

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №2, Том 14 / 2022, No 2, Vol 14 <https://esj.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/22NZVN222.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Носков, И. В. Комплексные инженерно-геологические исследования карстовых явлений / И. В. Носков, С. А. Ананьев // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/22NZVN222.pdf>

For citation:

Noskov I.V., Ananyev S.A. Complex engineering-geological investigations of karst phenomena. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(2): 22NZVN222. Available at: <https://esj.today/PDF/22NZVN222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 551.435.88

Носков Игорь Владиславович

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: noskov.56@mail.ru

Ананьев Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Старший преподаватель «Технология и механизация строительства»
E-mail: ananda_hasita@mail.ru

**Комплексные
инженерно-геологические исследования
карстовых явлений**

Аннотация. Исследователи дают различные определения термина «карст», однако в статье приведена наиболее четкая формулировка: «Под карстом подразумеваются явления, связанные с деятельностью подземных вод, выражающиеся в выщелачивании растворимых горных пород (известняков, доломитов, гипса) и образовании пустот (каналов, пещер) в породах, сопровождающиеся часто провалами и оседаниями кровли, и образованием воронок, озер и других впадин на земной поверхности». Карст широко распространен на территории Евразии. Он развит в Крыму (Крымские Яйлы), на Кавказе (Гагра, Сухуми и др.), в Средней Азии, на Алтае, на Урале, на Дальнем Востоке, в Сибири, на территории Русской равнины и т. д. При инженерно-геологическом изучении карста применяются различные виды исследований, позволяющие установить закономерности распределения и развития карстового процесса, скорость образования карста и наличие угрожающих сооружениям карстовых проявлений. Однако методика инженерно-геологического изучения карста разработана еще совершенно недостаточно. Большие трудности при разработке такой методики связаны со сложностью и многообразием условий развития карста. В подавляющем большинстве случаев развитие карста неблагоприятно сказывается при строительном и сельскохозяйственном освоении территорий или при эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Однако развитие карста не всегда является неблагоприятным явлением. В ряде случаев к древним карстовым пустотам приурочены месторождения полезных ископаемых. Военные инженеры нередко используют карстовые пустоты при строительстве военно-инженерных сооружений. Приведенные в статье примеры показывают необходимость комплексного инженерно-геологического изучения карстовых явлений.

Ключевые слова: карст; вода; пустота; закарстованность; растворимость; водопроницаемость; горная порода; инженерно-геологические условия; карстовые формы; комплекс методов исследования

В практике строительства гидротехнических сооружений известны случаи, когда плотины, построенные на закарстованных породах водохранилища, не могли быть заполнены водой. Например, в Андалузии (Испания) была построена плотина высотой 72 м на участке развития трещиноватых и закарстованных юрских известняков. При наполнении водохранилища водой обнаружилось, что почти вся вода утекает по трещинам и карстовым каналам в долину реки, расположенную ниже места строительства плотины. В 1927 г. близ Уфы произошел провал объемом в 800 м³, вызванный карстовыми явлениями. Это вызвало остановку движения поездов и потребовало значительных средств на восстановление железнодорожного полотна. При проектировании канала им. Москвы существовало несколько вариантов прохождения трассы канала. По одному из них трасса канала должна была начинаться выше г. Старицы, где гидротехнические сооружения предполагалось возводить на сильно трещиноватых каменноугольных известняках, в которых могли развиваться карстовые явления и возникнуть усиленная фильтрация воды из верхнего бьефа. Это была одна из причин, заставивших отказаться от этого варианта проведения канала.

Большие затруднения доставляет карст при эксплуатации месторождений полезных ископаемых, так как в закарстованных полостях часто скапливается большое количество подземных вод. Например, в одной из шахт Кизеловского каменноугольного бассейна на Урале, вскрывшей обводненные закарстованные породы, приходилось откачивать с глубины 300–400 м около 700–800 м³ воды в час. Такие мероприятия всегда связаны с большими техническими трудностями и значительно удорожают стоимость добытого полезного ископаемого.

