величине и режиме поглощения; выделение участков рек с инфильтрационными потерями в закарстованные породы и участков с подземным питанием; данные об уровне и температурном режиме, стоке, потерях и питании рек на выделенных участках, среднемесячные, среднегодовые и экстремальные модули стока. Строятся графики изменения расходов воды и модулей стока по длине рек, полученные в результате синхронных наблюдений. Приводятся данные о режиме озер. Изучаются элементы и выполняются расчеты водного баланса.

5.40. Оценка гидрогеологических условий включает характеристику распространения, условий залегания, мощности и строения гидрогеологических комплексов и горизонтов, данные об их гидрогеологических параметрах (коэффициент фильтрации и др.), уровнях, температуре, химическом составе, режиме, закономерностях движения подземных вод, условиях питания и разгрузки, взаимосвязи между водоносными горизонтами и с поверхностными водами, влияние техногенных факторов на изменение гидрогеологических условий. При этом в карстовом массиве и во всей толще покрывающих пород должны быть выделены и охарактеризованы зоны различ-

ной водопроницаемости. Важно оценить не только водоносные горизонты, но и водоупоры с целью выяснения их защитной роли. Оценивается растворяющая способность поверхностных и подземных вод по отношению к карстующимся породам (пп. 5.41-5.57) и их роль в развитии карста, карстовых провалов и оседаний грунтов и земной поверхности (пп. 5.130-5.143). В сложных случаях, при необходимости прогноза техногенных изменений гидрогеологических условий развития карста, проводится гидродинамическое моделирование на аналоговых машинах и ЭЦМ.

Гидрогеохимические методы оценки возможности и интенсивности развития карста

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

5.42. Для проведения гидрогеохимических исследований карста используется сеть режимных 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 разрезу толщи), так и на контакте с ними. Пробы отбираются одновременно по всем точкам несколько раз в год с учетом сезонных, суточных и эпизодических колебаний в режиме подземных вод.

Химический анализ воды проводится частично в полевых и частично в стационарных лабораториях. В обязательном порядке в полевых условиях определяются величина pH (потенциометрическим методом на полевых потенциометрах ППМ-1, pH-47, иономере И-102 или других приборах), а также неустойчивые компоненты HCO_3^- , CO_2 , CO_3^{2-} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , NO_2^- , NO_3^- (с помощью полевой лаборатории). Остальные компоненты Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , сухой остаток и желательно K^+ и SiO_2 определяются в стационарных лабораториях.

1.43. Выделяются следующие этапы гидрогеохимической оценки ищ того процесса:

а) Изучение равновесия в системе подземные воды - карстующимся горные породы, позволяющее судить о наличии или отсутствии процесса растворения породы в данной точке в момент отбора пробы (п. 5.44-5.50).

б) Определение количества воднорастворимой горной породы, выносимой подземными водами с единицы площади или объема карстующихся пород в единицу времени, позволяющее судить о масштабах развития карстового процесса в исследуемом районе (п. 5.51-5.52).

в) Определение степени агрессивности подземных вод по отношению к карстующимся породам (то есть определение количества воднорастворимой породы, способной перейти в жидкую фазу), позволяющее судить о масштабах развития карстового процесса в каждой точке отбора пробы и выделить участки наиболее интенсивного развития карста (п. 5.53-5.56).

г) Определение интенсивности растворения поверхности пластов карстующихся пород и стенок полостей и трещин (п. 5.57).

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

5.44. Определение наличия или отсутствия равновесия между подаемными водами и известняками 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:

$$a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}} = \frac{1}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \gamma_{CaCO_3}^2 \cdot [Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}], \quad (11)$$

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

$\gamma_{CaCO_3}^2$ - средний коэффициент активности карбоната кальция. Он определяется из табл.8 в зависимости от величины ионной силы μ или по уравнению

$$\lg y_{\pm}^{\text{CaCO}_3} = - \frac{1,98\sqrt{\mu}}{1 + 1,62\sqrt{\mu}}, \quad (12)$$

где μ - ионная сила раствора, вычисляемая по уравнению

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} ([X_1]Z_1 + [X_2]Z_2 + \dots + [X_n]Z_n), \quad (13)$$

в котором $[X]$ - мг-эквивалентные концентрации всех присутствующих в растворе ионов, Z - соответствующая валентность этих ионов.

Величина произведения растворимости карбоната кальция равна $4,38 \cdot 10^{-9}$.

Таблица 8

| μ | Средние коэффициенты активности | | |
|-------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| | $y_{\text{CaCO}_3}^2$ | $y_{\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2}^4$ | $y_{\text{CaSO}_4}^2$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0,001 | 0,783 | 0,613 | 0,783 |
| 0,005 | 0,559 | 0,312 | 0,559 |
| 0,01 | 0,446 | 0,200 | 0,443 |
| 0,015 | 0,392 | 0,157 | 0,388 |
| 0,02 | 0,338 | 0,115 | 0,333 |
| 0,025 | 0,308 | 0,096 | 0,299 |
| 0,03 | 0,278 | 0,078 | 0,265 |
| 0,035 | 0,260 | 0,068 | 0,246 |
| 0,04 | 0,242 | 0,059 | 0,228 |
| 0,045 | 0,227 | 0,052 | 0,213 |
| 0,05 | 0,212 | 0,046 | 0,199 |
| 0,055 | 0,202 | 0,041 | 0,188 |
| 0,06 | 0,192 | 0,037 | 0,177 |
| 0,065 | 0,184 | 0,034 | 0,170 |
| 0,07 | 0,177 | 0,031 | 0,159 |
| 0,075 | 0,168 | 0,028 | 0,154 |
| 0,08 | 0,160 | 0,026 | 0,145 |

Таблица 8 (окончание)

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|-------|-------|-------|
| 0,085 | 0,156 | 0,024 | 0,140 |
| 0,09 | 0,152 | 0,023 | 0,135 |
| 0,095 | 0,147 | 0,022 | 0,130 |
| 0,10 | 0,143 | 0,021 | 0,126 |
| 0,125 | 0,130 | 0,018 | 0,112 |
| 0,150 | 0,118 | 0,015 | 0,099 |
| 0,20 | 0,094 | 0,010 | 0,073 |
| 0,25 | 0,084 | 0,008 | 0,062 |
| 0,30 | 0,075 | 0,006 | 0,052 |
| 0,40 | 0,066 | 0,005 | 0,041 |
| 0,50 | 0,060 | 0,004 | 0,035 |
| 0,60 | 0,054 | 0,003 | 0,029 |
| 0,70 | 0,052 | 0,003 | 0,026 |
| 0,80 | 0,050 | 0,003 | 0,023 |
| 0,90 | 0,049 | 0,003 | 0,021 |
| 1,00 | 0,048 | 0,003 | 0,020 |
| 2,00 | 0,047 | 0,003 | 0,012 |

5.4б. Определение наличия или отсутствия равновесия между подземными водами и доломитами производится путем вычисления произведения активностей ионов кальция, магния и карбоната ($a_{Ca^{2+}} \cdot a_{Mg^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}}^2$) и сравнения его с произведением растворимости доломита $K_{CaMg(CO_3)_2}$

Произведение активностей вычисляется по уравнению

$$a_{Ca^{2+}} \cdot a_{Mg^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}}^2 = \frac{1}{16} \cdot 10^{-12} \cdot y_{CaMg(CO_3)_2}^4 \cdot [Ca^{2+}] \cdot [Mg^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}]^2, \quad (14)$$

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

γ_{CaMg}^{4+} - средний коэффициент активности доломита, $K_{CaMg(CO_3)_2}$ который определяется из табл.8 в зависимости от величины ионной силы μ .

Величина произведения растворимости доломита ($K_{CaMg(CO_3)_2}$) равна $2 \cdot 10^{-15}$.

5.46. В тех случаях, когда определение иона CO_3^{2-} аналитическими методами затруднено, вычисление его концентрации в растворе производится по уравнению

$$[CO_3^{2-}] = \frac{3,77 \cdot 10^{-11} [HCO_3^-]}{10^{-[pH]}} \cdot f_{cp}, \quad (15)$$

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

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

f_{cp} - коэффициент, определяемый в зависимости от величины ионной силы μ по табл. 9.

Таблица 9

| μ | f_{cp} | μ | f_{cp} |
|-------|----------|-------|----------|
| 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 | | |

5.47. Определение наличия или отсутствия равновесия между подземными водами и сульфатными карстующимися породами производится путем вычисления произведения активностей ионов кальция и

произведения ($a_{Ca^{2+} \cdot SO_4^{2-}}$) и сравнения его с произведением растворимости сульфата кальция (K_{CaSO_4}).

Произведение активностей сульфата кальция вычисляется по уравнению

$$a_{Ca^{2+}} \cdot a_{SO_4^{2-}} = \frac{1}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \gamma_{CaSO_4}^{2\pm} \cdot [Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}], \quad (16)$$

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

$\gamma_{CaSO_4}^{2\pm}$ - средний коэффициент активности сульфата кальция, определяемый из табл. 8 в зависимости от величины ионной силы μ или по уравнению

$$\lg \gamma_{CaSO_4}^{2\pm} = - \frac{1,98\sqrt{\mu}}{1 + 1,3\sqrt{\mu}} + 0,0515\mu, \quad (17)$$

в котором μ - ионная сила, вычисляемая по уравнению (13), приведенному в п. 5.44.

Величина произведения растворимости ангидрита (K_{CaSO_4}) принимается равной $3,55 \cdot 10^{-5}$, а для гипса $K_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}$ составляет $2,96 \cdot 10^{-5}$.

5.48. 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, доломит, ангидрит, гипс).

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

5.49. Наличие или отсутствие равновесия между подземными водами и галогенными карстующимися породами устанавливается 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.

5.50. 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 исс-

ледования.

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

$$q = \frac{(C_H - C_0^П) Q_B^П + (C_H - C_0^С) Q_B^С}{S}, \quad (18)$$

где q - количество растворимой породы (г), выносимой подземными водами с единицы площади участка в единицу времени;

$Q_B^П$ - количество подземных вод (m^3), поступающее через границы участка в его пределы в ту же единицу времени;

$Q_B^С$ - количество воды (m^3), поступающее с поверхности в подземные воды в пределах участка;

C_H - среднее содержание соли ($г/м^3$), соответствующей карстующейся породе ($CaSO_4$ - для гипсов, $CaCO_3$ - для известняков, $CaMg(CO_3)_2$ - для доломита, $NaCl$ - для каменной соли), в подземных водах после прохождения участка;

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

$C_0^С$ - 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 (m^2).

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

5.52. На основании вычисленного количества воднорастворимой горной породы, выносимой подземными водами, подсчитывается показатель активности карстового процесса, предложенный Н.В. Родионовым. Он служит для сравнения скорости развития карста в различных районах и определяется по формуле

$$A = \frac{v}{V} \cdot 100 \text{ (в процентах за тысячелетие)}, \quad (19)$$

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 выносимой горной породы, выносимой подземными водами.

1.13. Для определения степени агрессивности подземных вод по отношению к карбонатным породам, как наиболее простые, можно рекомендовать два метода:

а) По номограммам Ф.Ф. Лаптева, приведенным в "Справочнике гидрогеолога" /85/ и других руководствах, определяется содержание в растворе агрессивной углекислоты, способной переводить в раствор карбонат кальция.

б) Количество карбоната кальция, способного перейти в извлекаемый водный раствор, определяется по уравнению произведения растворимости карбоната кальция, представленному в виде:

$$y_{CaCO_3}^{2\pm} \cdot ([Ca^{2+}] + [X]) \cdot ([CO_3^{2-}] + [X]) = 0,0308, \quad (20)$$

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

$y_{CaCO_3}^{2\pm}$ - средний коэффициент активности карбоната кальция, определяемый по табл. 8 или по уравнению (12), приведенному в п. 5.44;

$[Ca^{2+}]$ и $[CO_3^{2-}]$ - мг-эквивалентные концентрации ионов кальция и карбонатов по данным анализа.

Концентрация иона CO_3^{2-} может быть вычислена по приведенному в п. 5.46 уравнению (15), которое учитывает такой важный гидрохимический параметр, как pH, в значительной мере определяющий массу растворенного карбоната кальция. После подстановки значения CO_3^{2-} из п. 5.46 уравнение (20) для расчета дефицита насыщения [x] приобретает вид

$$y_{CaCO_3}^{2\pm} \cdot ([Ca^{2+}] + [X]) \cdot \left(\frac{3,77 \cdot 10^{-11} [HCO_3^-]}{10^{-pH}} \cdot f_{cp} + [X] \right) = 0,0308. \quad (21)$$

Вообще, задача приближенной оценки количества карбоната кальция, способного раствориться в подземных водах, достаточно неблагоприятная, и, как показывает практический опыт, дает большие расхождения при использовании различных приближенных методов /52/. Поэтому, более точная оценка искомой величины, в случае необходимости ее получения, должна вестись путем компьютерного термодинамического моделирования по специально разработан-

ным для этого программ /35/.

Б.54. Определение степени агрессивности подземных вод по отношению к гипсам и ангидритам производится по специальным номограммам и уравнениям.

Для случая, когда содержание 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.1). При этом:

1) По данным химического анализа воды вычисляется произведение мг-эквивалентных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} , обозначаемое $[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$, и сумма произведений концентраций остальных присутствующих в растворе ионов на их валентность, обозначаемая $(\sum [X_i] Z_i - 2([\text{Ca}^{2+}] + [\text{SO}_4^{2-}]))$, где $[X_i]$ - концентрации (мг-экв/л) каждого из присутствующих в изучаемом водном растворе ионов (включая Ca^{2+} и SO_4^{2-}), Z_i - заряд соответствующего иона.

2) По кривым зависимости $[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$ от $(\sum [X_i] Z_i - 2([\text{Ca}^{2+}] + [\text{SO}_4^{2-}]))$ 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 произведениям $[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$ в исследуемом и в насыщенном растворах. Разность между этими количествами и составляет дефицит насыщения рассматриваемой пробы воды сульфатом кальция (в мг/л).

