Госстрой РСФСР
Росглавинстройпроект
Центральный трест инженерно-строительных изысканий

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

по геофизическому исследованию закарстованности территорий, предназначенных для строительства

Москва - 1971

gost.e-ecolog.ru

Настоящая работа выполнена отделом нормативно-методологических работ и новой техники ЦТИСИЗ на основании тематического плана, утвержденного Росглавниистройпроектом Госстроя РСФСР.

Рекомендации составил гл. специалист В.В. Лисицын.

В работе использованы фондовые материалы ЦТИСИЗа, а также рекомендации ПНИИИСа по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР.

Центральный трест инженерно-строительных изысканий

Отдел подсобных производств ЦТИСИЗ
Л-107062 подписано к печати 28/VII-1971 г.
Зак. 207 Цена 30 коп. Тир.800

ВВЕДЕНИЕ

Карстовые процессы широко развиты на территории нашей страны, в том числе на площадях, где проводят свою работу тресты инженерно-строительных изысканий. Инженерно-геологические изыскания в районах развития карста имеют свои специфические особенности. В нормативных документах (СН 211-82, СН 225-82) подчеркивается, что в районах проявления карста рекомендуется инженерно-геологическую съемку сопровождать геофизическими исследованиями.

В настоящее время геофизические исследования применяются практически всеми трестами, в связи с чем возникла настоятельная необходимость более подробно осветить методику геофизических работ на карст, которая включает выбор наиболее рационального комплекса методов, состав работ, цели и задачи и т.д.

Тесно связана с методикой исследования карста и карстующихся пород методика поисков и оконтуривания искусственных пустот (выработок), а также определение трещиноватости.

К настоящему времени опубликовано более 200 работ, касающихся геофизических исследований на карст.

Первые опыты по изучению карста геофизическими методами относятся к началу 30-х гг. нашего столетия (Zöhnberg A. und Stern). Особенно большое внимание изучению карста было уделено в СССР в связи с огромным строительством в период первых пятилеток. В 1933-1935 гг. по инициативе проф. А.А. Петровского были выполнены значительные теоретические и лабораторные исследования по обоснованию возможности применения методов электроразведки для изучения карста и трещиноватых пород Кизеловского буроугольного бассейна. Одновременно проводились полевые ра-

боты в различных районах СССР (Заволжье, Донбасс, Мосбасс и др.) Во всех случаях результаты были положительные.

Теоретические и экспериментальные работы подтвердили целесообразность применения электроразведки, в частности, электропрофилирования и электрозондирования для поисков и оконтуривания закарстованных зон и трещиноватых пород.

Позже вопросами применения электроразведки для изучения карста и трещиноватости пород занимались А.А. Огильви, А.С. Семенов, В.К. Матвеев, А.М. Горелик, В.С. Барков и др. [1, 2, 5, 6, 11, 12, 14, 16].

Положительные результаты при разведке карста в сочетании с относительно высокой производительностью полевых работ обеспечили доминирующее положение электроразведки постоянным током.

После организации трестов инженерно-строительных изысканий в 1988 г. геофизические исследования на карст стали широко применяться при инженерно-геологических изысканиях. В настоящее время в трестах накоплен обширный материал по применению геофизических методов для изучения карста, поисков и оконтуривания старых горных выработок, поисков трещинно-карстовых вод и решения других задач, тесно связанных с карстовыми процессами. В частности, Центральным трестом были выполнены электроразведочные работы для поисков и оконтуривания карстовых зон в микрорайонах 1 и 2 г. Гусь-Хрустальный, при определении зон возможных карстовых провалов в районе строительства ДСК в г. Коломне, и т.д.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Согласно действующим нормативным документам к карстовым районам относятся территории, в геологическом разрезе которых присутствуют растворимые породы (известняки, доломиты, мел, гипсы, ангидриты и т.д.), и имеют место или возможны поверхностные и подземные проявления карста.

Выделяются следующие основные литологические типы карста: карбонатный (известняковый, доломитовый); меловой (являющийся подтипом карбонатного); гипсовый; соляной.

С точки зрения постановки геофизических работ литология карста существенного значения не имеет. На всех литологических типах карста методика проведения геофизических работ примерно одинакова.

Более существенное влияние на методику работ оказывают условия залегания карстующихся пород. По условиям залегания различают следующие типы карста:

открытый или средиземноморский, когда карстующиеся породы лежат непосредственно на поверхности;

покрытый, когда карстующиеся породы перекрыты либо водопроницаемыми, либо водонепроницаемыми нерастворимыми породами.

В случае открытого карста обнаженность карстующихся пород способствует проникновению в них поверхностных вод, развитию процессов выветривания и выщелачивания, образованию и расширению системы трещиноватости.

Благодаря неглубокому залеганию карстующихся пород облегчается производство геофизических работ, повышается их эффективность. Решение задачи может быть проведено более простыми и распространенными методами, часто с помощью одной только электроразведки постоянным током. В случае открытого карста

практически легко оконтуриваются закарстованные участки, устанавливается общая мощность карстующихся пород, степень трещиноватости и обводненности массива пород.

В районах покрытого карста, в которых карстующиеся породы перекрыты слоями нерастворимых водопроницаемых пород, возникают трудности обнаружения зон возможных карстовых провалов с помощью геофизических методов при значительной мощности перекрывающих четвертичных отложений (более 20 м). Однако задача обнаружения может облегчаться за счет вторичных изменений вышележащих пород.

В случае наличия перекрывающих рыхлых отложений (пески, суглеси) в зоне развития карста возникают побочные суффозионные явления, мощность их нередко возрастает вследствие понижения кровли карстующихся пород. Кроме того, существенным поисковым критерием является уменьшение влагосодержания рыхлых пород непосредственно над карстовой зоной, что влечет за собой повышение УЭС этих пород. Последнее обстоятельство связано с интенсивной инфильтрацией поверхностных вод в карстовые полости.

Другим существенным поисковым критерием для геофизических методов является резкий перепад УГВ в зоне развития карста. В районах покрытого карста, в которых карстующиеся породы перекрыты слоями нерастворимых водонепроницаемых пород, последние препятствуют развитию карста и связанных с ним явлений.

Чем больше мощность перекрывающих отложений, тем труднее установить геофизическими методами зоны карстовых пустот, развитые на глубине. В этом случае необходимо проведение широкого комплекса геофизических методов, включающих электроразведку, сейсморазведку и различные методы каротажа (КС, ПС, резистивиметрия, ГК, ГГК и др.).

По отношению к уровню подземных вод карстующиеся породы залегают: в зоне аэрации, в зоне постоянного водонасыщения и в смешанной зоне.

В зоне аэрации карст в большинстве случаев представлен в виде полостей, незаполненных вмещающим материалом; в зоне же постоянного водонасыщения карстовые полости часто заполнены вторичным переотложенным материалом (глиной, суглинком, продуктами разрушения карстующихся пород, находящимися в водонасыщенном состоянии).

Геофизические методы исследования в карстовых районах решают следующие основные задачи:

литологическое расчленение пород;

поиски и оконтуривание карстовых полостей или зон их развития (поверхностных и погребенных), определение рельефа карстующихся пород;

изучение степени трещиноватости пород и преобладающего его направления;

исследование гидрогеологических особенностей карста.

Для поисков и обнаружения карстовых полостей может быть использовано большинство существующих геофизических методов: электроразведка постоянным и переменным током, малоглубинная сейсморазведка, гравиразведка с градиентометрами, магнитометрия, различные скважинные методы. Однако применение ряда геофизических методов, таких как гравиразведка и магнитометрия, может быть рекомендовано лишь в благоприятных случаях.

В большинстве районов использование гравиметрии и магнитометрии ограничено по тем соображениям, что разрешающая способность этих методов весьма незначительна.

Крупные карстовые полости (пещеры), размеры которых соизмеримы с мощностью перекрывающих пород, могут быть обнаружены гравиразведочными наблюдениями с использованием высокоточных гравиметров. Карстовые же полости, заполненные вторичным материалом, слабо улавливаются гравиразведкой ввиду незначительного перепада плотностей вмещающих пород и карстовых образований.

