



<http://geology.cainroduction.baffi.co.uk/wp-content/uploads/2009/07/karst.jpg>

НЕЩЕТКИН О.Б.

Директор ЗАО «НПЦ «Карст»», К.Г.-м.н.

NESHCHETKIN O.B.

The director of the CJSC SPC «Karst»

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

THE PROBLEMS OF ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY IN KARST TERRAINS

Ключевые слова: нормативные документы; инженерно-геологические изыскания; карст; суффозия; провал; карстовая опасность; инженерное карстование.

Аннотация: в статье рассмотрены терминологические проблемы инженерного карстования. Обсуждена сущность таких понятий, как «карст», «суффозия», «карстовая опасность». Определены цели и задачи инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях.

Key words: normative documents; engineering geological survey; karst; suffusion; sinkhole; karst hazard; engineering carstology.

Abstract: the article considers terminological problems of engineering karstology, discusses essence of the terms «karst», «suffusion», «karst hazard» and determines goals and objectives of engineering geological survey in karst terrains.

Нормативные документы, которыми изыскатели пользуются в повседневной практике, а экспертиза — для оценки полноты и достоверности технического отчета, достаточно полно охватывают круг вопросов и задач инженерных изысканий на закарстованных территориях, но имеют при этом ряд существенных недостатков: отсутствие полноты терминологической базы, неоднозначность терминов, определений, формулировок целей и задач изысканий, отсутствие требований к обоснованию и точности методов изысканий и конкретных требований к техническому отчету.

Многолетние исследования карста и опыт решения практических задач при проектировании и эксплуатации разнообразных сооружений на закарстованных территориях с расчетом карстовой опасности и противокарстовой защиты промышленных и гражданских сооружений в разных регионах России, Украины и Казахстана позволяют предложить описанную ниже «конструкцию» нормативного документа по инженерным изысканиям на закарстованных территориях. Такой документ, по мнению автора настоящей статьи, должен содержать четыре основных блока: (1) основные термины и определения; (2) цели и задачи изысканий; (3) требования к полевым работам, определение объемов и видов работ во взаимосвязи с характеристиками сооружения; (4) требования к камеральным работам и содержанию технического отчета.

1. Основные термины и определения

Терминологическая основа нормативных документов имеет первостепенное значение — и разработка полного свода терминов является главной задачей, стоящей перед инженерно-геологическим сообществом. Только принятие единой терминологической базы позволит точно сформулировать задачи инженерных изысканий «на карст», обосновать методы, которыми эти задачи должны быть решены, и качественно проверить эти решения.

Проблемы терминологии в карстоведении существуют многие годы и обусловлены рядом объективных причин. Во-первых, карст исследуют различные специалисты: географы, геоморфологи, геологи, гидрогеологи, гидротехники, инженеры-геологи, спелеологи, а также любители природы (которые используют собственную терминологическую базу). Во-вторых, в стране

развивались региональные исследовательские школы, которые в соответствии с кругом своих научных и практических интересов и районов исследований сформировали для себя региональные понятия и термины. Например, пермские карстоведы переотложенную кору выветривания, залегающую на карстующихся породах, называют карстово-обвальными отложениями, а в Дзержинском районе разрушенные и переотложенные карбонатные отложения казанского яруса с дресвой нижележащих сульфатных пород до сих пор выделяются как стратиграфический казанский горизонт.

Даже определение такого на первый взгляд простого понятия, как «карст», в нормативной документации представлено по-разному. Приведем конкретные примеры.

1. СНиП 11-02-96 [18] в п. 6.16 содержит широкий перечень вопросов, на которые следует дать ответы в техническом отчете, но не дает понятия «карст».

2. Часть I СП 11-105-97 [20] не содержит понятия «карст», хотя ставит ряд задач перед изысканиями и предлагает геофизические методы в качестве основных для решения задач геолого-литологического изучения и обнаружения карстовых полостей.

3. Часть II СП 11-105-97 [21] рассматривает карст как «...совокупность геологических процессов и явлений, вызванных растворением подземными и (или) поверхностными водами горных пород и проявляющихся в образовании в них пустот, нарушений структуры и изменении свойств». Далее по тексту перечисляются процессы и явления, сопровождающие карстовый процесс: размыв пород, суффозия, деформации поверхности земли и оснований сооружений, изменения свойств грунтов покрывающей толщи, формирование особого режима подземных и поверхностных вод и специфических форм рельефа. Ниже указывается, что «карстово-суффозионные провалы происходят в результате перемещения фильтрующей водой песчано-глинистого материала из покрывающих пород в карстовые полости и (или) расширенные трещины».