Для случая, когда содержания ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} значительно отличаются друг от друга, дефицит насыщения определяется по уравнению

$$X_{\text{CaSO}_4} = 34 \left(\sqrt{([\text{Ca}^{2+}] - [\text{SO}_4^{2-}])^2 + 4[\text{Ca}^{2+}]_I \cdot [\text{SO}_4^{2-}]_I} - ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{SO}_4^{2-}]) \right), \quad (22)$$

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

$[\text{Ca}^{2+}]$ и $[\text{SO}_4^{2-}]$ - концентрации (в мг-экв/л) ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в изучаемом водном растворе по данным анализа;

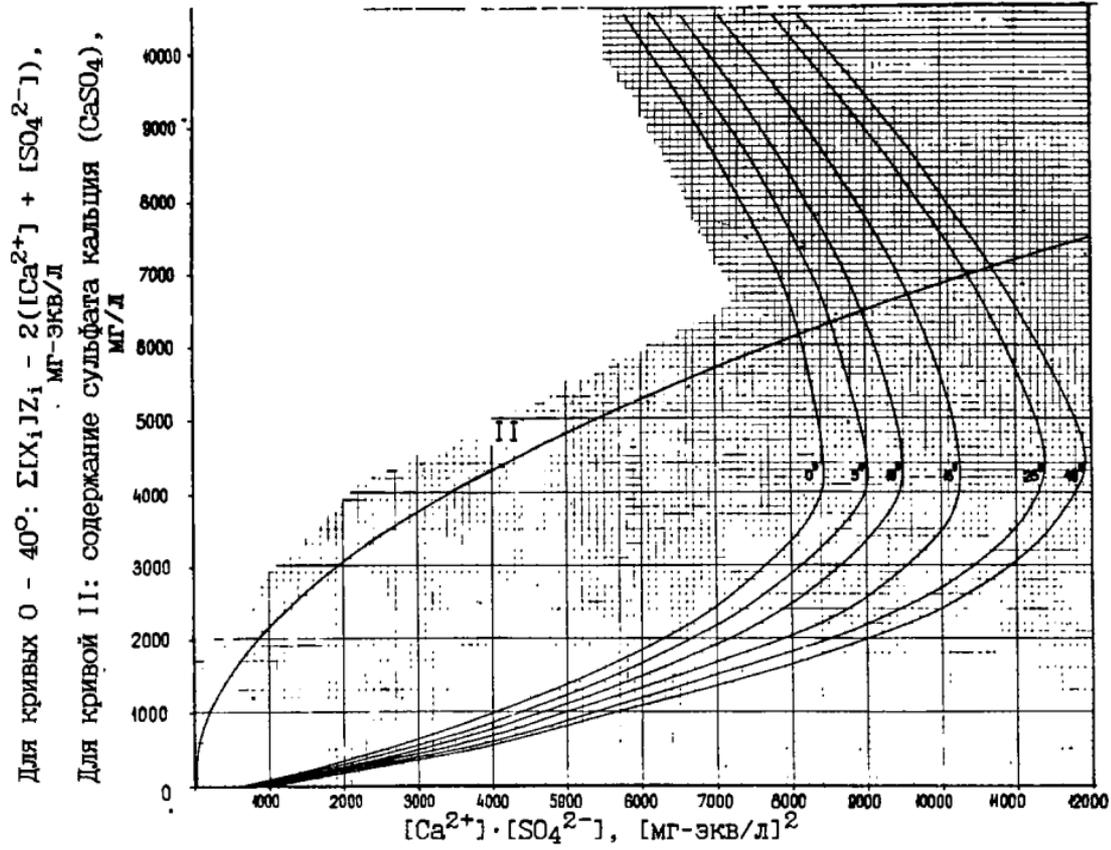


Рис.1. Номограммы для определения дефицита насыщенности природных вод сульфатом кальция (ионная сила до 5,5, температура от 0 до 40°C)

$[Ca^{2+}]_I \cdot [SO_4^{2-}]_I$ - произведение миллиграмм-эквивалентных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в насыщенном гипсом растворе, которое берется с номограмм (см. рис. 1) для соответствующей температуры и определяется в зависимости от величины суммы произведений миллиграмм-эквивалентных концентраций всех присутствующих в растворе ионов, за исключением Ca^{2+} и SO_4^{2-} , на их валентность ($[Na^+] + 2[Mg^{2+}] + [Cl^-] + [HCO_3^-] + [NH_4^+]$ и т.д.).

5.55. 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.

5.56. 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.

5.57. Определение интенсивности растворения поверхности пластов карстующихся пород и стенок полостей и трещин требует проведения специальных исследований.

Оценка поверхностной закарстованности

5.58. Оценка поверхностной закарстованности производится по результатам наземного обследования местности (картологической съемки), с использованием материалов исследований прошлых лет (в том числе, данных стационарных наблюдений за проявлениями карста, если такие наблюдения проводились). Она должна быть не только качественной, но и количественной.

5.59. Закарстованность земной поверхности (поверхностная закарстованность) выражается в наличии карстовых форм рельефа. К ним относятся: карры, поноры, воронки, сложные карстово-эрозионные впадины (котловины, слепые и полуслепые овраги и долины, поля и др.), мульды оседания, карстовые рвы, карстовые останцы и т.д.

Карры - разнообразные углубления в обнажающихся раствори-

в известняках и гипсах в виде небольших разъеденных водой лунок, пещер, желобков, разделенных гребнями и другими выступами.

Поноры - небольшие отверстия и щели (шириной менее 1 м). Имеют важное значение ввиду способности поглощать поверхностный сток. Могут быть скрыты под водопроницаемыми отложениями.

Воронки - важнейшие и наиболее распространенные простые (элементарные) карстовые формы рельефа в виде замкнутых или полузамкнутых (слепых или полуслепых) углублений, в плане округлых или овальных, реже удлинённых и неправильных очертаний, в объеме блюдцеобразной, чашеобразной, конусообразной, колодецеобразной или более сложной формы, диаметром преимущественно до 50 м, иногда до 100 и даже 300 м.

Важно различать: а) воронки, образующиеся в результате растворения горной породы поверхностными водами в местах их сосредоточенной инфильтрации (поглощения) в поноры и трещины; б) воронки, образующиеся в результате размыва нерастворимых пород и выноса рыхлого материала водой вглубь через понор на дне; в) воронки, образующиеся в результате провала или локального оседания земной поверхности. Первые образуются в обнажающихся карстующихся породах, вторые - при залегании карстующихся пород на небольшой глубине, третьи - при значительной, малой мощности покрывающих отложений и при их отсутствии. Воронки, образующиеся в результате провалов, в свою очередь подразделяются по их генезису в соответствии с п. 2.3.

Сложные карстово-эрозийные впадины - разнообразные, в основном крупные, до громадных (поля), замкнутые и полузамкнутые (слепые и полуслепые) отрицательные формы рельефа. Формируются длительное время в результате возникновения простых проявлений карста (воронки и др.), их слияния и переработки эрозией и другими процессами, а также в результате воздействия карста на отрицательные некарстовые формы рельефа (например, превращение эрозийных ложбин и долин в полуслепые вследствие поглощения поверхностного стока закарстованными горными породами).

Мульды оседания - понижения рельефа, формирующиеся в результате постепенных длительных оседаний грунта на обширной площади над подвергающейся растворению кровлей карстующихся пород. Характерны для районов соляного карста.

Карстовые рвы - сильно вытянутые углубления с неровным дном, осложненным понорами и воронками. Развиваются вдоль раск-

рых трещин и трещиноватых зон.

Карстовые останцы - изолированные возвышенности, уцелевшие от разрушения на сильнозакарстованных участках. Характерны для тропического карста.

Примечание: На земной поверхности бывают доступны для наблюдения некоторые подземные проявления карста: закарстованные трещины и выходы карстовых полостей в обнажениях, устья карстовых шахт, входы в пещеры. Подземная и поверхностная закарстованность проявляются на земной поверхности также в виде гидрогеологических особенностей территории - явлений поглощения поверхностных вод и разгрузки карстовых вод.

5.60. Основными характеристиками проявлений карста на земной поверхности являются: форма (морфология), размеры (морфометрия), генезис, возраст и стадия развития. Имеют значение также состав, строение и свойства вмещающих пород и заполняющих отложений, детали морфологии, наличие и характер водопроявлений, почвенного покрова, растительности, взаимосвязь с другими формами рельефа и карстопроявлениями, роль в поглощении поверхностного стока и развитии других процессов.

5.61. Степень и характер закарстованности земной поверхности изменяются во времени в результате образования новых, омоложения существующих карстовых форм рельефа и, наоборот, их переработки и уничтожения эрозией и другими процессами. Может потребоваться оценка поверхностной закарстованности на разные моменты времени.

5.62. Для количественной оценки поверхностной закарстованности (пораженности земной поверхности проявлениями карста) применяются следующие показатели:

а) Плотность карстовых форм - их количество, приходящееся в среднем на единицу площади (штук на км²)

$$K_{N\Phi} = \frac{N_{\Phi}}{S}, \quad (23)$$

где N_{Φ} - количество карстовых форм на расчетном участке (штук),
 S - площадь расчетного участка (км²).

б) Площадной показатель закарстованности

$$K_{S\Phi} = \frac{\Sigma S_{\Phi}}{S \cdot 1000000} \cdot 100\%, \quad (24)$$

- где ΣF_{Φ} - сумма площадей карстовых форм (м^2),
' - площадь расчетного участка (км^2).
н) Объемный показатель закарстованности

$$Kv_{\Phi} = \frac{\Sigma v_{\Phi}}{S \cdot 1000} \text{ мм}, \quad (25)$$

где Σv_{Φ} - сумма объемов карстовых форм (м^3),
S - площадь расчетного участка (км^2).

По методу удаленности мерой при анализе распространения проявлений карста (карстовых форм) служат расстояния между ними, а также азимуты. В первую очередь - расстояние и азимут до ближайшего соседнего проявления карста (пп. 5.67, 5.87).

5.63. Показатели поверхностной закарстованности следует вычислять не только по сумме всех карстовых форм, но и отдельно по разным их морфогенетическим типам (воронкам, котловинам, карстово-эрозионным оврагам и др.). Допускается вычислять эти показатели только по данным о карстовых воронках (ввиду трудности определения площадей и объемов более крупных форм - сложных карстово-эрозионных впадин и большой роли в их формировании эрозии, а также эоловых и других процессов). В этом случае, вычисленные по данным о воронках показатели количественно характеризуют сравнительно молодую поверхностную закарстованность, а сложные карстово-эрозионные впадины оцениваются качественно как более старые длительно формировавшиеся очаги и участки сильной поверхностной закарстованности.

5.64. Исходными данными для количественной оценки поверхностной закарстованности служат карта, каталог и картотека проявлений карста на земной поверхности. Требования к содержанию и точности карты проявлений карста на земной поверхности изложены в п. 4.56.

5.65. В каталоге для каждого поверхностного карстопроявления приводится его номер, дата обследования, наименование (морфогенетический тип), размеры в плане, глубина, краткая характеристика (включая сведения о морфологии, генезисе, вмещающих породах, заполняющих отложениях, водопроявлениях, почвенном покрове, растительности) и данные о возрасте, а также, в случае необходимости, другие сведения. Если карстовая форма к моменту обследования не сохранилась (например, засыпана), дается соот-

ветствующее примечание.

Картотека карстопоявлений, в отличие от каталога, не является отчетным материалом. Она составляется в дополнение к каталогу для удобства обработки фактического материала.

В каталог и картотеку обязательно вносятся, с указанием времени (даты) образования, все зафиксированные случаи карстовых провалов и оседаний земной поверхности, как первичные, приводящие к возникновению новых воронок или других карстовых форм рельефа, так и повторные, омолаживающие карстовые формы рельефа.

Воронки в каталоге и картотеке классифицируются по генезису (п. 5.59) и возрасту, а в случае необходимости и по другим признакам. Возраст их определяется приблизительно в соответствии с п. 4.41 или устанавливается более точно, если есть сведения о времени их образования или омоложения в результате провалов и оседаний земной поверхности.

5.66. Для каждой воронки, провала, оседания земной поверхности подсчитываются и заносятся в каталог и картотеку относительные диаметра к глубине, площадь в плане и объем. Рекомендуются формулы:

а) Для подсчета площади круглой в плане воронки $s = \pi r^2$ и для овальной $s = \pi a b$, где s - площадь воронки (m^2), r - радиус воронки (м), a - большая полуось эллипса (м), b - малая полуось эллипса (м).

б) Для подсчета объема воронки $v = ksh$, где v - объем (m^3), k - коэффициент, h - глубина (м).

Коэффициент k принимается равным: для конических воронок 0,4; для чашеобразных и блюдцеобразных с вогнутым дном 0,5 (параболоид вращения); для воронок с трапециевидным поперечным сечением (с широким плоским дном) 0,7; для цилиндрических (колодцеобразных) 1,0.

Площади и объемы воронок более сложной формы вычисляются по индивидуальным формулам.

5.67. Площади разной степени закарстованности на карте поверхностных проявлений карста рекомендуется оконтуривать изолиниями удаленности точек территории от карстовых воронок.

Для построения изолинии вокруг каждой воронки выбранным радиусом удаленности R_1 описывается окружность. Там, где расстояния между воронками меньше $2R_1$, вычерченные круги, в той или

иции изолинии накладываясь друг на друга, образуют единый контур, а там, где расстояния между воронками больше $2R_1$, получают изолированные окружности. Границы полученных обобщенных контуров, а также изолированные окружности, и будут являться изолиниями удаленности, то есть линиями, каждая точка которых удалена от ближайшей к ней воронки на расстояние R_1 .