В районах распространения карста на участках выходов на поверхность закарстованных пород интенсивно поглощаются поверхностные воды, в результате чего затрудняется, а иногда и вовсе становится невозможным развитие растительного покрова и сельскохозяйственное освоение территории.

Иногда карстовые провалы, подготавливающиеся достаточно длительное время, могут привести к катастрофе. Например, в 1938 г. в Татарской АССР близ сел. Верхний Акташ неожиданно произошел провал почвы под трактором, распахивавшим землю. Провал имел глубину около 54 м, находившийся в нем столб воды превосходил 26 м.

В тоже время образование и развитие карстовых пустот не всегда является негативным явлением.

Часто к древним карстовым пустотам приурочены месторождения полезных ископаемых (бокситов, огнеупорных глин, железных руд, россыпей золота и т. д.).

В военном строительстве нередко карстовые пустоты использовались при возведении инженерных сооружений.

Условия образования и причины развития карста

Карст может возникать и развиваться только при сочетании определенных природных условий, т. е. при одновременном наличии:

1. Породы, относительно легко растворимой в воде.

2. Проницаемости этой породы.
3. Движущейся в породе воды.
4. Растворяющей способности воды.

Отсутствие любого из этих условий исключает возможность развития карста [1–4].

Однако интенсивность карстового процесса и формы его развития определяются сочетанием большого количества факторов: геоморфологических, тектонических, литологических, петрографических, гидрогеологических, химических и т. п. Рассмотрим несколько подробнее каждый из факторов, обуславливающих образование карста.

По степени растворимости можно выделить следующие основные группы пород:

1. карбонаты — известняки, доломиты, мел;
2. гипсы и ангидриты;
3. галолиты — хлористые и сернокислые соли натрия, калия и магния.

Растворимость главных соединений, входящих в состав карстующихся пород, зависит от энергии кристаллической решетки, размеров кристаллов, наличия примесей. Хотя и имеются некоторые исключения, но все же можно сказать, что решетки с большей энергией растворяются значительно труднее, чем решетки с меньшими энергиями, а мелкие зерна растворяются быстрее, чем крупные. Растворимость пород зависит и от имеющихся в них примесей. Различают два вида примесей: более труднорастворимые по сравнению с основной породой и более легкорастворимые. Первые тормозят растворение вследствие того, что они в процессе самого растворения покрывают поверхность кристаллов коллоидной пленкой, препятствующей растворению породы. К таким примесям относятся глинистые частицы и рассеянные битуминозные вещества. Более легко растворимые примеси, например, каменная соль, гипс и другие вещества, содержащиеся в породах, переходя в раствор, активно влияют на растворяющую способность природных вод, в связи с чем изменяется и интенсивность карстового процесса. Растворяющая способность воды зависит главным образом от температуры, давления, наличия в природных водах углекислоты и различных солей. Влияние температуры на растворимость солей в дистиллированной воде сравнительно невелико, причем растворимость каменной соли и кальцита повышается с ростом температуры от 0 до 100°C, а растворимость ангидрита и гипса повышается только примерно до 35°, а при более высоких температурах снижается. Еще меньше влияют на растворимость породы колебания атмосферного давления. Находящаяся в воде углекислота не оказывает заметного влияния на растворимость каменной соли и гипса, растворимость кальцита в ее присутствии значительно увеличивается.

Связь между растворяющей способностью воды и скоростью процесса растворения выражается эмпирической формулой:

$$J = \frac{(S_0 - y)^2}{S_0^i} \quad (1)$$

где J — интенсивность карбонатной агрессии (скорость процесса) в условных единицах;

S_0 — предельное содержание связанной углекислоты в данной воде, т. е. при насыщении раствора, мг/л;

y — фактическое содержание связанной углекислоты в воде, мг/л;

i — условная единица, выражающая интенсивность карбонатной агрессии воды, у которой $S_0 = 1$, а $y = 0$;

So-y — карбонатная емкость данной воды, равная содержанию в ней агрессивной CO₂.