4. СНиП 22-02-2003 [19] рассматривает карст как «комплексный геологический процесс, обусловленный растворением подземными и (или) поверхностными водами горных пород, проявляющийся в их ослаблении, разрушении, образовании пустот и пещер, изменении напряженного состоя-

ния пород, динамики, химического состава и режима подземных и поверхностных вод, в развитии суффозии (механической и химической), эрозий, оседаний, обрушений и провалов грунтов и земной поверхности». Далее указывается: «Карстово-суффозионные процессы — взаимосвязанное развитие карстового процесса и суффозии»; «суффозия — разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и сцементированных обломочных пород, в том числе слагающих структурные элементы скальных массивов».

Очень широкое толкование термина «суффозия» при характеристике карстового процесса не совпадает с пониманием суффозии в грунтоведении. Для справки: в классическом университетском учебнике «Грунтоведение» [5] выделяется несколько видов суффозии: механическая (размыва, контактная, внутрипластовая) и химическая; приводятся особенности проявления видов суффозии.

Нормативные документы, представляя карст как геологический процесс, так и не раскрыли его геологической сущности, а остановились на «механическом» перечислении процессов и явлений, сопровождающих карст.

Полностью поддерживая тезис, что карст является геологическим процессом, автор считает необходимым дать этому некоторые пояснения. Во-первых, карст — это экзогенный процесс, в котором существенную роль играют выветривание, эрозия и растворение пород. Во-вторых, возраст карста, то есть начало карстового процесса, соответствует времени первого выхода растворимых пород на земную поверхность. В-третьих, у карста как геологического процесса есть история геологического развития, в которой неизбежны циклы активизации и затухания.

Становится очевидным, что существует инженерное карстоведение как раздел инженерной геологии, включающий разнообразные направления исследований — от особенностей осадконакопления и формирования структур и текстур карстующихся пород до расчетных схем устойчивости кровли карстовой полости. И существуют инженерно-геологические изыскания для различных стадий под конкретное сооружение или группу сооружений, которые должны решать существенно практические задачи для обеспечения надежного строительства и эксплуатации сооружений.

От инженерных изысканий для проектируемого сооружения на закарстованных территориях нельзя требовать решения всех вопросов и проблем инженерного карстоведения хотя бы в силу того, что в отпущенные сроки и на выделенные средства эти проблемы не могут быть решены.

Терминологическую базу для инженерно-геологических изысканий необходимо формировать таким образом, чтобы при ее максимальной последовательности, определенности и однозначности она позволяла бы сформулировать конкретные задачи для инженерно-геологических изысканий.

Сформулированное ниже понятие карста практически повторяет классические определения. В нем опущены лишь некоторые географические и гидрологические подробности.

Карст — это геологический процесс выветривания, преобразования, эрозии и растворения карстующихся (растворимых) пород с формированием: (1) в толще карстующихся пород — карстовых полостей, трещин растворения, разрушенных зон; (2) на поверхности карстующихся пород — карстово-эрозионных углублений разнообразного морфологического облика и рыхлых отложений (коры выветривания, делювия); (3) в покровной толще — промежуточных полостей и ослабленных зон; (4) на земной поверхности — провалов, локальных оседаний, эрозионно-карстовых элементов.

Растворимость карстующихся пород — это количество вещества (породы), способное раствориться в единице объема воды.

Скорость растворения карстующихся пород — это количество вещества (породы), растворяемого водным потоком на единице площади или объема за единицу времени.

Необходимость включения в терминологическую базу таких терминов, как «растворимость» и «скорость растворения», обусловлена тем, что до сих пор многие инженеры путают эти понятия и принимают разную растворимость пород как разную скорость растворения и скорость развития карста (см. приложение Е и п. 5.2.12 [21]).

Карстовая полость — это локальное пустотное пространство разнообразной морфологии в карстующихся породах.

Заполненная карстовая полость — карстовая полость, заполненная продуктами обрушения или отложениями потока подземных вод.

Разрушенная зона — интервал в карстующихся породах, представленный щебнем, дресвой, мукой карстующихся пород.