Расчеты, проведенные В.К. Матвеевым [8, 9, 10] показывают, что сферические пустоты радиусом 5 м при современной точности гравиметрических измерений с гравиметрами могут быть обнаружены на глубине около 7–8 м (градиентометры повышают эту глубину до 10–15 м, но при этом резко падает производительность работы).

Что касается магниторазведки, то последняя применима лишь в том случае, когда в составе материала, заполняющего карстовые полости, встречаются различные минералы с повышенной магнитной восприимчивостью, а сами полости расположены на небольшой глубине.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОСТАНОВКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА КАРСТ

По своим физическим характеристикам (удельное электрическое сопротивление, скорость распространения упругих волн, плотность и т.д.) зоны карстующих пород существенно отличаются от вмещающих пород, незатронутых карстовыми процессами. Эти отличительные особенности тем больше, чем интенсивнее карстовые процессы, чем больше карстовые полости и чем резче они отличаются по своему физическому состоянию от окружающих пород (незаполненные карстовые полости). В противном случае физическая дифференциальность значительно сглаживается и выявлять и оконтуривать карстовые зоны становится затруднительно.

Известно, что особенно благоприятны для развития карста участки тектонических поднятий с малой мощностью покровных отложений, склоны современных и древних речных долин, участки, в разрезе которых гипсо-ангидритовые отложения перекрываются трещиноватыми карбонатными породами и, напротив, затрудняет развитие карста наличие перекрывающих водонепроницаемых глинистых пород (глины, мергели, алевро-

литы) значительной мощности.

Геофизические методы исследования на карст могут выполнять как прямую задачу поисков и оконтуривания карстовых образований (воронок, западин, понор и т.д.), так и косвенную – изучение общей геолого-гидрогеологической обстановки карстового района, определение мощности и состава покровных образований, изучение трещиноватости карстующегося массива, определение рельефа карстующихся пород и т.д.

Таким образом, задачи исследования карста геофизическими методами приобретают широкий и разнообразный характер. В настоящее время уровень геофизических исследований в методическом, техническом и теоретическом плане существенно возрос, поэтому их следует считать ведущими методами при изучении карста. При этом постановка геофизических работ должна тесно увязываться с обычными методами инженерно-геологических исследований (съемка, бурение). Комплекс инженерно-геологической съемки и геофизических исследований позволяет более уверенно и качественно проводить оценку закарстованных территорий.

Электроразведка

Первые теоретические и модельные работы по электроразведке карста показали, что отдельные карстовые полости могут быть отмечены только в том случае, если максимальные поперечные размеры по горизонтали равны или превышают глубину залегания полостей. Исследования проводились в однородном электрическом поле постоянного тока. В дальнейшем эти выводы были подтверждены расчетами по формулам А.И. Заборовского [7] для шара в поле точечных источников.

На основании теоретических и модельных работ Б.К. Матвеев и А.А. Огильви [9, 13] сформулировали следующие важные положения для методики электроразведки карста:

1) карстовые полости, залегающие выше уровня подземных вод, отмечаются на графиках электропрофилирования максимума, а ниже – минимума кажущихся сопротивлений;

2) вероятность выделения и тех и других почти одинакова при условии, что поперечные размеры полостей по горизонтали равны или превышают глубину их залегания;

3) величина аномалий зависит от целого ряда факторов: глубины залегания полостей, их горизонтальных размеров, мощности проводящих наносов, соотношения УЭС полости и вмещающих пород, а также от размеров и вида установок.

На рис. 1 приводятся зависимости величин аномалии (η) от разносов установок профилирования при различных глубинах залегания центра сферы h [3]. Указанные зависимости получены в отсутствие промежуточного слоя. Для комбинированного и симметричного профилирования с увеличением разносов значения аномалий очень резко возрастают, а затем медленно приближаются к асимтотическому значению, соответствующему величине аномалии в однородном поле; при $h = 1{,}2$ асимптотические значения практически достигаются при разносах, равных 2. При наличии промежуточного слоя в виде проводящих наносов величина аномалии кажущегося сопротивления значительно уменьшается.

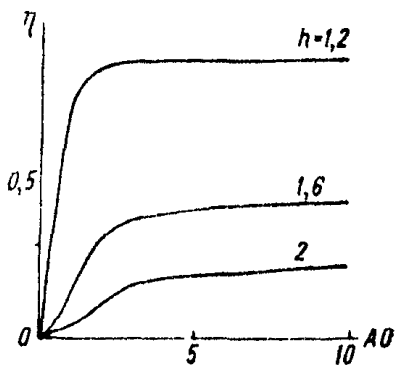


Рис. 1. Зависимость аномалии η от разносов АО при различных глубинах сферы

На рис. 2 показаны кривые симметричного электропрофилирования, полученные расчетным путем для случаев, когда шар залегает в среде, покрытой наносами (*сплошная кривая*), и без них (*пунктирная кривая*). Уменьшение амплитудных значений кажущихся сопротивлений над средой с наносами составляет 28,5%.

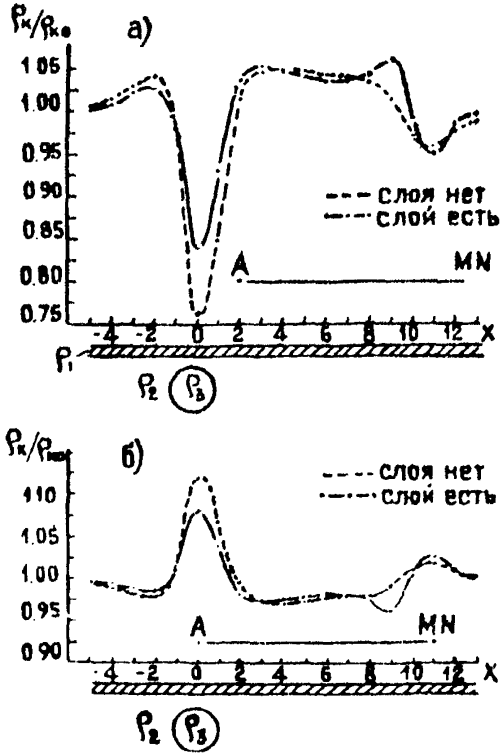


Рис. 2. Кривые симметричного профилирования над шаром в присутствии промежуточного слоя
а) проводящий шар ($\rho_2 > \rho_3$);
б) непроводящий шар ($\rho_2 < \rho_3$)

Для симметричного профилирования надежные результаты получаются только при разносах линии АВ, в 8 раз превышающих мощность наносов; при дипольном профилировании расстояние между диполями примерно в 5 раз превышает мощность перекрывающих отложений. Задача электроразведки по выявлению погребенных карстовых форм облегчается за счет вторичных явлений, сопутствующих образованию карстовых нарушений, которые могут протекать как в вышележащих так и в нижележащих образованиях. В вышележащих породах могут образовываться прогибы и оседания отдельных слоев с возникновением вертикальных трещин.

В толще рыхлых отложений, перекрывающих карстующиеся породы, непосредственно в окрестностях развития карстовых процессов наблюдаются резкие изменения гидрогеологического режима, что сильно влияет на величину УЭС рыхлых отложений в значительно более широкой зоне, чем участок, непосредственно охваченный карстовыми процессами. Данный признак позволяет выделять карстовые зоны, расположенные на значительно большей глубине, чем это допускают приведенные выше теоретические расчеты.

Таким образом, весь объем пород над карстовой полостью характеризуется измененной структурой, что существенно облегчает поиски и оконтуривание карстовых зон с установками меньших размеров. Последнее обстоятельство особенно важно в условиях работы на застроенных территориях.

Сейсморазведка

Плотность пород тесно связана с их упругими свойствами, которые могут быть положены в основу при изучении карстовых образований сейсморазведочными методами.

С помощью сейсморазведки можно определить глубину залегания и мощность закарстованной толщи, выделить наиболее разрушенные зоны и проследить их простирание.

Если карстовая полость расположена в коре выветривания коренных пород, сейсморазведкой она может быть обнаружена по совокупности признаков [4]:

1) над карстовой полостью значения средней скорости упругих волн существенно уменьшаются;

2) низкие значения распространения продольных и поперечных волн отвечают зонам повышенной трещиноватости;

3) наблюдается изменение формы записи над карстовой полостью (аномально высокое затухание преломленных волн). При возбуждении колебаний над карстовой полостью для получения удовлетворительной записи волн необходимо применять заряды В.В. большой величины или увеличивать силу ударов.