Водопроницаемость растворимых горных пород является вторым условием образования карста. Вода может проникать в горные породы по порам или трещинам. Двигаясь по этим пустотам иногда весьма медленно, она может растворять породы и тем самым увеличивать их пористость, что в свою очередь приводит к усилению водообмена.

Следует отметить, что движение воды по пустотам и растворение пород не всегда ведет к увеличению размеров пустот. Большую роль при этом играет неоднородность состава и структуры пород. Например, при растворении известняков, содержащих глинистые частицы, последние могут закупоривать трещины и карстовые полости и тем самым содействовать уменьшению фильтрации воды и затуханию карстового процесса.

Водопроницаемость пород играет очень большую роль при возникновении и развитии карста: чем больше трещиноватость пород, тем лучшие условия создаются для развития карстовых явлений. Особенно важно бывает установить происхождение, частоту, направление и характер трещин, так как эти факторы обуславливают возможность и направление развития карста.

Например, происхождение трещиноватости (тектонические трещины, трещины выветривания, напластования и т. д.) позволяет определить пути движения воды, глубину распространения трещиноватости и т. д.

Связь карстовых проявлений с трещиноватостью пород доказывается вытянутостью «цепочек» 1 карстовых воронок вдоль господствующих систем трещин, приуроченностью карстовых пещер и полостей к крупным трещинам или к местам интенсивного тектонического дробления пород в замках антиклиналей, вблизи сбросов и т. д.

Если растворимые горные породы содержат водонепроницаемые прослои и линзы или покрыты сверху водоупорными делювиальными, пролювиальными и т. п. отложениями, та создаются неблагоприятные условия для выщелачивания растворимых пород, лежащих ниже этих водоупоров.

Одним из основных условий развития карста является водообмен, так как только в этом случае возможно выщелачивание горных пород. Чем интенсивнее водообмен, тем более благоприятны условия для развития карстового процесса, тем больше скорость его развития. Интенсивность водообмена зависит от водопроницаемости пород, климата, характера дренажа и условий питания подземных вод.

Условия движения подземных вод и интенсивность водообмена изменяются по вертикали, так как с глубиной затухает трещиноватость и уменьшается дренирующая роль гидрографической сети.

В областях с мощными растворимыми породами выделяется четыре вертикальные зоны, различные по условиям движения подземных вод, в зависимости от этого и по условиям развития карста (рис. 1):

I — зона аэрации, где происходит преимущественно вертикальная фильтрация, вызывающая формирование в основном вертикальных карстовых каналов, хотя на отдельных коротких участках вода может передвигаться и по *i* горизонтали (как бы «ступенчато»);

II — зона сезонных колебаний уровня подземных вод; здесь в периоды подъема уровня вода фильтруется в горизонтальном направлении, а в период его спада — в вертикальном, обуславливая тем самым развитие в растворяемой породе как вертикальных, так и горизонтальных полостей;

III — зона полного насыщения, находящаяся в сфере дренирующего воздействия гидрографической сети; подземные воды движутся в сторону долин, а зона, где происходит движение воды, захватывает подрусловой поток и сферу разгрузки подземных вод (IIIa); такой характер движения подземных вод обуславливает развитие карста в дне долин и определяет мощность зоны интенсивного развития карста по берегам.

Стрелки показывают направление движения воды [5]:

I — зона аэрации;

II — зона сезонного колебания уровня подземных вод;

III — зона полного насыщения в сфере дренирующего воздействия долины;

IIIa — сфера разгрузки подземных вод на дне долины.