В зависимости от местных условий, масштаба карты и поставленных задач радиус удаленности R_1 отсчитывается или от краев воронок, или от их центров. Если воронки на карте, изображенные в ее масштабе, имеют вид не точек, а контуров значительных размеров, целесообразнее отсчитывать радиус удаленности от их краев. В этом случае изолинии удаленности от краев явно некруглых воронок строятся не в виде окружностей, а в виде кривых, следующих очертаниям таких воронок на расстоянии R_1 .

Радиусы удаленности удобно брать кратными какому-либо модульному расстоянию (например, при модуле 25 м радиусы будут равны 25, 50, 75, ... м). Целесообразно выбирать модульное расстояние соответствующим 2-5 мм в масштабе карты.

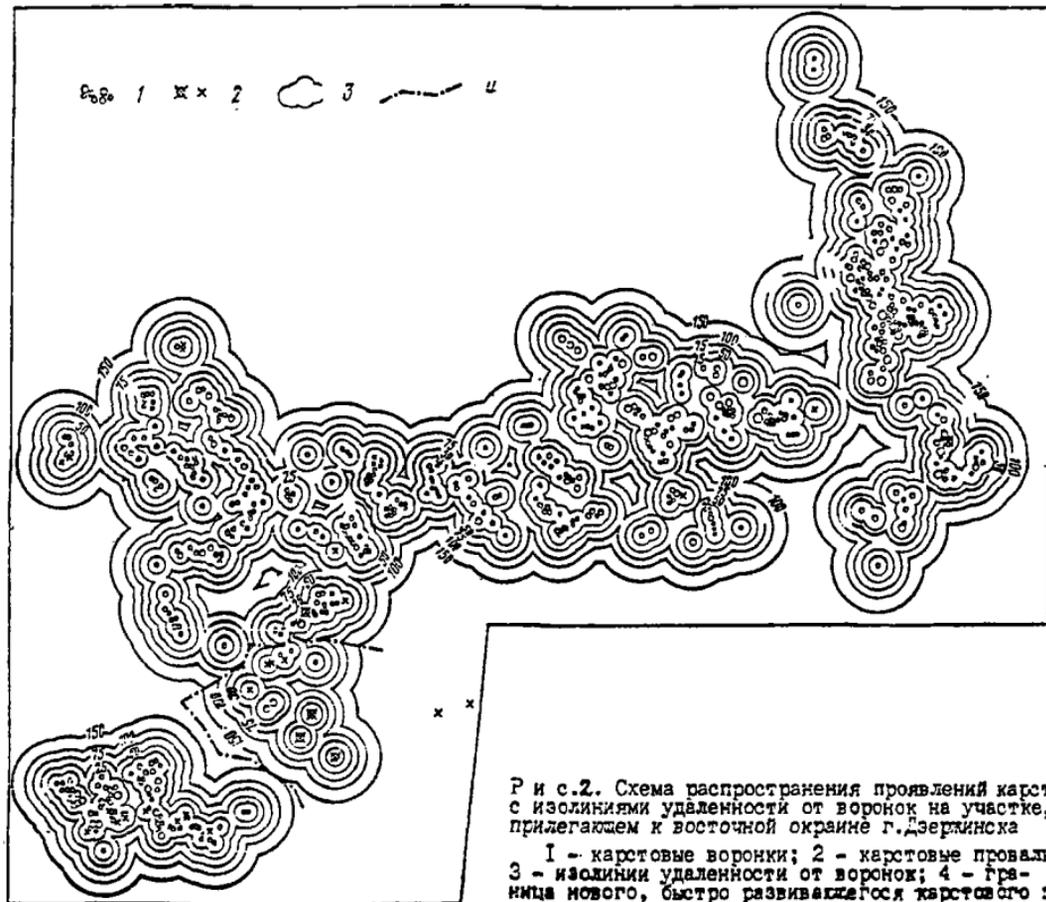
Пример карты изолиний удаленности от воронок приведен на рис. 2.

5.68. Карту удаленности от карстовых воронок рекомендуется принимать за основу для районирования территории по степени и характеру поверхностной закарстованности. На ней отчетливо видны площади разной степени концентрации воронок. Причем, с увеличением радиуса удаленности единичные воронки последовательно объединяются в группы, очаги или узлы, скопления, поля и, наконец, участки.

На карту удаленности от воронок накладываются контуры распространения других поверхностных проявлений карста (сложных карстово-эрозионных впадин, карровых поверхностей и т.д.). При этом, в случае необходимости, могут быть построены изолинии удаленности от карстово-эрозионных впадин.

В результате сопоставления контуров разной концентрации воронок (выраженных в виде изолиний удаленности) и распространения других поверхностных проявлений карста получается карта районирования территории по степени и характеру поверхностной закарстованности.

Полученная карта сопоставляется с картами условий развития карста и подземной закарстованности. Если внутри какой-либо из



Р и с.2. Схема распространения проявлений карста с изолиниями удаленности от воронок на участке, прилегающем к восточной окраине г.Дзержинска

1 - карстовые воронки; 2 - карстовые провалы;
3 - изолинии удаленности от воронок; 4 - граница нового, быстро развивающегося карстового поля

подлинник в ней площадей обнаруживаются существенные различия в условиях развития карста, подземной закарстованности и условиях проявления карста на земной поверхности, - площадь рассчитывается на соответствующие части и корректируются ее границы.

5.69. Для каждой из выделенных на карте районирования площадей (карстовых очагов, полей, участков и др.) подсчитываются показатели поверхностной закарстованности (п. 5.62).

Значения показателей закарстованности, вычисленные для площадей (карстовых очагов, полей, участков и др.), оконтуренных изолиниями удаленности от проявлений карста, закономерно уменьшаются с увеличением радиуса удаленности. Характер зависимости плотности карстовых воронок от величины радиуса удаленности, оконтуривающего расчетную площадь, иллюстрируется рис. 3.

5.70. Для выделенных площадей различной закарстованности производится статистический анализ данных о карстопроявлениях с построением графиков распределения воронок по величине их диаметров и глубин, подбором соответствующих теоретических кривых распределения, вычислением средних значений и дисперсий, установлением корреляционных зависимостей между диаметрами и глубинами воронок (см. п. 5.93 и рис. 6).

5.71. Для каждой из выделенных площадей, кроме показателей закарстованности и результатов статистической обработки замеров диаметров и глубин воронок, дается описание и анализ морфологии, генезиса, возраста и стадий развития воронок и других проявлений карста.

Оценка устойчивости территорий в отношении провалов и оседаний земной поверхности

5.72. Понятие "устойчивость" означает, насколько мала на рассматриваемой территории опасность карстовых провалов, а также оседаний земной поверхности.

Оценка опасности провалов должна производиться во всех случаях выполнения изысканий в карстовых районах. К провалам рекомендуется также приравнивать локальные оседания (п. 5.98). Общие же оседания земной поверхности при оценке устойчивости территорий учитываются в соответствии с п. 5.99.

$$K_{NB}(R) = \frac{N_B}{S(R)}, \text{ шт./км}^2$$

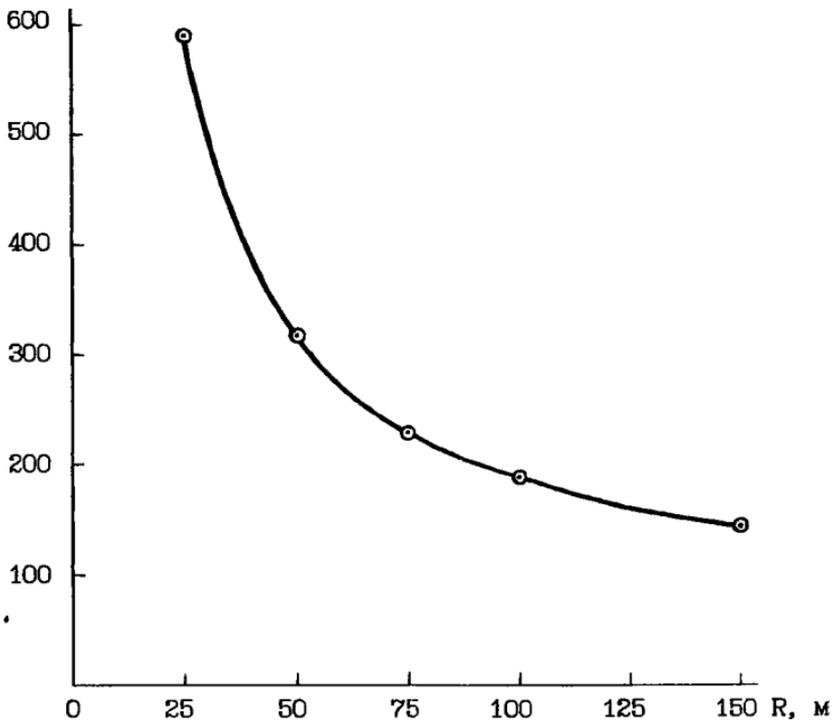


Рис.3. График зависимости плотности карстовых воронок от радиуса оконтуривания на участке у восточной окраины г.Дзержинска (см. рис.2)

5.73. Оценка устойчивости территорий производится на основе инженерно геологического районирования по условиям, характеру и степени развития карста (в том числе по условиям его проявления на земной поверхности). Оценка устойчивости территорий без достаточного изучения условий, закономерностей и проявлений карста не допускается.

5.74. Методы оценки устойчивости территорий зависят от задач и стадии проектирования, местных природных условий, а также от степени изученности территории (наличие или отсутствие многолетних стационарных наблюдений за карстовыми явлениями и т.д.).

5.75. Оценка устойчивости территории должна быть не только качественной, но и количественной. Для количественной оценки устойчивости территорий в отношении провалов используются следующие характеристики:

показатели интенсивности провалообразования;

распределение карстовых провалов по величине их диаметров и глубин;

надежность закарстованной территории;

надежность зданий и сооружений, расположенных на закарстованной территории.

5.76. Из перечисленных в п. 5.75 характеристик в результате изысканий обязательно должны быть получены следующие:

1) основной показатель интенсивности провалообразования - среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенное к единице площади (п. 5.77);

2) распределение ожидаемых карстовых провалов по величине их диаметров (в виде графика или таблицы) и (или) прогнозируемые средний диаметр, максимальный трехсигмовый диаметр и средняя глубина (п. 5.93).

Остальные характеристики являются или производными (то есть вычисляются из вышеуказанных), или дополнительными.

5.77. Основной показатель интенсивности провалообразования - среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенное к единице площади (среднегодовая плотность провалов), рассчитывается по формуле:

$$U = \frac{N_{\text{пр}}}{St} \text{ случаев/км}^2 \text{ в год,} \quad (26)$$

где $N_{\text{пр}}$ - количество случаев провалов, зарегистрированных на площади S (км^2) за промежуток времени t лет.

Обратной величиной является средняя периодичность провалов

$$T = \frac{1}{U}, \quad (27)$$

которая показывает, через какие промежутки времени (в среднем) на площади 1 км^2 появляется один провал.

5.78. Кроме основного показателя интенсивности провалообразования рекомендуется также определять:

Площадный показатель интенсивности провалообразования

$$U_S = \frac{\Sigma S_{\text{пр}}}{St} \cdot 100\% \text{ в год}, \quad (28)$$

где $\Sigma S_{\text{пр}}$ - сумма площадей провалов (м^2), образовавшихся на территории S (км^2) за промежуток времени t лет.

Объемный показатель интенсивности провалообразования

$$U_V = \frac{\Sigma V_{\text{пр}}}{St \cdot 1000} \text{ мм/год}, \quad (29)$$

где $\Sigma V_{\text{пр}}$ - сумма объемов провалов (м^3), образовавшихся на территории S (км^2) за промежуток времени t лет.

5.79. В зависимости от интенсивности провалообразования и прогнозируемых средневероятных диаметров ожидаемых провалов выделяются категории устойчивости территории (см. табл. 6 и 7, п. 5.1).

Категория устойчивости территории, определенная по таблицам 6 и 7, получает двойной индекс, состоящий из цифры и буквы (I-B, IV-Г и т.п.).

5.80. К шестой категории устойчивости относятся лишь территории, на которых возникновение карстовых провалов земной поверхности невозможно или из-за отсутствия растворимых горных пород, или благодаря наличию надежной защитной покрывающей толщи нерастворимых водонепроницаемых или скальных пород (см. также п. 5.103).

5.81. Показатели интенсивности провалообразования определяются:

по данным стационарных наблюдений, то есть по результатам

и геологической регистрации случаев образования провалов на определенной площади;

по данным наземного обследования местности (карстологической съемки), сопровождающегося сбором сведений о ранее образовавшихся провалах, дешифрированием аэрофотоснимков, выполненных в разные годы, и применением различных методов определения возраста существующих карстовых воронок;

по аналогии с другими карстовыми участками, находящимися в сходных геологических (в том числе, гидрогеологических) условиях и характеризующихся той же степенью закарстованности.

Наиболее достоверные сведения дают стационарные наблюдения, а по аналогии с другими карстовыми участками может быть получена лишь ориентировочная количественная оценка устойчивости территории.

5.82. Для достоверного определения показателей интенсивности провалообразования требуется достаточно большая продолжительность наблюдений за образованием провалов t и достаточно большая площадь наблюдаемого расчетного участка S . Если расчетный промежуток времени t не менее примерно 20 лет и площадь S достаточно представительна, не менее 5 км^2 , оценка устойчивости может считаться достоверной независимо от количества зарегистрированных за это время провалов. Если t или S расчетного участка меньше указанных, но количество зарегистрированных провалов n не меньше примерно 20, оценку тоже можно считать достоверной, однако не исключена ошибка, связанная с колебаниями интенсивности провалообразования во времени. В остальных случаях оценка показателей интенсивности провалообразования является приблизительной или ориентировочной.