Радиоволновые методы

Выявление и оконтуривание закарстованных зон а также отдельных крупных карстовых полостей, как пустых так и заполненных водой или глинистыми отложениями, можно производить радиоволновыми методами. При этом карстовая полость искажает нормальное поле радиостанции, поскольку среда в объеме полости отличается по своим электромагнитным параметрам от вмещающих пород. Так, например:

для известняков УЭС=$10^2 \div 10^4$; $\mathcal{E}$ =5÷10; μ = 1

" воздуха УЭС= ∞ 1; $\mathcal{E}$ = 1; μ = 1

" водонасыщенных глин или суглинков УЭС=1÷20; $\mathcal{E}$ =20–37; μ = 1.

Принципиально возможны при модификации применения радиоволновых методов:

а) радиоволновые просвечивания из скважины в скважину или из скважины (пещеры) на поверхность земли или с поверхности в скважину (пещеру). Во всех случаях используются автономные передатчики и приемник; карстовые зоны или полости проявляются в виде "тени" (по измененному поглощению радиоволн);

б) измерение сопротивления излучения антенны на профилях, пересекающих площадь с предполагаемой кар-

стовой зоной (полостью). Антенна передатчика располагается на определенной высоте над землей и настраивается в резонанс, после чего перемещается вместе с передатчиком. Над карстовой полостью настройка нарушается и по величине изменения измеряемой мощности или по изменению настройки судят о размерах и глубине расположения полости. Зона изменения излучения в плане позволяет оконтуривать полость;

в) метод радиокип, где измеряется излучение напряженности поля удаленной радиостанции Над карстовой полостью или зоной вектор напряженности магнитной составляющей отклоняется от горизонтали, в нем появляется вертикальная составляющая, а горизонтальная составляющая изменяется от точки к точке. На рис 3 приведен пример аномалии поля удаленной радиостанции над закарстованной хорошо проводящей зоной в известняковом массиве [15].

Все эти методы были экспериментально проверены и получены хорошие результаты, но ни один из них не был широко опробован при инженерно-геологических изысканиях. Причиной является отсутствие серийной аппаратуры, отвечающей условиям изысканий. Выпускаемые промышленностью приборы ПИНП (для метода радиокип) из-за своей конструкции недостаточно стабильны в работе, а аппаратура скважинного просвечивания типа АРП обладает недостаточной мощностью для работы в средах невысокого сопротивления Аппаратура для второй группы методов серийно не выпускалась. Существенное значение имеет также мощность и волновое сопротивление верхней толщи, перекрывающей карстующиеся породы, в которой радиоволны испытывают сплошное поглощение.

Для максимальной глубины, на которой может быть отмечен искомый объект, методом радиокип выведена эмпирическая формула

$$h_{max} = 0{,}03\sqrt{\lambda_0 \cdot \rho}$$

где λ_0 – длина волны радиостанции (в воздухе);

ρ сопротивление перекрывающей толщи в ом.м.

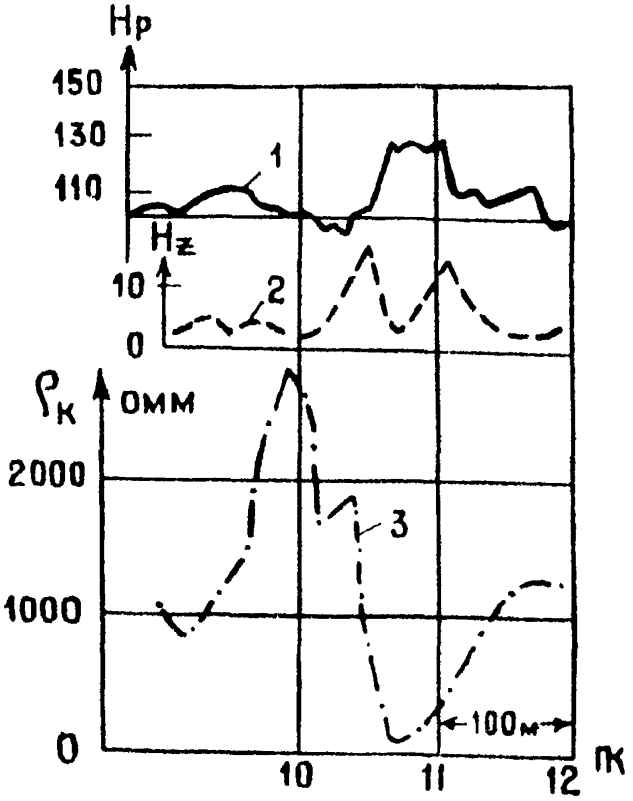


Рис. 3. Аномалии над закарстованной зоной известняков

1 – кривая горизонтальной составляющей напряженности радиополя H_p; 2 – кривая вертикальной составляющей; 3 – график электропрофилирования

Для закрытого карста эта формула малоприменима, поскольку как указывалось ранее, карстовые процессы часто существенно изменяют гидрогеологический режим вышележащей толщи, что в свою очередь изменяет ее УЭС и ε. Эти изменения будут хорошо отмечены как методом радиокип, так и методом сопротивления антенны передатчика, хотя при этом сами карстующиеся породы могут залегать на глубине, значительно большей h_{max}.

Учитывая большие возможности радиоволновых методов и полученные положительные результаты, следует рекомендовать их включение в комплекс геофизических методов карста в благоприятной ситуации как рекогносцировочных для обследования больших площадей.

Скважинные методы

При поисках погребенных карстовых полостей, залегающих ниже уровня подземных вод, для изучения гидрогеологической обстановки в зоне развития карста могут использоваться скважинные методы, включая каротаж сопротивлений (КС), естественной поляризации (ЕП), резистивиметрию, а также ядерные методы каротажа: естественной гамма активности (ГК) и гамма-гамма каротажа (ГГК). Перечисленными методами устанавливаются наиболее трещиноватые зоны в карстующихся породах, определяются скорости фильтрации для различных участков карстующих пород, а также глинистость и плотность пород. По этим данным можно судить о наличии на тех или иных интервалах сильно закарстованных пород.

Для локализации обводненных зон можно применять косвенные и прямые методы. Косвенные скважинные методы (КС, ЕП, ГК, ГГК) позволяют фиксировать зоны с пониженным электрическим сопротивлением и плотностью, характерных для закарстованных пород Прямыми методами для локализации обводненных зон являются резистивиметрия и расходометрия.

3. МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАРСТ

Выбор комплекса методов

В предыдущих главах указаны основные геологические предпосылки поиска карста геофизическими методами, отмечены некоторые особенности его обнаружения в зависимости от глубины распространения и описаны принципы, положенные в основу разработки методики геофизической разведки.

В зависимости от глубины распространения карстовых форм методика может несколько видоизменяться, тем не менее при изучении любого вида карста следует рекомендовать наиболее рациональный комплекс геофизических методов.

Геофизические исследования, учитывая их высокую мобильность и экономичность, должны предшествовать проведению детальных инженерно-геологических работ. Кроме того, обязательным является проверочное (параметрическое) бурение для привязки данных полевых геофизических работ.

Выбор комплекса методов, который позволяет наиболее полно решать задачу поисков и оконтуривания карстовых полостей, является весьма важным элементом проведения геофизических работ.

При этом необходимо учитывать геолого-гидрогеологические и геоморфологические данные по карстовому району, а также степень застроенности территории исследования и уровень электрических и механических помех.

При исследовании карста рекомендуется применять следующие полевые и скважинные (каротажные) геофизические методы:

электропрофилирование различных модификаций (СЭП, КЭП, АВfix , ДЭП);

вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ);

круговые модификации зондирования и профилирования (КВЗ, КВП);

сейсморазведку КМПВ;
радиоволновые методы (в благоприятных случаях
электрический каротаж (КС и ЕП);
резистивиметрию;
сейсмический и сейсмоакустический каротаж;
ядерный каротаж (ГК, ГГК);
метод заряженного тела (МЗТ);
сейсмоакустическое просвечивание в скважинах.

В благоприятных случаях могут использоваться гравиметрия и магнитометрия (см. главу 1).