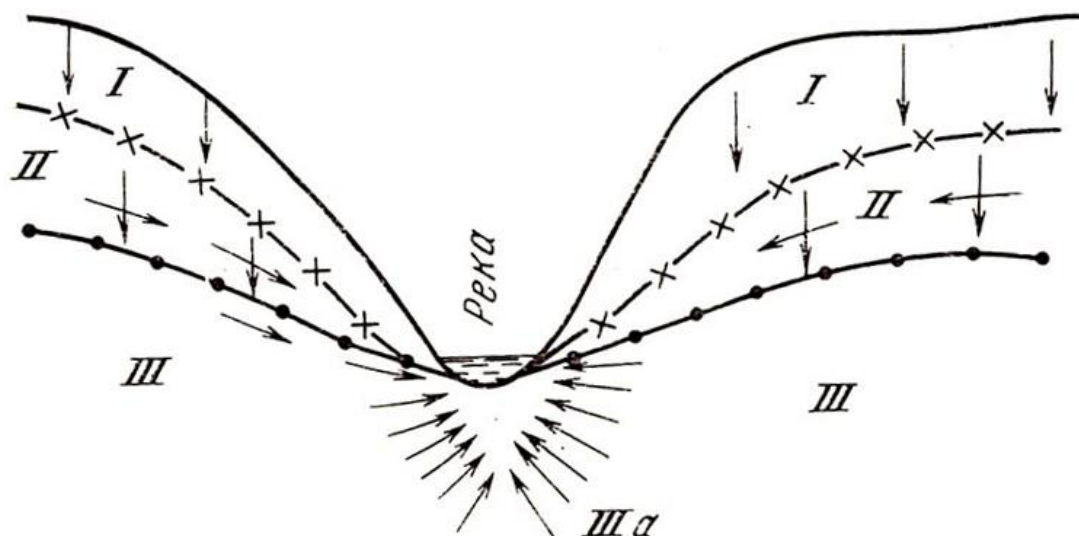


Рисунок 1. Схема движения подземных вод в различных вертикальных зонах, условия, определяющие характер и интенсивность развития карста (источник <https://kzref.org/uchebno-metodicheskij-kompleks-po-discipline-geomorfologiya-dl.html?page=6>)

Интенсивное развитие карстового процесса [вблизи реки, являющейся дренажем (по сравнению с водораздельными массивами), имеет большое значение для гидротехнического и мостового строительства, так как в этом, случае сооружения могут оказаться в пределах зоны интенсивно развитых карстовых пустот, что может существенно осложнить строительство, а иногда и сделать его нерентабельным. Четвертая зона — зона глубинной циркуляции — не показана на рисунке 1. В ней движение воды происходит за пределами непосредственного дренирующего воздействия гидрографической сети и обусловлено тектонической структурой и отдельными очагами разгрузки. Растворение пород в этой зоне происходит медленно.

Растворяющая способность подземных вод уменьшается с глубиной, так как с глубиной увеличивается насыщение воды различными соединениями, что иногда препятствует растворению. В глубоких горизонтах затухают и биохимические процессы, в результате которых образуется углекислота, способствующая растворению. Кроме того, с глубиной теряется поступающая с подземными водами углекислота, которая вступает в реакцию с составными частями пород, встречающихся на ее пути. Эта закономерность нарушается в зонах, где имеются источники углекислых минеральных вод, и в тех глубинных зонах циркуляции подземных вод, где происходят сложные геохимические процессы, связанные с образованием углекислоты [6].

Карстовый процесс может развиваться и за счет искусственных факторов, например, в зонах, где создается подпор воды в результате сооружения плотин и водохранилищ, так как в этом случае могут резко изменяться как градиенты, так и пути фильтрации воды. На развитие карста оказывают большое влияние геоморфологические особенности местности. Например, вблизи крутых эрозионных и абразионных склонов создаются благоприятные условия для водообмена, так как на этих участках тектонические трещины бывают расширены за счет выветривания или оседания пород и т. д., что ведет к более интенсивному растворению пород.

Очень большое влияние на развитие карста оказывает климат, так как он определяет количество, характер и распределение осадков по сезонам, характер и интенсивность процессов выветривания, температурный режим в верхних частях земной коры.