5.83. Выполнение наземного карстологического обследования местности масштабов 1:2000 - 1:5000, а на слабозакарстованных территориях - также масштабов 1:10000 - 1:25000, сопровождающегося сбором сведений о ранее образовавшихся провалах, дешифрированием аэрофотоснимков разных лет и применением различных методов определения возраста существующих карстовых воронок (п. 4.41), позволяет выявить площади, на которых за последние 20-50 лет карстовые провалы не отмечались (см. п. 5.91), а по остальным участкам исследованной территории получить достаточно полные сведения о свежих провалах, происшедших за последние примерно 5 лет, и провести по полученным данным расчеты устойчи-

ности. При этом возможность ошибки, связанной с малой продолжительностью расчетного периода (п. 5.82), может быть учтена путем введения коэффициента запаса. Иногда удается собрать достаточно полные сведения о провалах, происшедших в более ранние годы, что позволяет лучше учесть изменения интенсивности провалообразования во времени. Наличие же данных карстологических съемок прошлых лет, удовлетворяющих требованиям пп. 4.38 и 4.56, в сущности равносильно наличию данных стационарных наблюдений за провалообразованием.

5.84. Оценка устойчивости территорий должна даваться максимально дифференцированной по площади, насколько позволяют данные об условиях, степени и закономерностях развития карста.

5.85. Участки для расчетов показателей интенсивности провалообразования выбираются и оконтуриваются на карте районирования по условиям, характеру и степени развития карста. Каждый из них должен характеризоваться общностью условий развития карста и примерно одинаковым характером и степенью закарстованности. Рекомендуется оконтуривать расчетные участки изолиниями удаленности от карстовых воронок (п. 5.67) и корректировать полученные контуры по данным об условиях и подземных проявлениях карста (п. 5.68).

5.86. Если количество известных случаев карстовых провалов на расчетном участке недостаточно (п. 5.82), рекомендуется объединять для расчетов несколько участков, аналогичных по условиям, характеру и степени закарстованности.

5.87. Оценку устойчивости территории рекомендуется проводить с применением метода удаленности от ближайшего соседнего проявления карста /80/. Работа с применением этого метода выполняется в следующем порядке.

1) Составляется таблица и график (гистограмма) распределения зафиксированных на расчетном участке воронок и случаев провалов по удаленности от ближайшего соседнего проявления карста. Для этого на карте (или, лучше, на местности) измеряются расстояния (x) от каждой из имеющихся воронок и от каждого зафиксированного провала до ближайшего к ней (к нему) проявления карста. Данные измерений группируются по интервалам удаленности. Для каждого интервала подсчитываются и записываются в таблицу: его длина, среднее значение удаленности (x), количество воронок и провалов в интервале (частота), их частота (частота, делен-

н.м на общее количество воронок и провалов на всем расчетном участке) и средняя плотность частоты $w(x)$, приходящаяся на 1 м длины интервала. Составляется график (гистограмма) эмпирического распределения $w(x)$ по удаленности (x) . Целесообразно составить и сравнить различные варианты таблиц и графиков распределения по удаленности: только случаев провалов, только старых воронок, всех провалов и воронок.

2) Методами математической статистики производится сглаживание эмпирической кривой распределения $w(x)=f(x)$ или подбирается закон распределения и определяются его параметры. При этом может быть применен метод наименьших квадратов (рис. 4).

3) По карте (п. 5.67, рис. 2) измеряются площади, заключенные между изолиниями удаленности, и для каждого интервала между этими изолиниями вычисляется среднее значение площади, приходящейся на 1 м удаленности, - $s(R)$, где R - средний для интервала радиус удаленности от ближайшего проявления карста (см. рис. 4). Подбирается, выравнивается и строится на графике кривая $s(R)=f(R)$.

4) На основании кривых $w(x)=f(x)$ и $s(R)=f(R)$, принимая $x=R$ и $w(x)=w(R)$, строится прогнозная кривая распределения среднегодовой плотности провалов по удаленности от ближайшего проявления карста $u(R)=f(R)$. При этом прогнозируемая среднегодовая плотность провалов для удаленности R принимается равной элементу плотности, подсчитанному для площади, имеющей вид ленты, шириной 1 м, осью которой является изолиния удаленности R . Она рассчитывается по формуле

$$u(R) = \frac{N_{\text{пр}}}{t} \cdot \frac{w(R)}{s(R)}, \quad (30)$$

где $u(R)$ - прогнозируемая среднегодовая плотность провалов для радиуса удаленности R , случаев/км² в год;

$N_{\text{пр}}$ - зарегистрированное количество случаев провалов на всем расчетном участке;

t - период времени, за который образовались зарегистрированные провалы, количество лет;

$w(R)$ - плотность частоты провалов и (или) воронок, приходящаяся на 1 м удаленности, м⁻¹;

$s(R)$ - размер элемента площади территории, шириной 1 м,

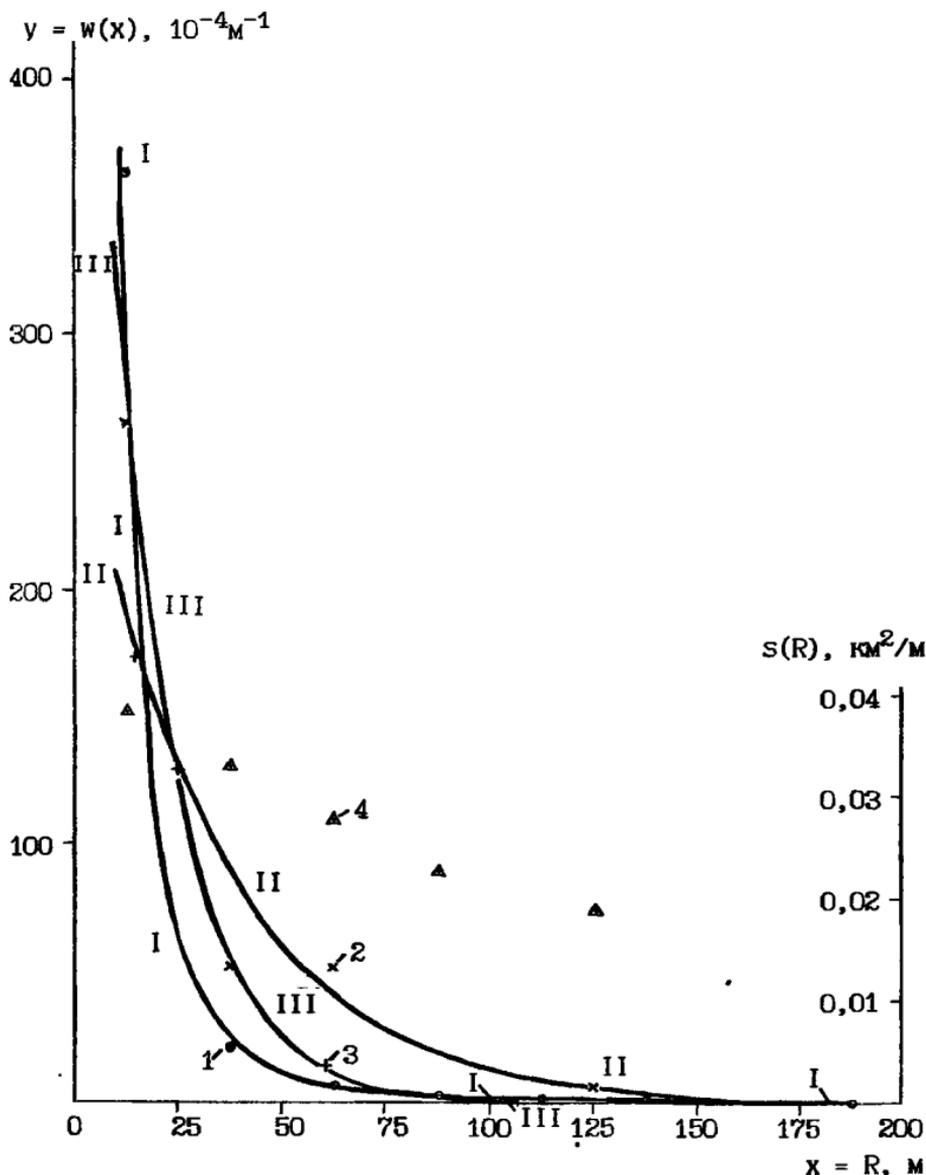


Рис. 4. Распределение воронок и провалов по удаленности от ближайшего проявления карста на участке у восточной окраины г. Дзержинска /80/

Исходные (неисправленные) значения плотности частоты распределения по удаленности: 1 - воронок, 2 - 30 провалов, 3 - 23 провалов. 4 - значение $s(R)$ площади, приходящейся на 1 м удаленности. Кривые распределения по удаленности: I - воронок, II - 30 провалов, III - 23 провалов.

соответствующего изолинии удаленности R (условная длина изолинии удаленности), $\text{км}^2/\text{м} = 10^6 \text{ м}$;

R - радиус удаленности, м.

По результатам расчетов определяется уравнение и строится график прогнозной кривой $u(R)=f(R)$ (рис. 5).

5) По уравнению или графику прогнозной кривой $u(R)=f(R)$ определяются значения радиусов удаленности, соответствующие показателям интенсивности провалообразования (среднегодовой плотности провалов), ограничивающим категории устойчивости территории согласно табл. 6 (см. рис. 5). Этими радиусами на карте строятся изолинии удаленности от проявлений карста, выявленных на расчетном участке.

Построенные изолинии являются границами категорий устойчивости, а карта - картой устойчивости территории расчетного участка. На любой площади внутри контура изолинии среднегодовая ожидаемая плотность провалов будет больше, а вне контура - меньше значения $u(R)$, присвоенного изолинии.

5.88. При наличии на расчетном участке или на нескольких объединенных для расчетов участках (п. 5.86) не менее 50 карстовых воронок, даже в случае недостаточности сведений о случаях провалов (период наблюдений менее 20 лет, количество зарегистрированных провалов меньше 20) могут быть проведены расчеты по п. 5.87 и получена приблизительная оценка устойчивости территории. Если в результате расчета радиус удаленности границы между II и III категориями устойчивости получится меньше 20 м, его следует увеличить и произвести перерасчет прогнозной кривой $u(R)=f(R)$, исходя из измененного значения этого радиуса.

5.89. Отдельно расположенные провалы, воронки, небольшие группы воронок и карстово-эрозионные впадины рекомендуется оконтуривать изолиниями удаленности, соответствующими границам категорий устойчивости территории по аналогии с расчетными участками (пп. 5.87, 5.88). В случае отсутствия аналогов рекомендуется проводить границу между II и III категориями устойчивости территории ориентировочно в 20-50 м от краев указанных проявлений карста, а границу между IV и V категориями - в 100-200 м от их краев (в зависимости от конкретных условий).

5.90. Выявленные и оконтуренные буровыми и геофизическими работами участки сильной и средней подземной закарстованности с многочисленными или немногочисленными полостями, которые могут

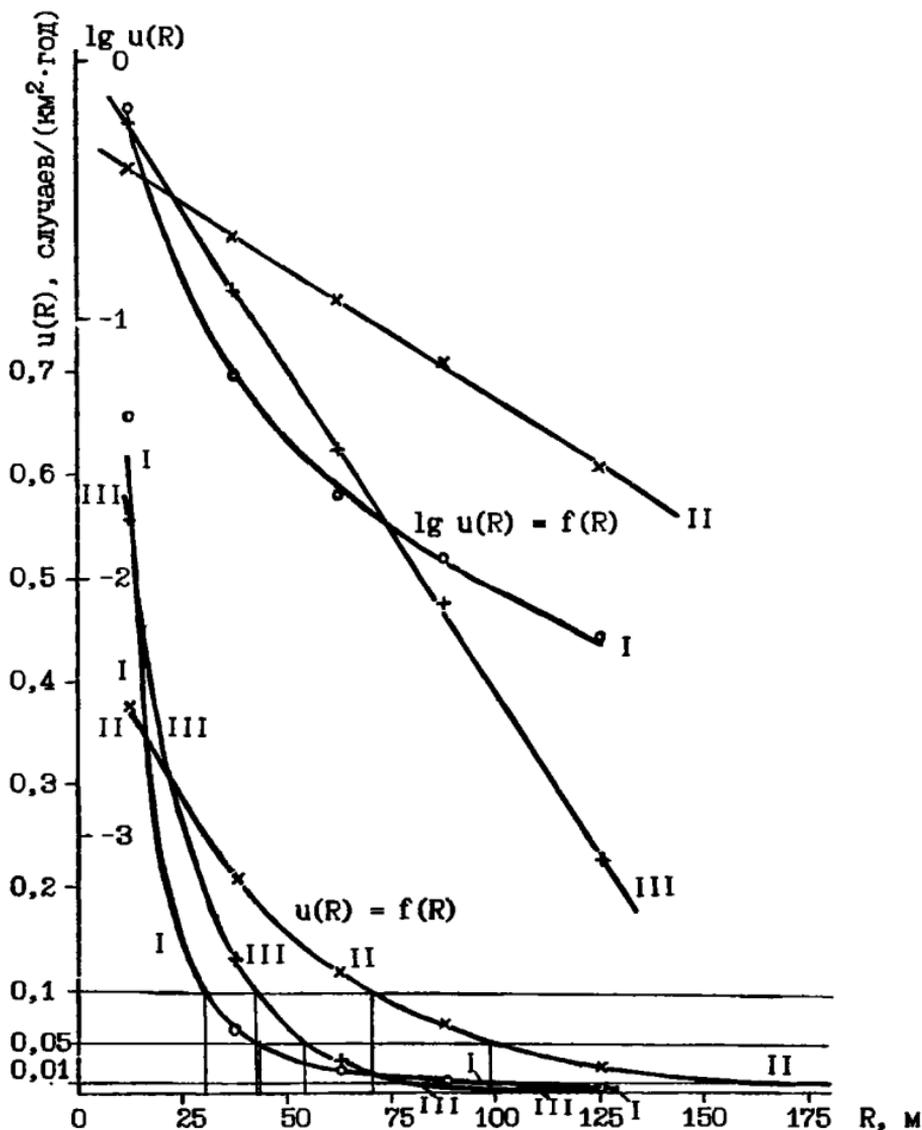


Рис.5. Распределение ожидаемой среднегодовой плотности провалов по удаленности от ближайшего проявления карста на участке у восточной окраины г.Дзержинска /80/

Прогнозные кривые ожидаемой среднегодовой плотности провалов, полученные с использованием распределения по удаленности от ближайшего проявления карста: I - 566 воронок, II - 30 провалов, III - 23 провалов.