Перечисленный комплекс геофизических методов является наиболее полным и его рекомендуется применять в особо сложных условиях. К ним относятся:

большая глубина залегания карстующихся пород;
слабая физическая дифференциация карстовых зон и вмещающих пород,
наличие экранных слоев в вышележащих толщах и т.п.

При изучении поверхностных и неглубоких карстовых форм комплекс методов может быть существенно уменьшен, поскольку задача поисков и оконтуривания карста облегчается благодаря близкому залеганию его от поверхности.

В этом случае следует рекомендовать лишь полевые геофизические методы; электропрофилирование, ВЭЗ, КВЗ, одноканальную сейсморазведку. При изучении погребенных карстовых форм (глубина залегания карстующихся пород менее 30 м) можно использовать ту же методику, как и при исследовании поверхностного карста, но с привлечением некоторых скважинных методов. электрического каротажа, резистивиметрии При электропрофилировании в этом случае следует значительно увеличивать длину разносов питающих линий (в 8–10 раз превышающих мощность четвертичных отложений).

Методика геофизических работ значительно усложняется при изучении погребенного карста (глубина исследования более 30 м). В этом случае рекомендуется

применять весь комплекс геофизических методов для полного изучения геологии и гидрогеологии карста в данной зоне.

Электропрофилирование и электрозондирование

Основным методом исследования в карстовых районах является электропрофилирование различных видов: симметричное (СЭП), комбинированное (КЭП), градиентное (ABfix), дипольное (ДЭП). Наилучший вид электропрофилирования при съемке на карст – площадной.

К задачам, решаемым электроразведкой при изучении карста, относятся:

1) выявление и оконтуривание зон повышенной трещиноватости и закарстованности;

2) определение глубины распространения закарстованных пород;

3) обнаружение отдельных карстовых полостей и их оконтуривание.

Решение перечисленных задач возможно при следующих условиях:

первой задачи – в большинстве случаев;

второй задачи – при достаточной ширине зон, значительной глубине распространения закарстованности и трещиноватости и залегания закарстованных пород ниже УГВ;

третьей задачи – только в том случае, когда размеры карстовых полостей соизмеримы с мощностью покрывающих отложений.

В *табл. 1* приведены рекомендуемые методы электроразведки для большой (200–300 м и более) и малой (до 60 м) мощностей карстующихся пород при различных мощностях толщи покрывающих пород.

В результате проведения работ должны быть построены геоэлектрические разрезы, карты изоом с выделением закарстованных зон, графики $УЭС_к$, или графики и карты градиентов $УЭС_к$, полярные диаграммы КВЗ.

Таблица

Мощность карстующихся пород, м	Глубина залегания кровли пород, м	Возможность выделения закарстованности	Рекомендуемые модификации электроразведки
200–300 м и более	до 15	Выделяется	ВЭЗ, КВЗ, симметричное электропрофилирование
То же	15–100		ВЭЗ, КВЗ, электропрофилирование установкой AA'A" MN B"B'B (график для разноса A"B" характеризует изменения сопротивления в покрывающих отложениях). При интерпретации рекомендуется строить график отношений ρ_2/ρ_1.
То же	больше 100	Электроразведка практически не применима	—
до 60 м	до 10	Выделяется	ВЭЗ, КВЗ комбинированное профилирование установкой с двумя разносами, дипольное профилирование

Продолжение табл.1

Мощность карстующихся пород, м	Глубина залегания кровли пород, м	Возможность выделения закарстованности	Рекомендуемые модификации электроразведки
до 60	больше 20	Обычно электроразведкой не выделяется. Иногда зоны могут быть обнаружены по вторичным изменениям в покрывающих породах	Профилирование дипольной установкой или комбинированное в сочетании с опорными ВЭЗ (КВЗ)

Для выбора разносов профилирования предварительно проводятся геоэлектрические исследования методом ВЭЗ по редкой сети точек (200х200).

На основе анализа кривых ВЭЗ выбираются оптимальные разносы профилирования. Желательно иметь два–три разноса. Минимальный разнос охватывает зону пород, лежащих вблизи кровли карстующихся пород, второй разнос характеризует толщу закарстованных пород и третий – подстилающие породы.

Профилирование проводится по густой сети наблюдений с шагом, не превышающим 5–10 м. Расстояние между профилями должно быть таким, чтобы каждая карстовая форма или вторичные сопутствующие образования подсекались не менее, чем двумя–тремя профилями. В среднем расстояние между профилями не должно быть более 20–50 м. В этом случае, если застроенность территории достаточно большая, можно увеличить расстояние между профилями до 100 м.

Все ярко выраженные в рельефе понижения (ложбины, блюдцеобразные котловины, оседания поверхности) должны обязательно пересекаться геофизическими профилями с минимальным шагом исследования (наименьшим на данном участке работ).

Кроме того, желательно провести параметрические измерения с несколькими разносами профилирования вблизи карстовых воронок с тем, чтобы определить оптимальные параметры схемы в данной ситуации.

Наиболее употребительна для решения простых задач, связанных с поверхностным карстом, схема симметричного профилирования. В условиях плотной жилой застройки следует рекомендовать профилирование установкой AB/3 . Хорошие результаты могут быть получены с установкой комбинированного профилирования.

Размеры измерительной линии следует брать, исходя из рекомендаций Б.К. Матвеева [10], который на основе опытных работ установил следующие пределы:

$$\frac{1}{4} H \leqslant MN < \frac{1}{2} H \quad \text{при} \quad \frac{h}{H} \simeq \frac{1}{4} ,$$

где H – средняя глубина залегания карстовых полостей;
h – мощность наносов.

Аномальные зоны, зафиксированные на соседних профилях, однозначно могут быть интерпретированы как обусловленные карстом. Форма аномалии в случае незаполненной полости может быть аналогична показанной на рис. 4. В случае, если полость заполнена вторичным материалом, аномалия над карстом характеризуется глубоким минимумом с двумя краевыми пиками высоких значений кажущихся сопротивлений. Такая аномалия характеризует узколокальную форму карстового проявления (рис. 5).

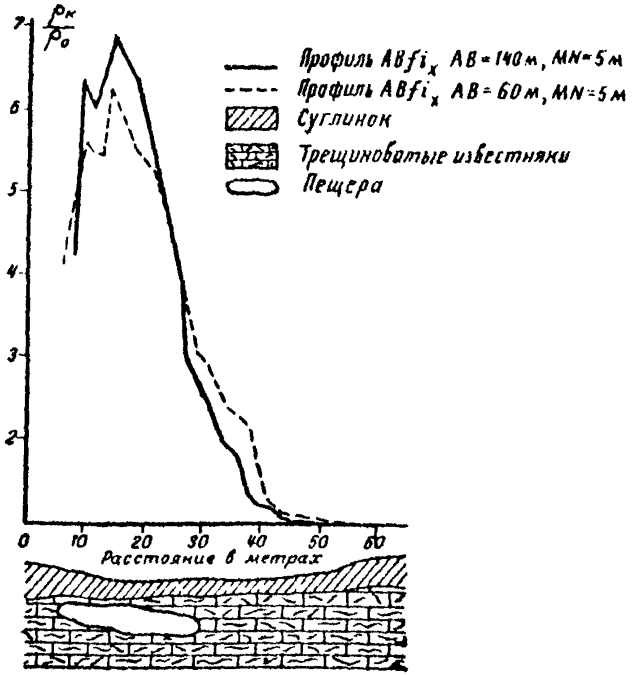


Рис. 4. Профиль сопротивлений по линии I–I (по А.М. Горелику)

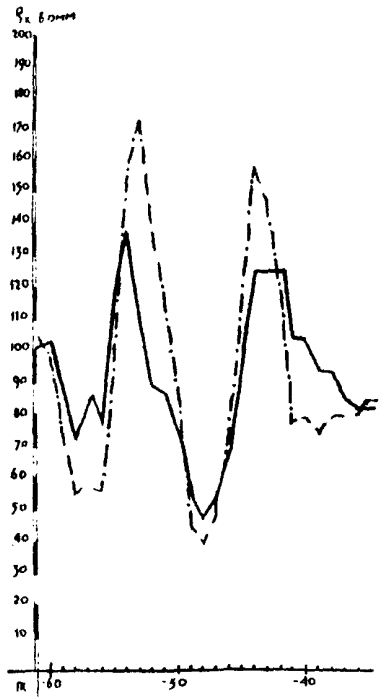


Рис. 5. Форма аномалии $\rho_к$ в случае заполненной карстовой полости

Для оценки степени трещиноватости пород, а также преобладающего направления системы трещин рекомендуется круговое зондирование (КВЗ) по трем–четырем азимутам. Точки КВЗ следует равномерно располагать на всей исследуемой площади. В среднем расстояние между точками КВЗ рекомендуется принять равным 250–300 м. Расстояния между точками ВЭЗ при детальной съемке не должны превышать двухкратной глубины залегания предполагаемых карстовых полостей.