В зависимости от наличия или отсутствия снегового покрова, промерзания земли, распределения осадков и их интенсивности изменяются условия инфильтрации, а следовательно, и интенсивность водообмена, что ведет к неравномерному развитию карста в пространстве и во времени.

Даже растительность является фактором развития карстового процесса, так как она оказывает влияние на интенсивность снеготаяния, а следовательно, и на инфильтрацию. Например, в лесу снег тает в 1,5–2 раза медленнее, чем в поле. Кроме того, лесной покров повышает карбонатную агрессивность инфильтрационных вод.

По возрасту карст можно разделить на современный, развивающийся в настоящее время, и древний, развивавшийся в более ранние геологические эпохи. Древний карст может быть погребенным, если поверхность закарстованных пород перекрыта (погребена) более поздними отложениями. Погребенные карстовые формы встречаются довольно часто [7].¹

Признаками наличия карста в первую очередь являются своеобразные карстовые формы — воронки, которые можно наблюдать непосредственно при производстве съемки или на спутниковых снимках. Воронки бывают свежие или старые, заполненные породой, смытой с поверхности, или древними отложениями, иногда они покрыты лесом или заполнены водой (карстовые озера). Нередко карстовые воронки располагаются закономерно, например, вдоль речных долин и оврагов или оконтуривают какой-либо элемент рельефа и т. п.

Такие закономерности образования карстовых воронок часто связаны с тектоническими особенностями района (приуроченностью воронок к зонам дробления пород или к господствующей системе трещин), с площадями распространения легкорастворимых пород, залегающих близко к поверхности, благоприятными условиями проникновения и движения поверхностных и подземных вод.

Признаком карста является наличие в растворимых породах пустот.

Карстовые пустоты могут иметь разнообразную форму и различные размеры, начиная от едва заметных каверн и кончая разветвленной сетью сообщающихся друг с другом каналов и огромных пещер.

Карстовые пустоты выявляются при осмотре обнажений, шурфов, шахт и штолен, они устанавливаются по провалам инструмента при бурении скважин. Как правило, при бурении закарстованных пород отмечается низкий выход керна.

В областях, где закарстованные породы залегают выше дренирующихся эрозионных врезов, наблюдается наиболее интенсивное поглощение поверхностных вод, сопровождающееся иногда полным исчезновением поверхностных водотоков и образованием

¹ Гвоздецкий Н.А. Карстовые ландшафты: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1988. — 112 с.

так называемых суходолов. Поверхностный сток по таким суходолам или вообще отсутствует или наблюдается лишь в периоды интенсивного снеготаяния и обильных дождей, когда карстовые пустоты не успевают поглощать текущие по оврагу воды.

Отмеченные выше особенности карстовых районов в значительной мере влияют на инженерно-геологические и гидрогеологические условия местности.

Главные из них следующие:

1. Возможность повышенной утечки воды из каналов и водохранилищ как в их борта и дно, так и в обход плотин через закарстованные породы.
2. Обильное обводнение карстовыми водами строительных котлованов, тоннелей, шахт.
3. Естественный глубокий дренаж ряда месторождений полезных ископаемых
4. Иссущение ряда карстовых областей (область карста Балканского полуострова, плато Гран-Косс во Франции, ряда участков Скалистого хребта Кавказа, Крымской Яйлы и др.), что приводит к затруднениям при сельскохозяйственном использовании территорий.
5. Интенсивное пополнение горизонтов подземных вод за счет просачивания воды с поверхности и в речных долинах.
6. Усиленное питание рек и родников за счет карстовых вод.

Существенный интерес при оценке инженерно-геологических условий строительства представляет и характер отложений, формирующихся в подземных карстовых полостях (глинистых заполнителей, доломитовой муки и др.), так как с ними связаны, например, оценка фильтрационных свойств пород, и возможности их дальнейшего растворения, применения методов закрытия подземных пустот (цементация, битуминизация, глинизация и пр.).