проявиться в виде провалов земной поверхности, относятся к IV или более низкой категории устойчивости, в зависимости от степени опасности полостей. Если полость обнаружена отдельной скважиной и ее оконтуривание на данной стадии изысканий не проводилось, рекомендуется площадь в радиусе 20-50 м от скважины отнести ориентировочно к IV категории устойчивости, а если полость крупная или залегает неглубоко от земной поверхности - к более низкой категории.

5.91. Территории, на которых случаи карстовых провалов и оседаний, воронки, карстово-эрозионные впадины и карстовые полости не выявлены и не распространяется действие пп. 5.87-5.90, 5.92, но возможность не только наличия полостей, но и образования провалов не исключена (п. 5.80), относятся к V категории устойчивости. Ввиду обширности V категории (среднегодовая плотность провалов от приближающейся к 0,01 случая/(км²·год) до крайне незначительной) следует, по возможности, отнесенные к ней территории, в свою очередь, подразделять на более дробные категории устойчивости (например, V₁, V₂, V₃ и т.п.), основываясь на анализе условий и истории развития карста и связанных с ним суффозионных и провальных явлений.

5.92. На застроенных и спланированных территориях, поймах рек, болотах, участках развееваемых песков, интенсивного развития эрозии и т.п. площадях с неблагоприятными условиями для сохранения карстовых форм рельефа необходимо уделить особое внимание сбору сведений в местных организациях и у населения о случаях карстовых провалов и сбору и использованию старых топографических и аэрофотосъемочных материалов разных лет для выявления ранее существовавших карстовых воронок и карстово-эрозионных впадин (см. также п. 5.122). На давно застроенных и спланированных территориях, где сбор и изучение старых топографических и аэрофотосъемочных материалов не помогает выявить ранее существовавшие проявления карста на земной поверхности, требуется расширить комплекс применяемых методов и увеличить объемы работ по изучению условий и закономерностей развития карста, выявлению и оценке его подземных проявлений и механизма провалообразования, а оценка устойчивости дается ориентировочно по результатам выполненных исследований с использованием выявленных закономерностей и метода аналогии.

5.93. Для оценки ожидаемых размеров карстовых провалов

составляются таблицы и дифференциальные и интегральные графики распределения по диаметрам и глубинам (раздельно): а) зарегистрированных случаев провалов и б) карстовых воронок (рис. 6). При этом, кроме таблицы и графика распределения всех воронок, рекомендуется составлять таблицы и графики распределения для разных их морфогенетических типов и, обязательно, для всех воронок за исключением блюдцеобразных с пологими склонами и вогнутым дном.

По каждой из составленных таблиц (графиков) определяются параметры распределения (среднее значение, среднее квадратическое значение, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, максимальное трехсигмовое значение, квантили и др.). Для повышения точности таких определений целесообразно подбирать теоретические кривые распределений.

Проводится анализ и сопоставление кривых и параметров распределения по размерам провалов, воронок и их морфогенетических типов. Зачастую распределение провалов и воронок приближается к логарифмически нормальному закону. Однако нередко оно имеет более сложный характер, в том числе встречаются дифференциальные кривые распределения с несколькими модами (максимумами). Если на кривой имеется несколько максимумов, выясняются причины их появления, которые могут быть связаны с различиями в условиях и механизме формирования провалов и воронок и, соответственно, с наличием нескольких морфогенетических типов провалов и воронок.

Составление и анализ кривых распределения провалов, воронок и их морфогенетических типов следует проводить как для всей территории исследований в целом, так и для каждого расчетного участка или группы аналогичных участков.

В результате анализа и сопоставления составленных кривых подбираются и строятся дифференциальные и интегральные прогнозные кривые статистического распределения диаметров и глубин ожидаемых провалов. Рекомендуется, в зависимости от полноты и представительности данных о размерах провалов, принимать в качестве прогнозной или кривую распределения провалов, или кривую распределения всех воронок за исключением блюдцеобразных с пологими склонами и вогнутым дном (блюдцеобразные воронки с широким плоским дном включаются в расчет), или кривую, занимающую промежуточное положение.



Рис.6. График распределения карстовых провалов и воронок по величине их диаметров в районе г.Дзержинска /18/

Кривые распределения воронок обозначены сплошными линиями, кривые распределения провалов - прерывистыми

Построенная интегральная прогнозная кривая распределения позволяет, при необходимости, определить по ней вероятности встречаемости карстовых провалов любых заданных размеров и, на оборот, определить диаметры, соответствующие заданным вероятностям.

При выполнении изысканий на небольших площадках или на площадях с малым количеством провалов и воронок, следует для оценки размеров ожидаемых провалов использовать материалы по окружающей территории, и лишь при отсутствии требующихся данных по окружающей территории допускается в виде исключения ограничиваться ориентировочной оценкой прогнозируемого среднего диаметра, максимального трехсигмового диаметра и средней глубины ожидаемых провалов по аналогии с другими районами и участками со сходными условиями и механизмом провалообразования.

Целесообразно применять также расчетно-теоретические и лабораторно-экспериментальные методы прогноза размеров карстовых провалов /89, 90, 92/, при условии учета вероятностного характера размеров провалов и контроля этих расчетов изложенным выше в настоящем пункте вероятностно-статистическим методом, основанным на данных фактических наблюдений.

5.94. В районах соляного карста оценку устойчивости территорий относительно провалов и оседаний земной поверхности следует проводить по специальным методикам, с учетом специфики этого типа карста (пп. 2.18, 5.99) и его особой чувствительности к техногенным воздействиям (п. 5.135).

5.95. Под надежностью закарстованной территории понимается вероятность того, что эта территория в течение заданного времени t_n не будет поражена карстовыми провалами диаметрами, превышающими d .

Надежность, исходя из положения о близости распределения возникновения карстовых провалов во времени закону редких событий (Пуассона) /69, 90/, определяется по формуле:

$$P_{0d} = e^{-L}, \quad (31)$$

где e - основание натурального логарифма,

$$L = \sum_{i=1}^M [\lambda_i S_i t_n (1 - P_{d_i})], \quad (32)$$

M - количество участков закарстованной территории с различной интенсивностью провалообразования,

λ_i - показатель интенсивности провалообразования u_i на i -том участке площадью S_i , определенный без учета повторных провалов (п. 2.7),

P_{d_1} - вероятность того, что при образовании провала на i -том участке его диаметр не будет превышать d .

Величина P_{d_1} определяется по интегральным кривым распределения диаметров провалов (п. 5.93).

5.96. Под надежностью зданий и сооружений, расположенных на закарстованной территории, понимается вероятность того, что в течение расчетных сроков службы зданий и сооружений они не будут иметь недопустимых повреждений. Надежность отдельных зданий и сооружений и их комплексов определяется по специальной методике, изложенной в "Рекомендациях по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты" (М.: Стройиздат, 1987) /69/.

5.97. Оценку карстовой опасности с использованием параметров надежности рекомендуется применять при необходимости выполнения технико-экономических расчетов освоения закарстованных территорий (например, сравнение вариантов застройки, оценка эффективности противокарстовых мероприятий и т.п. - см. /69/). Надежность является удобным параметром для оценки карстоопасности, если имеется количественный прогноз изменения интенсивности образования провалов и их размеров во времени.

5.98. По данным карстологического обследования местности и даже при периодических обследованиях в составе стационарных наблюдений за проявлениями карста зачастую не удается установить является ли обнаруженная новая воронка результатом провала или локального оседания. Такие случаи образования новых воронок при оценке устойчивости территории относятся к числу провалов.

Достоверно выявленные локальные оседания (п.2.8) учитываются при оценке устойчивости территории отдельно от карстовых провалов, так как представляют меньшую опасность, и, соответственно, могут не включаться в качестве случаев провалов в расчет показателя интенсивности провалообразования U . Однако следует иметь в виду, что они могут быть предвестниками провалов, и при построении изолиний удаленности от ближайшего проявления карста (пп. 5.67, 5.87, 5.88, 5.89, 5.106) места локальных осе-

даний нужно оконтуривать наравне с карстовыми воронками.

5.99. Общие оседания земной поверхности (п. 2.9) учитываются при изысканиях в районах соляного карста, а также для зданий и сооружений, особо чувствительных к осадкам основания. Для изучения и прогноза общих оседаний требуются специальные геодезические наблюдения, гидродинамические и гидрохимические исследования.

5.100. При инженерно-геологическом обосновании районной планировки, а также при изысканиях для выбора площадок и составления ТЭР малоответственных объектов на территориях (включая окрестности), где карст ранее не изучался и по материалам прошлых лет и инженерно-геологической рекогносцировки нет возможности дать количественную оценку устойчивости, допускается ограничиваться качественной оценкой устойчивости территории.

5.101. Для каждого из выделенных при районировании участков, карстовых полей и т.д., кроме интенсивности провалообразования и ожидаемых размеров провалов, должна даваться характеристика геолого-гидрогеологических условий развития карста, условий, механизма и характера проявления карста на земной поверхности, существующей подаемнной и поверхностной закарстованности и физико-механических свойств горных пород.

Рекомендуется составить перечень признаков, характеризующих площади, участки и т.д. различной степени закарстованности и устойчивости с целью их использования для детализации инженерно-геологической оценки карста на следующих стадиях изысканий.

**Детализация оценки устойчивости площадок
отдельных зданий и сооружений
при инженерно-геологической разведке**

5.102. Детализация оценки устойчивости площадок при инженерно-геологической разведке, как правило, должна иметь в основе оценку устойчивости территории, выполненную в результате инженерно-геологической съемки на предыдущих стадиях изысканий.

При инженерно-геологической разведке оценка устойчивости остается, как и при съемке, вероятностной и заключается в уточнении и детализации разделения территории на площади, участки и

зоны разных категорий устойчивости. Гарантируется устойчивость в случаях, рассматриваемых в пп. 5.103 и 5.104. В остальных случаях, как правило, не могут быть выделены участки или зоны VI категории, на которых вероятность возникновения провалов равна нулю.

В районах соляного карста оценка устойчивости территории производится по специальным методикам (п. 5.94).

5.103. Площадка считается устойчивой (VI категории), если в результате предыдущих изысканий или инженерно-геологической разведки достоверно установлено, что в ее геологическом разрезе отсутствуют растворимые горные породы или они покрыты достаточно мощной защитной толщей нерастворимых, преимущественно водонепроницаемых пород, исключающей возможность развития карста или, по крайней мере, возможность его проявления в виде деформаций земной поверхности и грунтов активной зоны основания. Если данных предыдущих изысканий недостаточно, в задачи инженерно-геологической разведки включается проверка и уточнение границ устойчивых участков.

Мощность защитной толщи, гарантирующая невозможность возникновения провалов земной поверхности, зависит от ее состава, строения и степени водонепроницаемости, особенностей толщи растворимых пород и условий ее залегания, близости и глубины эрозийных врезов, дренирующих подземные воды, и т.д., а также от техногенных воздействий на геологическую среду. Соответственно, в зависимости от региональных и местных условий минимально-необходимая мощность защитной покрывающей толщи нерастворимых преимущественно водонепроницаемых пород бывает равной: примерно от 10-20 до 60-100 м.

5.104. При неглубоком залегании толщи скальных пород, нерастворимых, труднорастворимых (известняк, доломит, мергель и др.) и среднерастворимых (гипс, ангидрит), бурение и геофизические работы под конкретные фундаменты позволяют с достаточной степенью достоверности установить, имеются ли полости, опасные для сооружения (при условии, что фундаменты опираются на скалу, а не на покрывающие ее нескальные породы, см. также п. 5.120). Степень опасности обнаруженных полостей определяется расчетом устойчивости их кровли, с учетом нагрузок от фундаментов.

В случаях применения фундаментов глубокого заложения, опирающихся на скальные породы, проверка надежности их основания

обеспечивается бурением лидирующих скважин с использованием, по мере необходимости, скважинных геофизических методов.

5.105. Для детализации и уточнения оценки устойчивости площадки используется комплекс признаков, характеризующих территории разной степени закарстованности и устойчивости, который должен быть разработан на основе выявленных при инженерно-геологической съемке (с учетом пп. 5.7, 5.8, 5.13, материалов региональных исследований и изысканий прошлых лет) закономерностей распространения и развития карста и связанных с ним суффозионных и провальных явлений (п. 5.101).

Главнейшими прямыми признаками закарстованности являются поверхностные и подземные проявления карста.

5.106. Наличие сохранившихся или имевшихся в прошлом карстовых воронок и карстово-эрозионных впадин свидетельствует о том, что на участке имеются полости и существуют условия для дальнейшего развития провалов и оседаний земной поверхности и слагающих ее грунтов. При съемке вокруг них выделяются площади от I или II до IV категорий устойчивости (пп. 5.87-5.89), а при разведке оценка устойчивости уточняется. Причем, чем ближе воронка или карстово-эрозионная впадина, тем детальнее (при прочих равных обстоятельствах) нужно проводить разведку.

На территориях покрытого карста (п. 2.19) площадь каждой из карстовых воронок и в радиусе 20-50 м от нее (в зависимости от условий) заведомо опасна, относится к I-II категории устойчивости и не рекомендуется для размещения зданий и сооружений без крайней необходимости, так как защита их может оказаться очень сложной.