В среднем следует располагать точки ВЭЗ через 50 м. Примерно такое же расстояние следует принять и между профилями.

Сейсморазведка

Сейсморазведочные работы на карст проводятся в комплексе с электроразведкой (ВЭЗ, ЭП) преимущественно для детализации аномальных участков, выявленных электроразведкой.

В случае изучения неглубоко залегающих карстовых образований (до 15–20 м) может применяться одноканальная сейсмическая аппаратура (ОСУ-1). При применении одноканальной аппаратуры рекомендуется проводить детальное сейсмическое профилирование. Расстояние между точками сейсмических наблюдений по профилю следует принять равным 15–20 м. При изучении карста одноканальной сейсморазведкой следует вести работы по системе встречных или нагоняющих годографов.

При исследовании погребенного карста (в пределах до 50–100 м) применяется многоканальная сейсмическая аппаратура (24-канальные станции типа "Поиск-1-24 КМПВ", ПСЛ-2 (СС-24П и др.). Сейсморазведка на карст в этом случае проводится по методике продольного профилирования.

Для возбуждения волн следует использовать взрывы в неглубоких закопушках и ямках. Величина зарядов составляет 0,01–1 кг. В этом случае, если по соображениям техники безопасности проводить взрывные работы нельзя, следует использовать ударный способ возбуждения сейсмических волн. Удары производят тяжелым падающим грузом с вершины передвижного копра или другого подъемника. Вес груза в среднем составляет 200–300 кг. В месте удара рекомендуется снимать рыхлый слой грунта до 1 м (рационально использовать станки ударного бурения типа УБП или "Джолос" и др.).

Каждая сейсмическая точка при продольном профилировании может отрабатываться из пяти пунктов взрыва (два у крайних приборов, один в центре установки и два выносных – для получения нагоняющих годографов). В случае наличия большого уровня микросейсм и промышленных помех наблюдения следует вести на узкой полосе при максимальных фильтрациях.

В различных почвенно-грунтовых условиях сейсмоприемники следует устанавливать, руководствуясь табл. 2.

Расстояние между сейсмическими профилями рекомендуется принять равным глубине залегания предполагаемых карстовых полостей. Расстояние между пунктом возбуждения (ПВ) и сейсмоприемниками (СП) должно быть менее 100 м.

При изучении карста сейсморазведкой, кроме методики продольного профилирования, можно рекомендовать способ просвечивания, когда сейсмические колебания возбуждают в одной горной выработке или скважине, а регистрация волн проводится в другой выработке или на поверхности земли. Для проверки результатов регистрации следует взаимозаменять положение пунктов возбуждения и приема. Запись волны на симметричной установке должна быть идентичной.

На рис. 6 приведен пример обнаружения карстовых полостей способом просвечивания.

Скважинные измерения

Скважинные методы исследования в карстовых районах призваны решать следующие основные задачи на детальном этапе работ:

выделение в разрезе скважин зоны активного водообмена, отдельных мест притока вод, водопоглощающих интервалов и кровли подстилающего водоупора;

оценка фильтрационных способностей отдельных толщ пород;

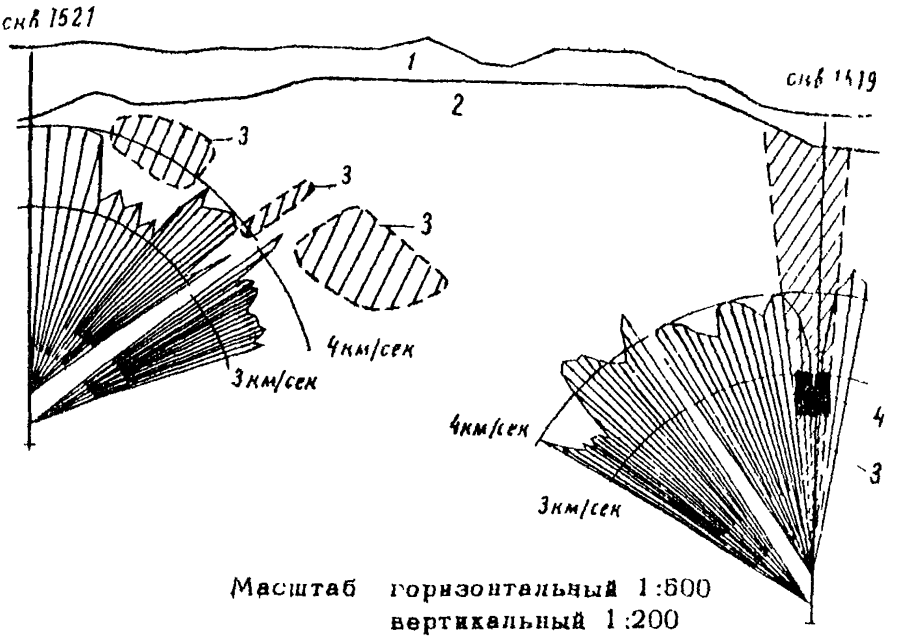
определение скорости потока подземных вод и его направления.

Таблица 2

Почвы или породы	Установка	Глубина установки	Значения способа установки
Почвенный слой, рыхлые породы	В ямках на утрамбованном песке и засыпка песком	20–30 см, (глубже в случае помех от ветра, дождя или снега)	При увеличении глубины установки до некоторого предела и при установке на песке расширяется полоса пропускания, повышается частота резонанса и усиливается затухание колебаний в системе почва–приемник
Толстый слой рыхлого снега	В уплотненном снегу	Наибольшая (в зависимости от толщины слоя снега)	Обеспечивается идентичность условий установки и снижается фон помех от ветра
Промерзший слой почвы	Примораживание к почве водой и засыпка снегом	Возможно на поверхности почвы	Расширяется полоса пропускания, повышается интенсивность регистрируемых колебаний и обеспечивается идентичность условий установки
Болото	На деревянных подставках, деревянных кольях забитых в минеральные слои	По возможности примерно 30–40 см	Устраняются собственные низкочастотные колебания в системе почва-приемник, возникающие при установке приемников непосредственно на болоте, повышается частота резонанса и усиливается затухание колебаний в системе

Продолжение табл. 3

Почвы или породы	Установка	Глубина установки	Значение способа установки
Сыпучий песок, галька, щебень	На деревянных кольях, забитых в наиболее плотные и однородные слои	По возможности глубже	Ослабляются затухания полезных колебаний в поверхностном слое
Крепкие породы (изверженные, метаморфические и др.)	Приклеивание сейсмоприемников к породе. Склеивающим материалом могут служить растворы гипса или глины, смешанные с песком, гудрон	-	Расширяется полоса пропускания, обеспечивается идентичность установки и устраняется возможность собственных колебаний



Масштаб горизонтальный 1:500
вертикальный 1:200

Рис. 6. Индикатрисы средних скоростей при просвечивании массива известняков
1 – горизонт рыхлых отложений; 2 – закарстованные известняки; 3 – возможные карстовые полости; 4 – карстовая полость, вскрытая скважиной

При исследованиях в скважинах рекомендуется применять следующий комплекс методов: электрический, радиоактивный, резистивиметрический каротаж, а также метод заряженного тела.

При проведении электрического каротажа рекомендуется применять стандартный градиент-зонд М2А 0,2В (для скважин с минимальным диаметром более 200 мм) или М1А 0,1В (для скважин с минимальным диаметром менее 200 мм). В ряде случаев стандартные измерения следует дополнять микрокаротажными с помощью двух комплектов микрозондов: градиент-зонд А 0,025

М0,025 N и потенциал-зонда А0,05М. При исследовании закарстованности пород наряду с изучением гидрогеологических особенностей проводится изучение литологии, а также степени трещиноватости.