При инженерно-геологической оценке местности очень важно определить скорость развития карстового процесса.

В качестве примеров значительной скорости развития карста, указывающих на необходимость считаться с ней при строительстве долговременных гидротехнических сооружений, приводим следующие приближенные скорости роста трещин за промежутки в 100 лет:

1. по лабораторным, данным (Ф.Ф. Лаптев) — 3,4 см.
2. по наблюдениям за растворением речными водами (Фринк) — 5 см.
3. экспериментальным путем (Н.В. Родионов) — 3,5 см.
4. по материалам растворяющей деятельности руслового потока (А.И. Москвитин) — 20 см.
5. по наблюдениям за скоростью растворения известняков в основании плотин (Фринк) — до 50 см.

Макеев З.А. предлагает выделять следующие участки по количеству карстовых воронок, образующихся в течение года на площади в 1 км²:

1. весьма неустойчивые, 5–10 воронок.
2. неустойчивые, 1–5 воронок.
3. средней устойчивости, одна воронка за время от 1 до 20 лет.

4. устойчивые, 1 воронка за 20–50 лет.
5. весьма устойчивые, свежие провальные явления не отмечались в течение 50 лет.

Время образования карстовых провалов установить трудно, однако в целом ряде случаев этот вопрос можно решить на основании:

1. Изучения геологического строения местности и стратиграфического сопоставления изучаемых пород.
2. Изучения возраста элементов рельефа, в которых образовались воронки.
3. Определения состава и возраста растительности, произрастающей на дне старых провальных воронок, состава и возраста почв и пород в закарстованных воронках.
4. Тщательного просмотра имеющихся записей путешественников и краеведов, летописей и т. п.
5. Опроса местного населения (в этом случае необходимо получить не одно, а несколько показаний).

Меры, борьбы с карстом

Борьба с карстом чрезвычайно трудна, все же для борьбы с ним можно предложить следующие мероприятия:

1. Прекращение допуска поверхностных и подземных вод к карстующимся породам путем регулирования поверхностного стока и устройства дренажей.
2. Искусственное обрушение кровли карстовых пустот и заполнение их глинистыми породами. К такому мероприятию особенно часто прибегают при строительстве железных и шоссейных дорог, устройстве трубопроводов и т. д.
3. Цементация пород основания сооружений; при этом через буровые скважины в трещины и карстовые полости нагнетают цемент, в результате чего создается подземный водонепроницаемый барьер и одновременно увеличивается прочность пород. Такого рода цементация оснований производилась при строительстве Сызранской и Волховской плотин и дала положительные результаты. Следует отметить, что цемент не проникает в трещины сечением менее 0,15 мм.
4. Битуминизация закарстованных пород. На Белорецком водохранилище, где наблюдалась значительная утечка воды через закарстованные силурийские известняки левого берега, по данным Д.С. Соколова (1948), битуминизация пород привела к закрытию трещин и снижению утечки воды из водохранилища. Отметим, что битум не проникает в трещины шириной менее 1 мм.
5. Осушение закарстованных участков с помощью откачки воды насосами, погруженными в пробуренные вокруг участков скважины. Такое осушение применяется при проходке эксплуатационных и опытных шахт, шурфов и т. д.

Иногда вследствие трудности и дороговизны борьбы с карстовыми явлениями сооружения с закарстованных участков переносят на участки с более благоприятными инженерно-геологическими условиями.

Исследование карста

При инженерно-геологическом изучении карста применяется следующий комплекс методов исследования:

1. Изучение климатических условий, растительности и гидрологии местности. Климатические данные обычно получают от местных метеорологических станций или выписывают из специальных сборников, выпускаемых гидрометеорологической службой РФ. В ряде случаев может понадобиться проведение климатических наблюдений на ограниченном участке, для выполнения таких наблюдений следует пригласить специалиста-метеоролога [9].

Растительность изучается обычно в процессе инженерно-геологической съемки при консультациях специалиста-ботаника. При гидрологических исследованиях изучаются режим и расходы местных водотоков, а также определяется подземный сток на разных участках.