Промежуточная полость — полость, образующаяся в покровных отложениях при обрушении кровли карстовой полости или вмывании покровных отложений в карстовую полость через сквозное нарушение в ее кровле (понор, трещину).

Ослабленная зона — зона в покровных отложениях, соответствующая зоне деформаций (обрушения) этих отложений и их ослабления вокруг зоны деформаций (обрушения).

Карстовый провал — деформация (обрушение) карстующихся и покровных отложений с образованием впадины на земной поверхности с известным годом образования.

Карстовая воронка (впадина) — локальная карстовая впадина на земной поверхности с неизвестным годом образования.

Локальное карстовое оседание — локальная впадина на земной поверхности, образовавшаяся без видимых нарушений сплошности земной поверхности.

Проблематичная впадина — локальная впадина, механизм образования которой в момент исследования не установлен.

Механизм образования карстовых провалов — совокупность процессов деформации кровли карстовой полости и покровных отложений, обуславливающих образование на земной поверхности провалов и локальных оседаний.

Диаметр карстового провала:
 d_1 — диаметр внутренней чаши, в пределах которой происходит полная потеря несущей способности грунтов; d_2 — диаметр зоны деформации с видимым нарушением сплошности грунта и малоамплитудными вертикальными смещениями, в пределах которых происходит частичная потеря несущей способности грунтов; d_3 — диаметр ослабленной зоны, характеризующейся уменьшением прочностных свойств грунтов в результате образования провала.

Необходимость введения трех диаметров провала, отображающих различную степень потери несущей способности грунта, обусловлена тем, что при классификации закарстованных территорий [20-22] (табл. 5, 2) и при расчетах (оценках) карстовой опасности учитывается только d_1 , иногда (случайно) — d_2 и никогда —

d_3 . Отсюда следует вывод, что площадь поражения карстовым провалом в практике инженерных изысканий значительно уменьшается, следовательно, карстовая опасность определяется неверно.

Главная проблема инженерных изысканий на закарстованных территориях — это отсутствие четкого понятия карстовой опасности в нормативных документах. Приведем конкретные примеры.

1. СНиП 11-02-96 (приложение А) [18] под опасностью процессов (в том числе и под карстовой опасностью) понимает интенсивность, повторяемость, вероятность и др. природных или техногенных процессов.

2. СП 11-105-97 (п. 5.2.12) [20-22] не содержит понятия карстовой опасности, но предписывает определять вероятность образования провала (или число провалов на км² площади).

3. ТСН 22-308-98 НН [23] дает следующие определения:

- «вероятностная оценка карстовой опасности — выражение опасности воздействия карста через вероятность образования карстовых деформаций за заданный срок (например, за срок службы сооружения) на данной территории (участке расположения сооружения), которые могут вызвать недопустимые деформации сооружений»;
- «карстоопасность (карстовая опасность) — характер и степень воздействия карстопроявлений на грунтовую толщу, которые могут привести к разрушению сооружений, нарушению или затруднению их нормальной эксплуатации»;
- «категория карстовой опасности (устойчивости) территории — характеристика карстоопасности, определяющая условия проведения изысканий, проектирования и эксплуатации сооружений на закарстованной территории и выраженная определенными интервалами значений параметров карстопроявлений или качественными инженерно-геологическими характеристиками».

4. СНиП 22-02-2003 [19] излагает требования к противокарстовой защите, но не определяет понятия карстовой опасности.

Вышеизложенное не требует подробных комментариев, но позволяет сделать вывод, что понятие карстовой опасности до сих пор не определено, что и обуславливает простое перечисление в нормативных документах всех известных методов исследова-

ний, характеристик закарстованности и карстопроявлений без какой-либо последовательности и обоснования их необходимости и применимости, то есть по принципу «что-нибудь да пригодится». Отсутствие перечня конкретных задач, стоящих перед изысканиями на закарстованных территориях, обуславливает путаницу при планировании изысканий и отсутствие взаимопонимания между изыскателем и экспертизой. Именно поэтому понятие карстовой опасности является принципиально главным при совершенствовании нормативной документации. Оно не может рассматриваться вне условий воздействия карста на сооружение или на группу сооружений, не является синонимом интенсивности процесса или плотности карстовых форм и применимо только в рамках геотехнической системы или системы «карст — сооружение».