Наличие большой трещиноватости в карбонатных породах значительно уменьшает УЭС по сравнению с монолитными разностями. Установлено, что в условиях пресных насыщающих вод известняки трещиноватые и сильно разрушенные обладают УЭС около 40–50 ом.м. Водоносные слабо-трещиноватые известняки имеют УЭС около 75–250 ом.м. Монолитные безводные известняки характеризуются УЭС порядка 500 ом.м и более.

В условиях повышенной минерализации подземных вод с $C \geqslant 1{,}5$ г/литр NaCl экв. электрическая дифференциация пород значительно сглаживается.

При выделении в разрезе скважин трещиноватых пород и оценке их водоносности важным дополнением к методу сопротивлений служит метод естественной поляризации (ЕП), значение которого возрастает при решении задачи расчленения водонасыщенных и глинистых разностей известняков.

При буровых растворах высокой солености ($\rho_б \leqslant 2$ ом.м) на контакте глин и карбонатных пород (известняков, доломитов и мела), насыщенных пресной водой, должны наблюдаться в основном максимумы, а при пресных растворах ($\rho_б > 2$ ом.м) – минимумы потенциала естественной поляризации.

Трещиноватость пород не влияет на характер кривых ЕП, вследствие этого в однородных карбонатных массивах кривая ЕП обычно не представительна. Если же толща отложений неоднородна и в ней наряду с водоносными встречаются глинистые разности или отдельные прослои глин, роль метода ЕП в исследовании литологии пород резко возрастает.

Что касается резистивиметрического каротажа, то он является хорошим поисковым методом обнаружения зон активного водообмена, характерного для трещинно-карстовых вод. Этот метод применяется в усло-

виях пресных или слабоминерализованных подземных вод. Резистивиметрические исследования ведутся, как правило, при естественном режиме фильтрации подземных вод особенно в неглубоких скважинах.

Методика резистивиметрических исследований заключается в следующем. После замера УЭС воды, соответствующего естественной минерализации подземных вод, вдоль всего ствола скважины вода в ней равномерно засолоняется.

Для этого в скважину вливается концентрированный раствор электролита в соответствии с количеством соли, необходимым для создания нужной концентрации раствора в скважине из расчета 0,5 кг на 1 пог.м заполненного водой участка ствола скважин (для совершенных скважин) и 0,05 кг на 1 пог.м (для несовершенных скважин). Сразу же после этой операции раствор перемешивают и снимают первый контрольный замер резистивиметром для проверки степени однородности раствора по всему стволу скважины.

Через 5–15 мин после контрольной регистрируется следующая кривая, а затем периодически с интервалом 15–30 мин и более проводятся последующие регистрации. Резистивиметрические измерения рекомендуется вести при движении снаряда сверху вниз. Места притоков подземных вод отмечаются повышением УЭС раствора. Для определения истинной скорости подземного потока по методу вымывания электролита используются данные последних кривых перед полным восстановлением УЭС воды на изучаемом участке.

Места притоков подземных вод отмечаются повышением УЭС раствора. Для определения истинной скорости подземного потока по методу вымывания электролита используются данные последних кривых перед полным восстановлением УЭС воды на изучаемом участке (рис. 7).

Совокупность данных о местах притоков подземных вод, полученных резистивиметрическим методом на ряде скважин, может быть использована для выде-

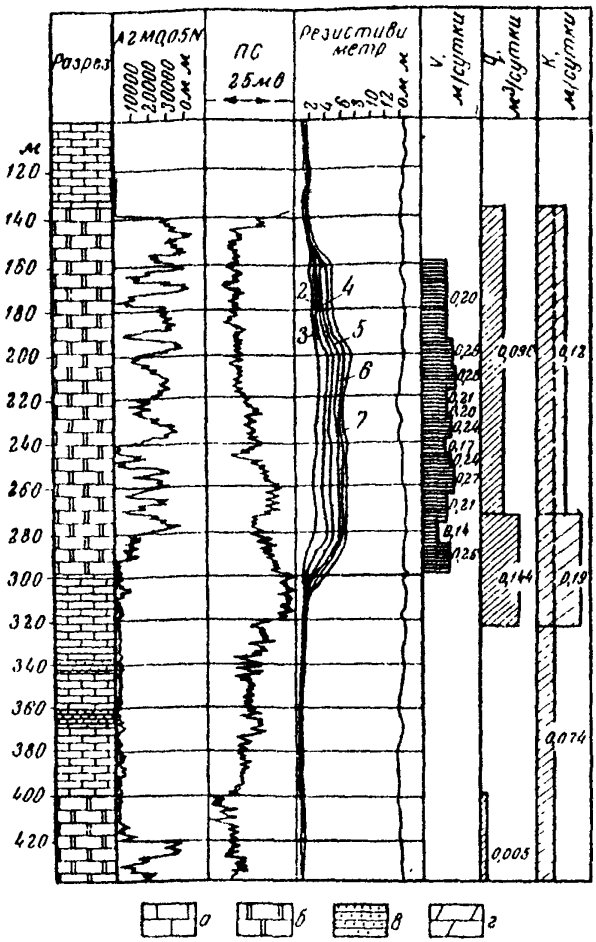


Рис. 7. Результаты исследований в скв. 466[г] (СУБР)
1 – кривая сопротивления воды до засоления; 2–7 – кривые после засоления (через каждые 60 мин); q – удельное водопоглощение; k – коэффициент фильтрации по данным налива; $а$ – известняк; $б$ – известняк кремнистый; $в$ – сланец песчаный; $г$ – доломит

ления и прослеживания по профилю границ зоны активной циркуляции подземных вод, характерной для сильно трещиноватых и закарстованных пород.

По данным электрокаротажа и резистивиметрии также хорошо отбивается нижняя граница закарстованных пород, которые могут подстилаться или монолитными породами той же фракции, или водонепроницаемыми глинистыми отложениями (рис. 8).

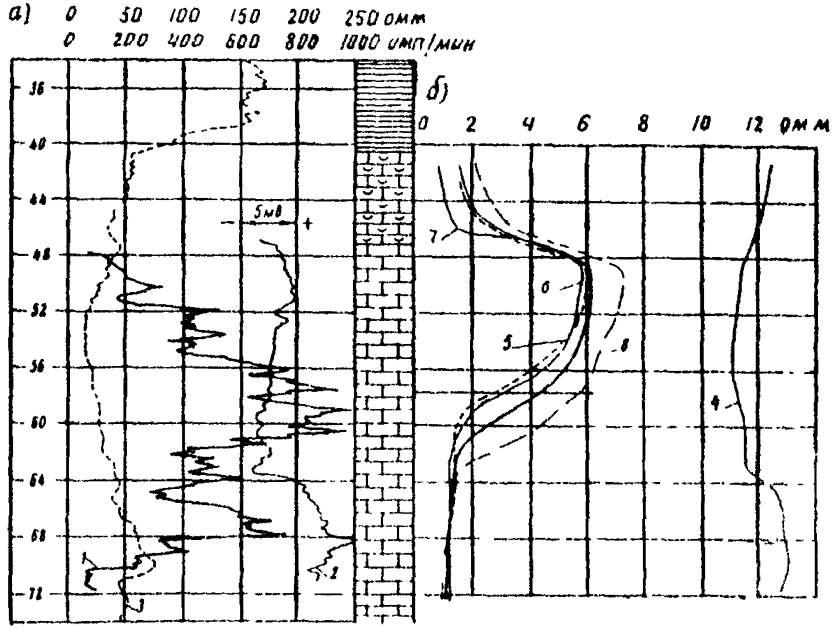


Рис. 8. Выделение водопроницаемых известняков
а – по кривым КС, ПС, $1_г$; б – по данным резистивиметрии. Скважина находится в Крымской обл. d =108 мм; ρ_c = 120 ом.м; q = 6,4 м^3/ч; С=628 мг/л;
1 – кривая КС (зонд М1А0,1В); 2 – кривая ПС;
3 – кривая $1_г$; 4 – кривая ρ_c до засоления воды в скважине; 5 – то же тотчас после засоления воды;
6 – то же через 15 мин после засоления воды;
7 – то же через 30 мин после засоления воды;
8 – то же через 65 мин после засоления воды

Каротаж по методу естественной гамма-активности (ГК) применяется для выделения в разрезе карстующихся пород относительно чистых и плотных, а также глинистых разностей этих пород.