2. Инженерно-геологическая съемка различных масштабов в зависимости от типа проектируемого сооружения и стадии исследования. В процессе съемки изучается геоморфология района, выясняется его тектоника, геологическое строение и гидрогеологические условия, изучаются физико-геологические явления.

При геоморфологическом исследовании района дается историко-геологический анализ формирования территории в связи с тектоническими движениями, изучается связь современных и древних уровней эрозии с геоморфологическими элементами, выясняются характер долин и овражной сети, морфология и возраст карстовых форм.

При изучении тектоники района особое внимание уделяется характеру и системе трещин и зонам дробления пород. При этом большое внимание обращается на распространение трещин, установление их размеров, глубины залегания, характера их заполнения и состава заполнителя и пр.

При гидрогеологических исследованиях устанавливаются водоносные горизонты, литологический и механический состав водовмещающих пород, условия питания и циркуляции подземных и поверхностных вод, направление и скорость движения воды, определяются дебиты источников, химический состав и температура подземных и поверхностных вод и их колебания во времени. В процессе съемки описываются также все физико-геологические явления, развитые в изучаемом районе [10].

3. Разведочные работы. С помощью только одних разведочных работ изучить карст очень трудно, так как часто бывает невозможно заранее определить размещение в пространстве карстовых проявлений. Иногда при проходке двух выработок, расположенных буквально рядом, одна из них встречает карстовые проявления, а другая нет. Однако в общем комплексе работ, проводимых для изучения карста, разведочные работы находят себе применение.

В большинстве случаев для изучения карста проходят колонковые буровые скважины и по кернам изучают и закарстованность и трещиноватость пород. В шурфах удобнее исследовать проявления карста, но стоимость разведочных работ выше. В настоящее время для изучения карста и трещиноватости горных пород успешно применяется бурение скважин больших диаметров (900–1200 мм).

По данным разведочных работ устанавливаются состав пород, их трещиноватость и закарстованность, характер заполнения трещин, состав заполнителя, величина и форма пустот (при встрече пустот часто бывают провалы бурового инструмента), величина поглощения промывочного раствора. Разведочные выработки проходят также для постановки опытных работ и режимных наблюдений.

В последнее время для изучения карста стали успешно применяться геофизические методы разведки-электроразведка и сейсморазведка. Электроразведка позволяет устанавливать глубину и контуры карстовых воронок, если они прикрыты более поздними отложениями. Кроме того, геофизические методы разведки дают возможность определить участки с наименьшей и наибольшей трещиноватостью пород, установить направление трещиноватости и глубину залегания зеркала подземных вод. Геофизические методы разведки при изучении карста применяются в комплексе с другими методами изучения карста, только соблюдение комплексности обеспечивает наиболее полное и детальное его исследование [12]².

4. Опытные работы и режимные наблюдения. Опытные работы при изучении карста ставятся для определения фильтрационной способности закарстованных пород, скорости и направления движения подземных вод.

На опытных участках замеряются уровни воды, определяется скорость ее движения с помощью запуска в нее различных индикаторов (краски, поваренной соли и т. п.) и производятся опытные откачки.

Режимные наблюдения проводятся с целью установления колебания уровней, изменения расхода, температуры и химического состава подземных вод во времени. Для этого используются как разведочные выработки, заданные по специально выбранным створам, так и естественные выходы подземных вод. Такого же рода наблюдения производятся на открытых водоемах (озерах, прудах) и водотоках (реках, ручьях и т. п.), находящихся в карстовых районах.