5.107. Обнаруженная карстовая полость (незаполненная или заполненная) является неблагоприятным признаком не только ввиду ее возможной опасности для проектируемого объекта, но и в качестве признака возможного наличия на площадке других полостей, в том числе более опасных, чем обнаруженная.

5.108. В случае обнаружения полостей (или полости) нужно дать предварительную оценку их опасности, выполнить, по мере необходимости, их оконтуривание и проверку окружающей зоны, дать окончательную оценку опасности полостей и рекомендовать с инженерно-геологических позиций защитные мероприятия.

5.109. Зоны наличия карстовых полостей, в зависимости от их опасности, рекомендуется относить к IV-I категориям устойчи-

ности (см. пп. 5.90, 5.110-5.114).

5.110. При оценке опасности обнаруженной полости следует учитывать, что скважина могла вскрыть не самую высокую ее часть. Если полость в месте бурения скважины заполнена, то это еще не означает, что она заполнена и в других местах. Кроме того, необходимо учитывать возможность выноса и уплотнения заполнителя, в особенности под влиянием техногенных изменений гидрогеологических условий.

Определение формы, размеров, степени и характера заполнения глубоко залегающих полостей при существующем состоянии техники и методов изысканий - довольно сложно и трудоемко. Полости же залегающие неглубоко могут быть вскрыты горными и строительными выработками (шурфами, котлованами и т.п.), с соблюдением техники безопасности, изучены и надежно затампонированы.

5.111. Все карстовые полости, незаполненные и заполненные (кроме залеченных - п. 5.28), обнаруженные в активной зоне основания, должны быть оценены как опасные в отношении провалов.

5.112. Критерием степени опасности карстовой полости, обнаруженной за пределами активной зоны основания, является отношение

$$K = \frac{t}{T}, \quad (33)$$

где T - расчетный срок службы сооружения,

t - время в течение которого полость проявится в активной зоне основания сооружения (начиная с момента его строительства).

Величина t оценивается аналитическими и экспериментальными методами. Успех ее определения зависит от правильности принятых в модели параметров полости, свойств грунтов, гидрогеологических характеристик и механизма образования карстовых деформаций. Очень важно при этом правильно учесть неоднородность природных условий, развитие суффозии, а также других процессов (п. 2.4), и воздействие техногенных факторов.

Если $K < 1$, полость считается опасной. Если $K > 1$, полость считается условно неопасной, т.е. неопасной при условии, что в реальной действительности не будет опасных осложнений, непредусмотренных в модели, принятой для определения t . Возможность таких осложнений, а также возможность наличия поблизости дру-

гих, более опасных, полостей (п. 5.107) необходимо учитывать при оценке устойчивости площадки и проектировании противокарстовых мероприятий.

5.113. Наличие заполнителя в карстовых полостях и трещинах в породе затрудняет развитие карста и образование провалов. С другой стороны, присутствие в нем материала, привнесенного из четвертичных отложений, свидетельствует о развитии суффозии. Кроме того, наличие заполнителя может затруднить, снизить качество и даже сделать практически невозможными закрепление закарстованных пород и ликвидацию полостей инъекцией тампонажных растворов.

Целиком заполненные полости, обнаруженные за пределами активной зоны основания, могут считаться неопасными, если достоверно установлено отсутствие потенциальной возможности (с учетом техногенных воздействий) выноса из них или уплотнения заполнителя в течение срока службы сооружения (см. также пп. 5.107, 5.109, 5.110). В остальных случаях опасность полости определяется по критерию К.

5.114. Нередко карстовые полости проявляются сквозь толщу покрывающих пород в виде вертикальных труб "жерл", диаметром порядка 2-5 м (иногда более), в которых происходит длительно и неравномерно развивающийся процесс суффозии и оседания грунта, приводящий к образованию провалов и оседаний земной поверхности, в том числе повторных. Причем, диаметр провала или оседания может быть намного больше, чем у трубы. Существующими методами инженерно-геологической разведки такие "жерла" обнаружить очень трудно.

5.115. Трещиноватые, разрушенные и разуплотненные зоны в растворимых и покрывающих породах способствуют развитию карста и суффозии. Нередко они сами являются проявлениями карста (пп. 5.19, 5.28) или служат признаками возможной закарстованности. Развитие суффозионных процессов (а иногда и уплотнение рыхлого материала) в разрушенных и разуплотненных зонах, а также суффозионный вынос материала в сильнотрещиноватые зоны из вышележающих пород, может привести к образованию оседаний и провалов, в особенности при наличии в этих зонах незаполненных или частично заполненных полостей.

5.116. Погребенные древние карстовые формы рельефа являются признаком значительной закарстованности участка и наличия

под ними карстовых полостей. Могут быть заполнены слабыми и суффозионно-неустойчивыми грунтами.

5.117. В комплекс признаков закарстованности площадки (в зависимости от конкретных условий) входят также проявления карста, не рассмотренные в пп. 5.106-5.116, повышенная, вплоть до аномально высокой, водопроницаемость пород, их пониженная прочность, минералого-петрографические, геохимические (п. 5.35), гидрогеохимические и геофизические признаки. Показателем степени закарстованности может служить мощность закарстованной зоны. Используются общие, региональные и местные, выявленные в районе строительства, закономерности распространения карста (п. 5.105).

5.118. Выделение слабозакарстованных и практически незакарстованных участков, относящихся к V категории устойчивости, следует проводить тоже с использованием комплекса признаков. Важнейшим положительным признаком является отсутствие карстовых полостей. При этом следует иметь в виду, что отсутствие полостей в скважине или группе скважин, являясь положительным признаком и свидетельствуя по крайней мере о наличии целика в месте бурения, не исключает возможности наличия полостей поблизости. Выполнение бурения в комплексе с наземными и скважинными геофизическими и другими работами и использованием минералого-петрографических, геохимических, гидродинамических, гидрогеохимических и прочих признаков повышает информативность изысканий.

5.119. При наличии слоев плотных глин, полускальных и, тем более, скальных пород в покрывающей толще на выявление в ней полостей, разрушенных и разуплотненных зон и связанных с карстом нарушений залегания слоев следует обращать не меньшее внимание, чем на выявление полостей и разрушенных зон в растворимых горных породах.

В случае неглубокого залегания кровли полускальных пород и плотных глин возможно применение методики инженерно-геологической разведки повышенной деятельности, изложенной в п. 5.104 применительно к неглубокому залеганию скальных пород. При этом нужно учитывать более быстрое приближение сводов полостей в полускальных породах и глинах к критическому положению, возможность размыва породы и суффозионного выноса рыхлого материала, наличия труднообнаруживаемых "жерл" (п. 5.114), а также п. 5.120.

5.120. При наличии в разрезе покрывающей или карстующейся толщи песчаных пород и супесей, следует учитывать возможность интенсивной суффозии, которая может привести к оседанию и обрушению вышележащих пород и земной поверхности. Суффозия может развиваться также в суглинках, глинах, карбонатной муке, в случае растворения, рамокания или выветривания цемента в песчаниках и алевролитах, в мелу и т.п.

5.121. В районах с мощной толщей покрывающих песчаных отложений оценка устойчивости особенно сложна (пп. 2.22, 2.23). Инженерно-геологическая разведка в таких условиях проводится в целях уточнения контуров закарстованных зон, степени трещиноватости, закарстованности и закольматированности толщи растворимых пород, уточнения контуров распространения и проверки надежности подстилающих песчаную толщу водоупоров (если они имеются). Рекомендуется также проводить работы по выявлению зон рыхлого сложения в толще песков, некоторые из этих зон могут быть связаны с карстом. В случае наличия под толщей песков достаточно мощного и надежного водоупора применяется п. 5.103.

5.122. При инженерно-геологической разведке площадок, расположенных на существующих или существовавших болотах и заболачивавшихся участках, следует выполнять детальные буровые, геофизические работы и зондирование с целью выявления или проверки возможности наличия карстовых воронок, заполненных торфом и илом и, поэтому, не обнаруживаемых при дешифрировании аэрофотоснимков и маршрутных наблюдениях. Выполнение аналогичных работ повышенной детальности проводится также для выявления воронок и карстово-эрозионных впадин, заполненных насыпными или намывными грунтами на застроенных и спланированных территориях, а также на участках, где они могли быть заполнены пойменным аллювием, делювиальными, золовыми и тому подобными отложениями.

Прогноз влияния техногенных факторов на устойчивость территории

5.123. В отчетах и заключениях по инженерно-геологическим изысканиям должен даваться прогноз влияния техногенных факторов на развитие карста и устойчивость территории. При этом должно оцениваться как влияние проектируемого объекта на развитие

карста на площадке и окружающей территории, так и влияние окружающих сооружений (в особенности, гидротехнических) на развитие карста на площадке.

5.124. Техногенные факторы изменяют рельеф, верхнюю часть геологического разреза (удаление естественных и создание техногенных грунтов), гидрологические и гидрогеологические условия, физико-механические свойства и, иногда, минералого-петрографический состав грунтов, температурное поле и поле напряжений в грунтах (за счет динамических и статических нагрузок от зданий и сооружений и изменений гидрогеологических условий), см. также п. 2.24. Наиболее опасны техногенные изменения гидрогеологических условий, прежде всего - гидродинамических.

5.125. Работа по прогнозированию включает следующие этапы: 1) сбор и анализ данных об имевшихся на территории техногенных воздействиях и происшедших под их влиянием изменениях условий, характера и интенсивности развития карста и устойчивости территории ("ретроспективное прогнозирование"); 2) прогнозирование техногенных воздействий на инженерно-геологические условия в будущем; 3) прогнозирование будущих изменений условий развития карста под влиянием техногенных факторов (воздействий); 4) прогнозирование влияния будущих техногенных изменений условий развития карста на его интенсивность и устойчивость территории.

5.126. Прогноз влияния техногенных факторов на развитие карста и устойчивость территории, как правило, носит в основном качественный характер (ввиду крайней неравномерности распространения и развития карста, необходимости учитывать влияние многих труднопрогнозируемых, сложно взаимосвязанных между собой факторов и слабой, в основном качественной, изученности этих взаимосвязей). В него входит также ряд количественных показателей.

При прогнозировании необходимо выделить опасные техногенные факторы и определить допустимые и (или) недопустимые уровни их влияния на условия развития карста. То есть надо дать "нормативный прогноз". Из него должны следовать рекомендации с инженерно-геологических позиций по осуществлению мероприятий, требующихся для недопущения опасных последствий влияния техногенных факторов.

В сложных случаях, в основном для особо крупных и важных объектов, проводятся специальные исследования по прогнозу влия-

ния техногенных факторов на развитие карста и устойчивость территории, для чего может потребоваться участие специализированных изыскательских, проектных и научно-исследовательских организаций.

5.127. В техническом задании на изыскания должны быть указаны уже имеющиеся и проектируемые техногенные нагрузки и воздействия на геологическую среду: сведения о гидротехнических сооружениях, водозаборах, водонесущих коммуникациях, водосодержащих и водопотребляющих объектах с указанием ожидаемой инфильтрации воды в грунт, содержания в ней агрессивных компонентов и температуры (если вода горячая), возможных местах утечек кислот и других агрессивных жидкостей, планировке территории, срезке, подсыпке и намыву грунта, глубине заложения, типах и размерах фундаментов, динамических и статических нагрузках и т.д. От качества и полноты этих данных зависит качество прогноза развития карста и устойчивости территории. Изменение проектируемых техногенных нагрузок и воздействий на инженерно-геологическую среду может привести к необходимости пересмотра прогноза.

5.128. При выполнении изысканий должен проводиться, при участии заказчика, сбор и анализ материалов об имевшихся и имеющихся техногенных воздействиях и происшедших под их влиянием изменениях условий, характера и интенсивности развития карста, суффозии и провалобразования. Дается их оценка, если требуется отражающаяся в районировании территории, выделяются закономерности, особенности и, насколько позволяют имеющиеся данные, определяется тенденция развития техногенных воздействий и вызванных ими изменений условий, характера и интенсивности развития карста, суффозии и провалобразования ("ретроспективное прогнозирование"), с соответствующими количественными характеристиками.

5.129. Перед прогнозированием влияния техногенных факторов на развитие карста и устойчивость территории должен быть выполнен прогноз техногенных изменений условий развития карста: влияния фильтрации и подпора от водохранилищ на гидрогеологические условия, развития воронок депрессии от водозаборов, подтопления и т.д.

5.130. Во всех случаях необходим качественный, а иногда и количественный прогноз техногенных изменений гидрогеологических условий и их влияния на развитие карста и устойчивость террито-

рии. Может потребоваться прогноз гидрологических условий и их влияния на гидрогеологические условия. Учитывается влияние на гидрогеологические условия работ по намыву, подсыпке и срезке грунта и других техногенных факторов.

Динамические и статические нагрузки от зданий и сооружений учитываются в основном при расчетах осадок фундаментов, а также при оценке опасности обнаруженных карстовых полостей (п. 5.112).

5.131. Техногенные нарушения гидрогеологических условий выражаются в изменениях уровней (напоров), расходов, скоростей, направлений движения, химического состава, температуры и режима подземных вод. Они приводят к изменению свойств пород (влажности, плотности, консистенции, механических свойств) и их напряженного состояния, могут привести к просадкам, размоканию, набуханию, усыханию, растрескиванию, химическому выветриванию, размыву, растворению пород, суффозионному выносу рыхлого (или разрыхляемого) материала подземными водами, оседанию и обрушению пород. Могут также происходить кольматация, цементация и другие процессы.

Наиболее часто основную опасность представляет возможность активизации суффозии (механического выноса материала из карстовых полостей, трещин, разрушенных и разуплотненных зон и т.д., см. п. 5.120), приводящей к возникновению провалов и оседаний грунтов и земной поверхности, нередко многочисленных. Изменение гидрогеологических условий может способствовать и несвязанным с суффозией гравитационным оседаниям и обрушениям пород вследствие изменений их свойств, растрескивания и напряженного состояния. В районах соляного карста и, значительно реже, в районах сульфатного и карбонатного карста возможна активизация растворения пород (пп. 5.135, 5.136).