Наиболее трещиноватые и обводненные известняки отмечаются на диаграммах ГК низкими значениями интенсивности, наоборот глинистые разности фиксируются максимальными значениями. Относительно чистые, плотные разности известняков характеризуются промежуточными значениями интенсивности естественного гамма-излучения.

Хорошие результаты по оценке степени трещиноватости слагающих пород дает гамма-гамма-каротаж (ГГК) (так называемый "плотностной каротаж").

На диаграммах ГГК сильно трещиноватые разности известняков фиксируются повышенными значениями интенсивности вторичного (или рассеянного) гамма-излучения. Чем выше интенсивность, тем больше трещиноватость пород.

Каротаж ГГК рекомендуется сопровождать кавернометрическими измерениями по скважине для получения характеристики изменения диаметра скважин.

Для оценки направления подземных потоков в неглубоких трещиноватых (карстующихся) породах хорошие результаты дает метод заряженного тела (МЗТ), при котором в скважине создается раствор электролита (поваренной соли) повышенной концентрации с помощью мешка с солью, подвешенного в верхней части обводненного участка ствола скважины (оборудованного фильтром). Питающий электрод А располагается в скважине вблизи мешка с солью, другой питающий электрод на поверхности земли удаляется на десятикратное расстояние измерительной установки. Затем измеряются потенциалы поля вокруг скважины и проводятся линии равных потенциалов. Через определенный интервал 0,5-2 часа измерения повторяются и по смещению линий равного потенциала оценивают направление и скорость выноса подземным потоком зоны с

растворенным электролитом. Метод позволяет прослеживать отдельные крупные трещины, по которым идет поток.

4. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ИНТЕНСИВНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОМЕХАМИ

Важной особенностью работы трестов инженерно-строительных изысканий является проведение исследований в городских и пригородных условиях вблизи от промышленных комплексов, на территории действующих предприятий, где наблюдаются интенсивные электрические помехи, обусловленные наличием блуждающих токов, а также индуктивными наводками кабельных и воздушных силовых линий.

Промышленные помехи характеризуются большим разнообразием в отношении интенсивности, частоты и поведения во времени. Интенсивность помех зачастую достигает единиц вольта на метр. По данным ряда авторов [3] максимальные амплитуды помех наблюдаются на частотах 0–5, 50, 100 и 150 гц, но существуют более высокочастотные помехи порядка 100 гц и даже десятков кгц.

Из-за влияния низкочастотных помех в ряде районов электроразведочные работы на постоянном токе оказываются невыполненными. Кроме того, в городах и на промплощадках из-за наличия в почвенном слое щебенки, строительного мусора и других примесей строительного материала и химически активных веществ значительно ухудшены условия заземления приемных электродов, а также условия возбуждения сейсмических волн.

Большая застроенность территории и насыщенность подземными коммуникациями также значительно усложняют и затрудняют проведение электроразведочных и сейсморазведочных работ.

В этих сложных для проведения геофизических ра-

бот районах электроразведку рекомендуется проводить низкочастотными приборами типа ИКС или АНЧ, которые обладают высокой стабильностью тока и имеют большую помехоустойчивость. Электрические помехи промышленной частоты в 50 гц в приборах ИКС подавляются особенно интенсивно (в 2000 раз).

Помимо этого, использование переменного тока для возбуждения электромагнитного поля позволяет исключить при полевых измерениях процесс компенсации ЭДС поляризации, что значительно облегчает и ускоряет проведение электроразведочных работ.

Наличие в комплекте прибора ИКС фазовой приставки позволяет при изучении карста использовать фазовые измерения, что дополнительно обеспечивает проверку аномальных зон, вызываемых карстовыми процессами.

При проведении сейсморазведочных работ необходимо учитывать то обстоятельство, что наименьший уровень помех относится к ночному, иногда к вечернему или утреннему времени, и если постановка сейсморазведки вызывается острой необходимостью, ее надо проводить в это время.

Для создания достаточно четких вступлений сейсмических волн на фоне помех следует использовать копровые ударные установки.

При применении многоканальной аппаратуры рекомендуется проводить работы при малом коэффициенте усиления и на суженной фильтрации 0–30 или 0–90. Постановка радиоволновых методов, особенно метода радиокип, в условиях интенсивных помех исключается. Электрокаротажные работы по методу сопротивлений (КС, резистивиметрия) рекомендуется проводить точечным способом с использованием низкочастотной аппаратуры ИКС или АНЧ.

Каротаж и модификации ЕП проводить не рекомендуется. Что касается радиоактивного каротажа, то он проводится по обычной методике, поскольку промышленные помехи не оказывают влияния на процесс измерения.

В качестве примера проведения работ на карст в условиях интенсивных промышленных помех следует указать на один из объектов Центрального треста в Московской области (площадка ДСК в г. Коломне).

На территории домостроительного комбината была широко развита сеть подземных коммуникаций, круглосуточно работали электрические подъемные краны и другое промышленное оборудование, что создавало высокий уровень электрических помех промышленной частоты. Наряду с этим наблюдались периодические толчки тока, связанные с включением и выключением крановых установок, формовочных станов и другого домостроительного оборудования.

Электроразведочные работы были запроектированы с целью поисков и оконтуривания карстово-суффозионных полостей в коре выветривания известняков среднего карбона.

Ниже приводится краткая инженерно-геологическая характеристика объекта и изложены основные результаты работ.

Территория домостроительного комбината расположена в пригороде г. Коломны-Щурове. В геоморфологическом отношении участок расположен на правом берегу Оки, на первой надпойменной террасе. Поверхность участка относительно ровная с общим незначительным уклоном к реке.

С поверхности повсеместно развит насыпной слой, представленный в основном суглинком, с линзами и гнездами песка, известняковой муки, включением щебня, строительного мусора и битого кирпича. Плотность сложения не везде одинакова, наряду с рыхлыми встречаются плотные, хорошо слежавшиеся разности.

Мощность насыпного слоя изменяется от 2,2 до 8,1 м. Под насыпным слоем повсеместно залегают сильно выветрелые известняки среднего карбона. В этой зоне известняк разрушен до состояния муки с включением мелкого, среднего и крупного щебня.

Мощность выветрелой зоны составляет 1,4-10,8 м.

В этой зоне преимущественно и встречены пустоты небольшой мощности от 0,7 до 1,5 м, заполненные, как правило, рыхлой мукой (рис. 9).

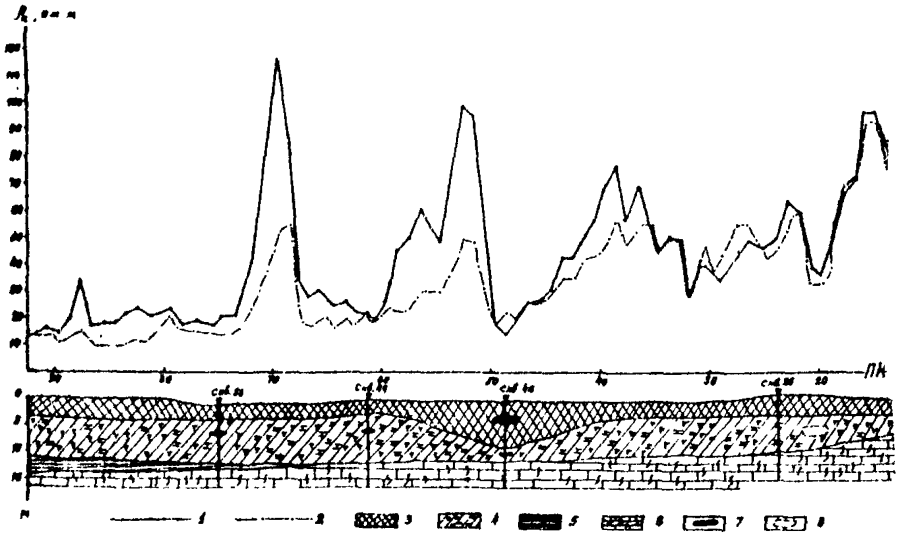


Рис. 9. Типичный график ρ_K и схематический геологический разрез ДСК г. Коломна

1 – график ρ_K для линии АВ=50 м; 2 – график ρ_K для линии АВ=30 м; 3 – насыпной грунт; 4 – дресва известняка (отвал); 5 – глина; 6 – кавернозный известняк; 7 – заполненная полость; 8 – предполагаемая полость

Исходя из геологического строения района исследования, а также учитывая большую плотность застройки и насыщенность участка работ различного рода коммуникациями, создающими высокий уровень электрических помех, электроразведочные работы были ориентированы на проведение исследований методом симметричного профилирования с прибором ИКС-1.