5. Лабораторные исследования. При лабораторных исследованиях выясняются петрографические особенности и определяется химический состав пород. Кроме определения общих показателей физико-механических свойств (удельного и объемного веса, пористости и т. д.), ставятся специальные опыты по изучению скорости растворения пород в зависимости от их состава, от температуры и химического состава воды. Методика таких определений разработана еще недостаточно, однако имеется некоторый опыт их применения. Обычно они сводятся к фильтрации через образец растворимой породы воды того или иного состава. Из профильтрованной воды периодически отбираются пробы для химического анализа. Порода до и после пропускания через нее воды подвергается тщательному петрографическому изучению и химическому анализу. Определяются также физико-механические свойства пород до и после опытов.

Проведенный анализ показывает большое народнохозяйственное значение карстовых явлений и необходимость их дальнейшего инженерно-геологического изучения.

² Дублянский, В.Н. Карстование: учебное пособие. Ч. I. Общее карстование / В.Н. Дублянский, Г.Н. Дублянская. — Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2004. — 306 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев Д.А., Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Терминология карста. — М.: Наука, 1991. — 260 С.
2. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 320 с.
3. Aderhold, G. Klassifikation von erdfällen und senkungsmulden in karstgefährdeten gebieten Hessens / G. Aderhold. — HLUG, 2005. — 112 p. (Адерхольд, Г. Классификация воронок и впадин в карстовых районах Гессена / Г. Адерхольд. — ХЛУГ, 2005. — 112 с.).
4. Sowers, G.F. Building on Sinkholes: Design and Construction of Foundations in Karst Terrain / G.F. Sowers. — New York: ASCE Publications, 1996. — 202 p.
5. Чикишев А.Г. Географические условия развития карста / Моск. о-во испытателей природы. — М.: Изд-во МГУ, 1975. — 114 с.
6. Якуч Л. Морфогенез карстовых областей. Варианты эволюции карста. — М., 1979. — 388 с.
7. Кутырев Э.И., Михайлов Б.М., Ляхницкий Ю.С. Карстовые месторождения. — Л.: Недра, 1989. — 311 с.
8. Дублянская, Г.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий / Г.Н. Дублянская, В.Н. Дублянский. — Новосибирск: Изд-во РАН, 1992. — 143 с.
9. Waltham, T. Sinkholes and subsidence: Karst and cavernous rocks in engineering and construction / T. Waltham, F.G. Bell, M.G. Culshaw. — Chichester: Springer / Praxis Publishing, 2005. — 382 p.
10. Ford, D. Karst hydrogeology and geomorphology / D. Ford, P. Williams. — Wiley, 2007. — 578 p.

Noskov Igor Vladislavovich

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
E-mail: noskov.56@mail.ru

Ananyev Sergei Anatolevich

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
E-mail: ananda_hasita@mail.ru

Complex engineering-geological investigations of karst phenomena

Abstract. Researchers give various definitions of the term "karst", but the article provides the clearest wording: "Karst means phenomena associated with the activity of groundwater, expressed in the leaching of soluble rocks (limestone, dolomites, gypsum) and the formation of voids (canals, caves) in rocks, often accompanied by failures and settling of the roof and the formation of funnels, lakes and other depressions on the earth's surface". Karst is widespread in Eurasia. It is developed in Crimea (Crimean Yayli), the Caucasus (Gagra, Sukhumi, etc.), Central Asia, Altai, the Urals, the Far East, Siberia, the Russian Plain, etc. In the engineering and geological study of karst, various types of research are used to establish the patterns of distribution and development of the karst process, the speed of karst formation and the presence of karst manifestations threatening structures.

However, the technique of geotechnical study of karst has not yet been developed at all. Great difficulties in developing such a technique are associated with the complexity and diversity of the conditions for the development of karst. In the vast majority of cases, the development of karst adversely affects the construction and agricultural development of territories or the exploitation of mineral deposits. However, the development of karst is not always an adverse phenomenon. In some cases, mineral deposits are confined to ancient karst voids. Military engineers often use karst voids in the construction of military engineering structures. The examples given in the article show the need for a comprehensive engineering and geological study of karst phenomena.

Keywords: karst; water; emptiness; sharpness; solubility; water permeability; rock; engineering and geological conditions; karst forms; complex of research methods