Для прогноза изменений гидрогеологических условий зачастую необходимы режимные наблюдения, которые должны проводиться непрерывно, как в период изысканий, так и в период строительства и эксплуатации проектируемых объектов.

5.132. Следует учитывать, что как понижение, так и повышение уровней водоносных горизонтов может вызвать активизацию карста и связанных с ним суффозионных и провальных явлений. Наиболее часто приводит к активизации карста и опасному снижению устойчивости территории формирование глубоких воронок депрессии

при разработке месторождений полезных ископаемых с водоотливом и при эксплуатации водоносных горизонтов. Создание водохранилищ тоже нередко приводит к активизации карстовых, суффозионных и провальных явлений. Наиболее неблагоприятно сочетание повышения уровня вод в покрывающих породах со снижением уровня трещинно-карстового водоносного горизонта. Опасность активизации провалообразования возрастает с увеличением разницы уровней и достигает максимума при снижении уровня трещинно-карстового водоносного горизонта ниже кровли вмещающих его пород. Неблагоприятны резкие изменения и колебания уровней вод. К активизации карста и связанных с ним явлений могут привести утечки промышленных и бытовых вод. Из них наиболее опасны крупные сосредоточенные и длительные значительные утечки.

5.133. В основу прогноза рекомендуется положить районирование по чувствительности к влиянию техногенных факторов и вызываемых ими изменений природных условий на развитие карста и устойчивость территории, прежде всего по чувствительности к влиянию изменений гидрогеологических условий. Его основой, в свою очередь, служит районирование по условиям, характеру и степени развития карста.

5.134. При районировании по чувствительности к влиянию техногенных факторов и вызываемых ими изменений природных условий на развитие карста и устойчивость территории рекомендуется выделять: 1) площади распространения различных литологических типов карста и их сочетаний, 2) площади и участки различной степени поверхностной и подземной закарстованности и 3) площади открытого и закрытого карста с подразделением последнего в зависимости от водопроницаемости покрывающей толщи. В зависимости от местных условий могут выделяться площади разной чувствительности по другим признакам.

5.135. Наиболее чувствителен к техногенным изменениям гидрогеологических условий соляной карст (п. 2.18).

В естественных условиях соляные залежи обычно защищены от растворения водоупорами или насыщенными рассолами, находящимися практически в застойном состоянии, и растворение пород идет медленно. Тем не менее наблюдаются постепенные общие оседания территории (формируются мульды оседания), происходят провалы и локальные оседания земной поверхности.

Любые техногенные изменения гидрогеологических условий, в

результате которых недосыщенные воды получают доступ к каменной соли и возможность циркуляции, приводят к интенсивному растворению породы, сопровождающемуся опасной активизацией оседания территории и провалообразования. Такие последствия, вплоть до катастрофических, могут иметь, например, откачка и дренирование надсолевых вод. К катастрофическим последствиям приводит возможность фильтрации воды (даже сначала незначительной) в камеры соляных шахт или полости гидровруба.

В результате гидродинамических расчетов, гидрохимических исследований и расчетов водно-солевого баланса может быть дан количественный прогноз активизации процесса растворения соли, а с использованием данных геодезических наблюдений - прогноз развития мульд оседания. К результатам расчетов следует подходить осторожно, контролировать их стационарными гидрогеологическими и геодезическими наблюдениями, учитывать возможность возникновения опасных локальных очагов растворения и развития суффозионно-провальных явлений.

5.136. В районах сульфатного и карбонатного карста неблагоприятные изменения гидрогеологических условий могут привести к опасной активизации связанных с карстом суффозионных и гравитационных процессов провалообразования (п. 5.131).

Не следует допускать доступа к сульфатным и карбонатным породам особо агрессивных жидкостей (например, воды с достаточно высоким содержанием кислот), ввиду опасности резкого увеличения скорости растворения пород. При отсутствии доступа особо агрессивных жидкостей растворение карбонатных пород идет медленно и за период эксплуатации проектируемых объектов не приведет к сколько-нибудь заметному росту существующих и образованию новых полостей. В районах сульфатного карста в местах с большой интенсивностью движения воды со временем может наблюдаться заметное растворение стенок трещин, полостей и кровли гипсов. Такую возможность нужно учитывать при проектировании плотин и сооружений, особо чувствительных к осадкам основания, а также при прогнозе степени опасности обнаруженных полостей.

Некоторые другие особенности сульфатного, карбонатного карста и подтипов последнего изложены в пп. 2.15-2.17. При прогнозе устойчивости территорий в районах их распространения следует руководствоваться пп. 5.132 и 5.137-5.145.

5.137. Открытый карст (п. 2.20) имеет в России ограничен-

ное распространение. В большинстве карстовых районов имеют место лишь небольшие участки обнажающихся карстующихся пород. При строительстве на площадях открытого карбонатного и сульфатного карста следует не допускать доступа к растворимым породам особо агрессивных жидкостей, ограничивать возможность интенсивной циркуляции воды в гипсах и ангидридах (см. п. 5.136), обнаруживать наличие линз и прослоев суффозионно-неустойчивых грунтов и принимать меры по недопущению в них опасного развития суффозии.

5.138. В покрытом карсте в качестве наиболее чувствительных к техногенным изменениям гидрогеологических условий выделяются участки с наличием воронок и других проявлений карста на земной поверхности. При изменении гидрогеологических условий именно на этих участках в первую очередь проявляется техногенная активизация провалообразования, достигающая большой интенсивности. Даже незначительные изменения гидрогеологических условий могут привести к активизации провалообразования.

5.139. На болотистых участках речных террас и в болотистых низинах на водоразделах встречаются необнаруживаемые при дешифрировании аэрофотоматериалов и при маршрутных наблюдениях карстовые воронки, группы воронок и карстовые поля, которые при снижении уровня грунтовых вод могут проявляться как в виде карстовых провалов, так и в виде провалов и оседаний земной поверхности за счет усадки торфа и ила, заполняющего существующие воронки (п. 5.122).

5.140. В результате техногенных изменений гидрогеологической обстановки образование провалов может начаться на недостаточно защищенных покрывающими водоупорами участках подземной закарстованности, а также интенсивной трещиноватости, не проявлявшихся на земной поверхности в естественных условиях.

Из них наиболее вероятно возникновение провалов на выявленных при изысканиях участках сильной и средней подземной закарстованности, оконтуренных (для естественных условий) в качестве территорий IV-ой и более низких категорий устойчивости (п. 5.90), т.е. территорий, на которых провалы хоть и не отмечались, но в будущем их образование возможно даже в естественных условиях с интенсивностью соответствующей категории (табл. 6). Под влиянием техногенных факторов их устойчивость может и еще более понизиться, если не принять меры по предотвращению ухудшения гидрогеологических условий.

На территориях, отнесенных к незакарстованным или слабокарстованным, V категории устойчивости (п. 5.91), техногенная активизация провалообразования менее вероятна, но она тоже может наблюдаться, в основном в местах наличия подземных проявлений карста, а также зон интенсивной трещиноватости, оставшихся не выявленными при выполнении изысканий.

5.141. Чувствительность территории к техногенным воздействиям на гидрогеологические условия, развитие карста и провалообразование во многом зависит от защитной роли покрывающих водоупоров. Выделяются площади их отсутствия в покрывающей толще и площади разной степени водонепроницаемости и надежности водоупоров. Выделяются площади с наличием одного, двух водоупоров и т.п. Имеет значение также наличие водоупорных слоев, линз и прослоев в толще растворимых горных пород.

Простейшей и в то же время необходимой количественной характеристикой водоупора является его мощность. Нужно оценить также степень неоднородности водоупора, например, статистически: минимальное и максимальное значение мощности, доля площадок с отсутствием водоупора от всей площади участка, среднее, дисперсия и другие параметры распределения мощностей водоупора на участке и т.п.

Площади с малой мощностью водоупора, до 5-10 м в зависимости от конкретных условий, зачастую не имеют преимуществ по сравнению с площадями его отсутствия. Более того, на них возможны или могут образоваться локальные нарушения водоупора с сосредоточенным переливом вод из одного горизонта в другой.

Для количественной оценки защитной роли водоупора используются коэффициент сопротивления, коэффициент перетекания, величина перетекания, градиент вертикальной фильтрации и другие характеристики. Коэффициент сопротивления водоупора (или нескольких водоупоров) определяется по формуле

$$k_c = \sum \frac{m_i}{k_i}, \quad (34)$$

где m_i - мощность i -го водоупора,

k_i - коэффициент вертикальной фильтрации i -го водоупора.

Важным показателем является градиент вертикальной фильтрации, с его увеличением возрастает опасность активизации суффозии и провалообразования.

5.142. В сложных случаях, в основном для особо крупных и важных объектов, территорий городов, промышленных зон и т.п., по специальному заданию методами гидродинамического моделирования дается количественный прогноз техногенных изменений уровней, градиентов, величины фильтрации и перетекания вод. Гидродинамическое моделирование позволяет при заданных техногенных нагрузках дать прогноз вызываемых ими изменений гидродинамических условий и, наоборот, при заданных допустимых изменениях гидродинамических условий определить допустимые техногенные нагрузки.

5.143. В случаях, предусмотренных техническим заданием, для прогнозирования влияния техногенных факторов на устойчивость территории проводятся по специальным программам гидрогеомеханические и гидрогеохимические расчеты и эксперименты, для чего может потребоваться участие специализированных организаций. При их применении необходимо отчетливо представлять и учитывать, насколько принятая модель соответствует реальной обстановке.

5.144. При наличии сведений о ранее происшедших техногенных изменениях условий развития карста и их влиянии на интенсивность провалообразования (п. 5.128) возможна прогнозная экстраполяция, т.е. распространение выявленных тенденций, качественных и математических закономерностей, с теми или иными поправками, на будущее.

5.145. На территориях распространения растворимых пород и карстовых явлений должны приниматься меры защиты от естественно развивающегося карста и его техногенной активизации (п. 5.123). Применяются, в различных сочетаниях, следующие группы противокарстовых мероприятий: 1) архитектурно-планировочные, 2) водорегулирующие и противofильтрационные, 3) геотехнические (укрепление оснований зданий и сооружений), 4) конструктивные, 5) технологические, 6) эксплуатационные. Их сочетание, состав и объемы зависят от конкретных условий площадки и особенностей проектируемого объекта.

Во всех случаях обязательны водорегулирующие мероприятия профилактического характера по борьбе с инфильтрацией поверхностных, промышленных и хозяйственно-бытовых вод в грунт. Следует стремиться к тому, чтобы величина инфильтрации и положение уровня грунтовых вод существенно не превышали естественных.

Планировка земной поверхности, благоустройство и ливневая канализация должны надежно обеспечивать отвод поверхностных вод от зданий и сооружений за пределы застраиваемых участков. Следует принимать меры по уменьшению потерь воды из водонесущих коммуникаций, в особенности крупных сосредоточенных (аварийных) и длительных значительных утечек. Недопустимы утечки воды и, тем более, кислот и других агрессивных жидкостей под зданиями, сооружениями и поблизости от них. Особо строгие меры борьбы с утечками вод в грунт должны осуществляться на особо ответственных объектах и объектах с мокрым технологическим процессом. В период строительства не следует допускать скопления поверхностных вод в котлованах и на площадке, необходим строгий контроль за качеством работ по гидроизоляции, укладке водонесущих коммуникаций, засыпке пазух строительных котлованов и т.д.

Следует не допускать или ограничивать распространение влияния водохранилищ, рудничного водоотлива и водопонижения, подземных водозаборов, поглощающих колодцев и т.п. объектов и установок на режим трещинно-карстового и вышележающих водоносных горизонтов в пределах застроенных и застраиваемых территорий (п. 5.132). Если проектируемые или существующие предприятия, здания и сооружения попадают в зону указанного влияния (понижения, повышения, колебания уровней), нужно дать прогноз его последствий, выполнить если требуется специальные исследования (пп. 5.126, 5.142, 5.143) и осуществить необходимые защитные мероприятия.

По мере необходимости, в соответствии с действующими нормативными документами, с учетом конкретных условий площадки и особенностей проектируемого объекта, для защиты от естественно развивающегося карста и его техногенной активизации применяются специальные водорегулирующие, геотехнические, конструктивные и другие противокарстовые мероприятия.

Для контроля за изменениями гидрогеологических условий, развитием карста и действенностью противокарстовых мероприятий в период строительства и эксплуатации предприятий, зданий и сооружений проводятся, по мере необходимости, стационарные наблюдения за режимом поверхностных и подземных вод, провалообразованием, осадками и деформациями зданий и сооружений и др. Если требуется, организуется аварийная противокарстовая сигнализация.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства / Госстрой СССР, ГУГК СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. 104 с.
2. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. Раздел 13. "Особенности проектирования оснований сооружений, возводимых на закарстованных территориях" // Изменение СНиП 2.02.01-83. ВСТ. 1986. №5. С. 9.
3. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования / Госстрой СССР. М.: ЦИТП, 1991. 32 с.
4. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. М.: Изд-во стандартов, 1982. 9 с.
5. Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов / Мосгорисполком, Техническое управление, ГлавПУ, Моспроект-1, Мосгоргеотрест. М., 1984. 14 с.
6. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Башкирской АССР: ВСН-2-86 / Госстрой БАССР. Уфа, 1986. 49 с.
7. Инженерные изыскания для строительства. Нормы производства инженерных изысканий на закарстованных территориях: РСН 1-91 / Госстрой БССР. Уфа, ЗапУралТИСИЗ, 1991. 38 с.
8. Андрейчук В.Н. Образование провалов над пещерой Золушка. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 51 с.
9. Аникеев А.В. О двух формах разрушения связных грунтов над полостью // Геоэкология. 1993. №2. С. 115-123.
10. Аносова Л.А., Зиянгиров Р.С., Платов Н.А., Робустова Т.И. Инженерно-геологические особенности элювия карбонатных пород. М.: Наука, 1986. 111 с.
11. Балков В.А. Влияние карста на сток рек Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 216 с.
12. Белоколюцкий А.И., Лукин В.С., Кожевникова В.Н. и др. Особенности изысканий и проектирования в карстовых районах // Вопросы изучения инженерно-геологических процессов. М.: Стройиздат, 1984. С. 50-55.
13. Беляев В.Л., Хоменко В.П. Прогноз развития карстово-суффозионных процессов, вызванных утечками из водонесущих

сетей // Прогноз изменений инженерно-геологических условий при строительстве. М.: Наука, 1990. С. 94-102.