Проведение электроразведочных работ с прибором ЭСК-1 оказалось невозможным.

Для наиболее правильного, однозначного истолко-

вания полученных материалов был пройден опытный профиль через карстовую воронку, обнаруженную в 150 м южнее стройплощадки ДСК в пределах территории цементного завода.

По данным симметричного профилирования, проведенного с разносами питающих линий равными 80, 50 и 30 м, воронка фиксировалась наиболее низкими значениями УЭС$_к$ порядка 75 ом.м на фоне более высоких значений УЭС$_к$ = 100 ом.м, характерных для трещиноватого известняка.

Кроме того, в заброшенном карьере, расположенном юго-западнее исследуемого участка, было проведено три параметрических зондирования с целью определения истинного сопротивления различных разностей известняка.

По данным параметрических измерений истинное сопротивление известняка, разрушенного до состояния муки и щебня, составляет около 100 ом.м; известняк трещиноватый характеризуется сопротивлением порядка 150–200 ом.м; монолитный известняк имеет сопротивление свыше 200 ом.м.

На основании опытно-параметрических работ было установлено, что карстовые зоны характеризуются значениями кажущихся сопротивлений менее 50 ом.м. Пробуренные скважины на аномальных участках подтвердили данные электроразведки. Скважины № 23, 44, 45, 53, 46 вскрыли карстовые полости, заполненные мукой в интервале глубин 7–10 м.

5. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Проблема исследования карста является весьма актуальной для трестов инженерно-строительных изысканий, поскольку строительство промышленных и гражданских сооружений, расширение и реконструкция городов и рабочих поселков вовлекает в инженерную подготовку значительные массивы территорий, зачастую со сложными физико-геологическими явлениями.

При изучении карстовых районов наряду с обычными инженерно-геологическими следует широко использовать геофизические методы. Последние, изучая естественные и искусственно созданные физические поля над геологической средой, позволяют исследовать некоторый объем массива пород и выявить достаточно быстро различные неоднородности, включая карст.

2. По своим физическим показателям (УЭС, V_p, V_s, σ и т.д.) карстовые зоны существенно отличаются от вмещающих пород, не затронутых карстовыми процессами. Аномалии над карстом тем больше, чем крупнее карстовая полость и чем ближе к поверхности она расположена.

3. По условиям залегания различают три типа карста:

открытый карст;

покрытый карст, перекрытый водопроницаемыми породами;

покрытый карст, перекрытый водонепроницаемыми породами.

В зависимости от типа карста существенно изменяется методика геофизических исследований.

В случае открытого карста благодаря неглубокому залеганию от поверхности облегчается производство геофизических работ; решение задачи может быть проведено простыми и опробированными методами.

В случае покрытого карста при мощности покрывающих водопроницаемых пород до 30 м решение задачи отыскания карстовых зон может облегчаться за счет вторичных явлений, сопутствующих карстовым проявлениям (увеличение мощности четвертичных образований, возрастание УЭС наносов над карстовой зоной).

В случае покрытого карста при мощности покрывающих водонепроницаемых пород свыше 30 м задача обнаружения карстовых зон значительно усложняется. В этом случае необходимо проведение широкого и мощного комплекса геофизических методов.

4. Геофизические методы исследования в карстовых районах решают следующие основные задачи:

литологическое расчленение пород, установление мощности и глубины залегания карстующихся пород;

поиски и оконтуривание локальных карстовых полостей;

изучение степени трещиноватости пород и преобладающего его направления;

изучение гидрогеологических особенностей карстового района.

5. Результаты геофизических работ должны тесно увязываться с данными инженерно-геологических исследований.

6. При исследовании сложных форм залегания карста рекомендуется применять следующие полевые и скважинные геофизические методы:

электропрофилирование различных модификаций (СЭП, КЭП, АВfix , ДЭП);

вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ);

круговые модификации зондирования и профилирования (КВЗ, КВП);

сейсморазведку КМПВ (в случае неглубоко залегающих форм – одноканальную сейсморазведку МПВ);

стандартный каротаж (КС, ЕП);

резистивиметрию;

радиоактивный каротаж (ГК, ГГК-П);

метод заряженного тела (МЗТ);

сейсмоакустическое просвечивание в скважине и сейсмокаротаже;

радиокип (в случае неглубоко залегающих форм карста).

В благоприятных случаях этот комплекс можно дополнять гравиразведкой и магниторазведкой.

7. К задачам, решаемым электроразведкой (ВЭЗ ЭП, КВЗ, КВП) при изучении карста, относятся:

выявление и оконтуривание зон повышенной трещиноватости и закарстованности;

определение глубины распространения закарстованных пород;

обнаружение отдельных карстовых полостей и их оконтуривание в плане.

При изучении карста наиболее употребительны различные схемы электропрофилирования. Наилучший способ съемки – *площадной*. Шаг наблюдений по площади не более 10–15 м. При изучении простых форм карста рекомендуется метод СЭП и ABfix , при исследовании сложных – КЭП, ДЭП.

Для выбора разносов профилирования предварительно проводятся ВЭЗ по редкой сети точек (в среднем 200х200 м). На аномальных точках для установления преобладающего направления системы трещин рекомендуются круговые зондирования (КВЗ).

8. *Сейсморазведка на карст* проводится в комплексе с электроразведкой. Сейсморазведочные профили рекомендуется располагать на аномальных участках, выявленных электроразведкой. В случае изучения простых форм карста (до 15–20) может применяться одноканальная сейсмическая аппаратура (ОСУ-1).

При исследовании погребенного карста (в пределах до 50–100 м) используется многоканальная сейсмическая аппаратура (24-канальные станции ПСЛ-2 и т.д.).

Сейсморазведка на карст проводится по методике продольного профилирования и просвечивания.

9. *При изучении неглубоких карстовых форм в условиях рекогносцировочных обследований* рекомендуется использовать метод радиокип в опытном порядке, а также другие радиоволновые методы.

10. Проведение каротажных работ, включая комплекс методов стандартного каротажа, резистивиметрию и методы радиоактивных измерений, является обязательным при изучении сложных карстовых форм.

11. Для определения действительной скорости и направления движения подземных вод рекомендуются измерения методом заряженного тела (МЗТ) по одной скважине. На площади 1 км^2 следует проводить не менее пяти опытов МЗТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акишев Т.А., Насырханова А.Н. Опыт применения электроразведки при поисках трещинно-карстовых вод в Центральном Казахстане. Изв. АН Каз. ССР, сер. геол. № 2, 1964.

2. Басин Я.Е., Берман Л.Б., Нейман В.С. О возможности выделения кавернозных и трещиноватых известняков методами промысловой геофизики. Прикл. геофиз., вып. 39, 1964.

3. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. Ленинград, 1965.

4. Воронков О.К., Акатов Ю.Е. Сейсморазведочные исследования на карст. "Геология и геофизика", № 6, 1967.

5. Горелик А.М. Электроразведка при железнодорожных изысканиях в карстовых районах. М., 1949.

6. Горелик А.М., Сахарова М.П. Применение электроразведки при инженерно-геологических изысканиях на железных дорогах. М., 1951.

7. Заборовский А.И. Электроразведка. М., Гостоптехиздат, 1943.

8. Матвеева Б.К. Методика геофизического изучения карстовых полостей на примере работ в районе Кунгурской пещеры. Сб. "Методика изучения карста" вып. 5, Пермь, 1963.

9. Матвеев Б.К., Шкабарня П.Г. Электропрофилирование надшаром, расположенным вблизи контакта двух сред. Изв. АН СССР, серия геофиз. № 10, 1959.

10. Матвеев Б.К. Геофизические методы изучения движения подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1963.

11. Назаров Г.Н. Применение электроразведки для выявления карста и закономерностей распределения пресных вод. "Разведка и охрана недр", № 3, 1965.

gost.e-ecolog.ru