14. Боровский В.В., Самсонов В.Г., Язвин Л.С.: Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. Изд. 2-е. М.: Недра, 1979. 326 с.

15. Боровский В.В., Хордикайнен М.А., Язвин Л.С. Разведка и оценка запасов месторождений подземных вод в трещинно-карстовых пластах. М.: Недра, 1976. 247 с.

16. Ведерников В.В., Лёхов А.В., Прилепин В.М., Шмагин Б.А. О применении методов многомерной статистики при изучении условий распределения карстовых воронок // Инженерная геология. 1987. №. С. 100-106.

17. Вологодский Г.П. Карст Иркутского амфитеатра. М.: Наука, 1975. 124 с.

18. Вопросы изучения карстовых явлений в районе г.Дзержинска: Тр. ЛГГП. Т. 47. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 72 с.

19. Газизов М.С. Карст и его влияние на горные работы. М.: Наука, 1971. 204 с.

20. Гайнанов Ш.Х., Катаев В.В. Выявление зон трещиноватости в пределах локальных структур, сложенных красноцветными терригенными породами // Инженерная геология. 1988. №6. С. 92-98.

21. Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика. М.: Мысль, 1972. 392 с.

22. Горбунова К.А. Морфология и гидрогеология гипсового карста. Пермский ун-т, 1979. 95 с.

23. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.

24. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск, 1992. 144 с.

25. Зверев В.П. Гидрогеохимические исследования системы гипсы - подземные воды. М.: Наука, 1967. 99 с.

26. Зиангиров Р.С., Мионов Н.А., Пендин В.В. Применение многомерного корреляционно-регрессионного анализа для оценки и прогноза устойчивости закарстованной территории // Инженерная геология. 1986. №3. С. 55-64.

27. Злобина В.Л. Влияние эксплуатации подземных вод на

развитие карстово-суффозионных процессов. М.: Наука, 1986. 133 с.

28. Ильин А.Н. Гидрогеологические условия развития карста в бассейне нижнего течения р.Оки // Комплексные инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства. М.: Наука, 1984. С. 94-101.

29. Карст и подземные воды горных массивов Западного Кавказа / В.Н.Дублянский, В.И.Клименко, Б.А.Вахрушев, В.В.Илюхин. Л.: Наука, 1985. 150 с.

30. Колодяжная А.А. Агрессивность природных вод в карстовых районах Европейской части СССР. М.: Наука, 1970. 151 с.

31. Копосов Е.В., Тычина О.В. Изучение направленности продвижения провального карстового процесса во времени в бассейне Нижней Оки // Инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства. М.: Стройиздат, 1987. С. 21-25.

32. Короткевич Г.В. Соляной карст. Л.: Недра, 1970. 256 с.

33. Котлов Ф.В., Медведев О.П., Кожевникова В.Н., Киселева З.Т. Антропогенная активизация карстово-суффозионных процессов // Вопросы изучения геодинамических процессов. М.: Стройиздат, 1976. С. 4-11.

34. Кочев А.Д., Чертков Л.Г., Зайонц И.Л., Афанасьев В.Ю. Методика и результаты комплексного изучения карстово-суффозионных процессов в г. Москве // Инженерная геология. 1989. №6. С. 77-94.

35. Крайнов С.Р., Шваров Ю.В., Гричук Д.В. и др. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1988. 254 с.

36. Кутепов В.М., Кожевникова В.Н. Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989. 151 с.

37. Кухарев Н.М. Инженерно-геологические изыскания в областях развития карста в целях строительства. М.: Стройиздат, 1975. 168 с.

38. Лаптев Ф.Ф. Агрессивное действие воды на карбонатные породы, гипсы и бетоны. М.-Л.: ГОНТИ, 1939. 104 с.

39. Лёхов А.В. Физико-химические условия распределения закарстованности массивов карбонатных пород // Инженерная геология. 1986. №2. С. 78-85.

40. Лиханов Н.С., Мартин В.И., Камалов В.Г. Методика оцен-

ки закарстованных территорий по степени устойчивости (на примере Башкирии) // Инженерная геология. 1988. №6. С. 44-50.

41. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.

42. Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карст и строительство в районе Кунгура. Пермь: Кн. изд-во, 1975. 120 с.

43. Лыкошин А.Г. Карст и гидротехническое строительство. М.: Стройиздат, 1968. 183 с.

44. Лыкошин А.Г., Молоков Л.А., Парабучев И.А. Карст и строительство гидротехнических сооружений. М.: Гидропроект, 1992. 322 с.

45. Макейчева М.А. Формирование состава и свойств карбонатных пород в процессе выветривания. М.: Недра, 1991. 142 с.

46. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Тт. I, II. Пермь, 1963, 1969. 444, 529 с.

47. Методика изучения карста: Труды Всесоюзн. совещ. по методике изучения карста. Вып. 2-10. Пермский ун-т, 1963-1964.

48. Методические рекомендации по изучению инженерно-геологических явлений, связанных с карстом / Б.М.Гамалей, Г.Г.Скворцов. М.: ВСЕГИНГЕО, 1971. 65 с.

49. Методические рекомендации по изучению режима поверхностных и подземных вод в карстовых районах. Л.: Гидрометеонадат, 1969. 151 с.

50. Миронов Н.А. Оценка закарстованности территории по результатам эманационной съемки // Свойства грунтов и инженерно-геологические процессы. М.: Наука, 1987. С. 59-63.

51. Миронов Н.А. Инженерно-геологическая оценка устойчивости закарстованных территорий для обоснования защитных мероприятий // Инженерно-геологическое обоснование защиты территорий от опасных геологических процессов. М.: ПНИИМС, 1988. С. 69-75.

52. Парфенов С.И. Оценка растворяющей способности воды в карбонатных породах // Бюлл. МОИП, отдел геол. 1972. Вып. 5. С. 171-172.

53. Парфенов С.И. О растворении доломита и расчете растворяющей способности вод к этому минералу // Теа. докл. I Всесоюзн. съезда инженеров-геологов, гидрогеологов, геокриологов. Киев: Наукова думка, 1989. С. 151-152.

54. Пендин В.В., Миронов Н.А. Анализ и синтез при региональных инженерно-геологических исследованиях // Инженерная ге-

ология. 1985. №4. С. 76-88.

55. Печеркин А.И. Геодинамика сульфатного карста. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1986. 172 с.

56. Печеркин А.И., Закоптелов В.Е. Карст и суффония на берегах водохранилищ. Пермь: Перм. ун-т, 1982. 88 с.

57. Печеркин А.И., Катаев В.Н., Волотов Г.В. Изучение тектонической трещиноватости платформенных структур для карстологических целей. Пермь: Перм. ун-т, 1984. 86 с.

58. Печеркин И.А. Геодинамика побережий камских водохранилищ. Части I, II. Пермь, 1966, 1969. 197, 308 с.

59. Печеркин И.А., Максимович Г.А., Саваренский И.А. и др. Проблемы инженерного карстования // Вопросы изучения инженерно-геологических процессов. М.: Стройиздат, 1984. С. 43-50.

60. Плотников И.И. О методах защиты от обводнения месторождений полезных ископаемых в закарстованных породах // Инженерная геология. 1988. №1. С. 59-65.

61. Попов И.В. Инженерная геология. Изд. 2-е. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1959. 510 с.

62. Прогноз водопритоков в горные выработки и водозаборы подземных вод в трещиноватых и закарстованных породах / В.Д. Бабушкин, З.П. Лебединская и др. М.: Недра, 1972. 196 с.

63. Просктирование, строительство и эксплуатации земляного полотна в карстовых районах (Труды совещ. в г. Горьком в октябре 1965 г.) / Комитет по земл. полотну, вып. 8. М.: Транспорт, 1968. 288 с.

64. Противокарстовая защита объектов строительства: Материалы Всесоюз. научно-техн. совещания 4-7 сент. 1990 г. Куйбышев: Куйб. арх.-строит. ин-т, 1990. 170 с.

65. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. 160 с.

66. Рекомендации по изучению карста геофизическими методами / ПНИИС. М.: Стройиздат, 1986. 112 с.

67. Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерно-геологических изысканиях для строительства / ПНИИС. М.: Стройиздат, 1974. 40 с.

68. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР / ПНИИС. М.: 1967. 91 с.

69. Рекомендации по использованию инженерно-геологической

информации при выборе способов противокарстовой защиты / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1987. 81 с.

70. Рекомендации по лабораторному физическому моделированию карстовых процессов / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1984. 48 с.

71. Рекомендации по определению деформационных свойств засоленных грунтов в полевых и лабораторных условиях / НИИОСП. М., 1980. 44 с.

72. Рекомендации по оценке инженерно-геологических свойств элювия карбонатных грунтов и учету их изменения при строительстве / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1986. 34 с.

73. Рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий карстовых областей Черноморского побережья СССР / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1986. 64 с.

74. Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР / ПНИИИС, Донецкий ПромстройНИИпроект, ЦНИИЭПжилища, ДНИИГрадостроительства. М.: ПНИИИС, 1967. 73 с.

75. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях / НИИОСП. М., 1985. 78 с.

76. Родионов Н.В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах при устройстве малых водоемов, гражданском и промышленном строительстве. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 183 с.

77. Родионов Н.В. Карст Европейской части СССР, Урала и Кавказа. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 175 с.

78. Руководство по инженерным изысканиям для строительства / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1982. 145 с.

79. Саваренский И.А. Прогнозирование устойчивости закарстованных территорий // Свойства грунтов и инженерно-геологические процессы. М.: Наука, 1987. С. 45-53.

80. Саваренский И.А. Прогноз устойчивости территории методом удаленности от ближайшего проявления карста // Прогноз изменений инженерно-геологических условий при строительстве. М.: Наука, 1990. С. 108-118.

81. Саваренский И.А., Михайлов Н.А. О техническом нормировании и стандартизации инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях // Вопросы изучения инженерно-геологических процессов / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1984. С. 55-61.

82. Сержников А.И. Взаимодействие подземных вод и пород карбонатной формации хребта Большой Каратау (Ю. Казахстан) // Докл. АН. 1992. Том 326, №6. С. 1034-1038.

83. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962: 322 с.

84. Соколов Н.И. Карст южной части Сибирской платформы // Региональное карстование. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 179-198.

85. Справочник гидрогеолога / Под общ. ред. М.Е.Альтовского. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 616 с.

86. Справочник по инженерной геологии. 3-е изд. / Под ред. М.В.Чуринова. М.: Недра, 1981. 325 с.

87. Справочное руководство гидрогеолога. 3-е изд. / Под ред. В.М.Максимова. Л.: Недра, 1979. Т. 1, 512 с. Т. 2, 295 с.

88. Тезисы докладов Международного симпозиума "Инженерная геология карста". СССР, Пермь, 1992. 175 с.

89. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстование. М.: Недра, 1990. 152 с.

90. Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М.: Стройиздат, 1986. 178 с.

91. Травкин А.И. Опыт детальной оценки карстовой опасности в сложных условиях // Инженерно-строительные изыскания. М.: Стройиздат, 1979. Вып. 3 (55). С. 39-46.

92. Хоменко В.П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. М.: Наука, 1986. 97 с.

93. Чикишев А.Г. Методы изучения карста. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. 91 с.

94. Ярг Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания. М.: Недра, 1991. 136 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ | 5 |
| 2. ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ | 7 |
| 3. ЗАДАЧИ И СОСТАВ ИЗЫСКАНИЙ | 19 |
| 4. МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ИЗЫСКАНИЙ | 29 |
| Сбор, анализ и обобщение материалов прошлых лет | 29 |
| Инженерно-геодезические работы | 31 |
| Инженерно-гидрометеорологические работы | 34 |
| Применение аэрокосмофотоматериалов и аэровизуальные наблюдения | 35 |
| Наземное карстологическое обследование местности (маршрутные наблюдения) | 36 |
| Буровые и горные работы | 48 |
| Геофизические исследования | 57 |
| Гидрогеологические исследования | 72 |
| Полевые исследования грунтов | 79 |
| Лабораторные работы и экспериментальные исследования | 80 |
| Стационарные исследования | 84 |
| Камеральная обработка материалов, содержание технического отчета | 88 |
| Прочие работы (специальное обследование существующих зданий, сооружений и грунтов их оснований, инженерно-геологическое обследование котлованов, почвенные и ботанические исследования) | 95 |

| | |
|---|------------|
| 5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАРСТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ. . . . | 98 |
| Инженерно-геологическое районирование территорий по условиям, степени и характеру развития карста | 98 |
| Оценка состояния горных пород и подземных проявлений карста. | 108 |
| Оценка гидрологических и гидрогеологических условий закарстованных территорий | 109 |
| Гидрогеохимические методы оценки возможности и интенсивности развития карста. | 111 |
| Оценка поверхностной закарстованности | 121 |
| Оценка устойчивости территорий в отношении провалов и оседаний земной поверхности | 128 |
| Детализация оценки устойчивости площадок отдельных зданий и сооружений при инженерно-геологической разведке . | 143 |
| Прогноз влияния техногенных факторов на устойчивость территории. | 149 |
| ЛИТЕРАТУРА | 159 |