Автором предлагается следующее определение понятия карстовой опасности: **карстовая опасность** — это *вероятность поражения сооружения карстовым провалом (карстовой деформацией)*, которая является расчетной величиной, определяемой по формуле $P_c = \lambda_c S_c T_c$ (где λ_c — интенсивность образования провалов в шт./км²×год, рассчитанная для площадки сооружения; S_c — площадь поражения в км²; T_c — расчетный срок службы сооружения в годах). Кажущаяся простота приведенной формулы не означает простоты обеспечения ее решения.

Как правило, изыскатель, выполняющий районирование территории или используя имеющиеся данные, может получить *среднюю интенсивность провалообразования* для какого-либо района (участка), в пределах которого располагается площадка проектируемого сооружения. Площадь такого района или участка может быть значительна (несколько км² и более).

Из практики изысканий известно, что неоднородность геологического строения и неравномерность распределения карстовых форм таковы, что в пределах одного выделенного района (участка) со средними характеристиками карста существуют площадки с благоприятными условиями для строительства и площадки, на которых строить нельзя.

Изыскатель, используя карстологическую карту районирования (схематическую геологическую карту с выделенными эрозионно-структурными элементами, с нанесенными подзем-

ными и поверхностными формами, границами участков), должен выполнить расчет интенсивности именно для площадки строительства. Для таких расчетов применяются в основном методы учета неравномерности распределения подземных и поверхностных карстовых форм.

Не прост и вопрос определения *площади поражения* (площади, образование провала в пределах которой обусловит воздействие провала на сооружение и/или грунты основания сооружения). Общая схема расчета площади поражения была удачно сформулирована М.С. Школьниковым еще в 1967 году, которому и принадлежит пальма первенства во внедрении в практику изысканий вероятностных расчетов карстовой опасности. К сожалению, эти разработки незаслуженно забыты, хотя рекомендации [14] и [15] актуальны для использования в практике изысканий и в настоящее время.

В общем случае, площадь поражения сооружения провалом диаметром d_i определяется как площадь сооружения плюс площадь вокруг сооружения в виде полосы шириной $d_i/2$. При этом, если учесть, что провал характеризуется тремя диаметрами с различными степенями потери несущей способности грунта, а морфологические особенности провалов обуславливают разнообразные соотношения этих диаметров, расчет вероятности поражения сооружения карстовым провалом превращается в увлекательную инженерную задачу.

2. Основные цели и задачи инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях

Приведенные выше термины и определения помогают точно сформулировать цель инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях.

Цель изысканий — получение достоверных данных об условиях развития карста и его современной активности с определением вероятности поражения сооружения карстовым провалом.

В соответствии с указанной целью можно конкретизировать задачи и объемы изысканий применительно к проектируемому сооружению.

Основные задачи изысканий на объекте:

1) определение (уточнение) геологического строения площадки проектируемого строительства с точ-

ностью установления геологических и литологических границ до 0,1–0,5 м; определение основных гидрогеологических условий;

2) определение литологии карстующихся и покровных пород, структурно-текстурных особенностей пород;

3) оценка степени разрушенности и пустотности карстующихся пород;

4) оценка глубины активного развития карста;

5) обнаружение карстовых полостей;

6) определение размеров (объемов) обнаруженных карстовых полостей;

7) оценка степени опасности обнаруженных карстовых полостей;

8) оценка вероятности нахождения опасных карстовых полостей в пределах площадки проектируемого строительства;

9) карстологическая съемка (рекогносцировка);

10) определение интенсивности провалообразования;

11) определение характеристик поверхностных карстовых форм;

12) определение (расчет) среднего и максимального диаметров карстового провала;

13) расчет вероятности поражения сооружения карстовым провалом;

14) разработка рекомендаций по противокарстовой защите сооружения.

3. Требования к полевым работам, определение объемов и видов работ во взаимосвязи с характеристиками сооружения

Объемы и виды полевых работ основываются в программе изысканий, которая должна являться *обязательным приложением* к техническому отчету.

Виды полевых работ:

1) *буровые работы* (основной метод) — колонковое бурение укороченными рейсами (0,5–2,0 м) с полным отбором керна (по песчаным аллювиальным отложениям допускается бурение без отбора керна) и отбором проб карстовых и трещинно-карстовых вод на стандартный химический анализ (глубина бурения — ниже зоны активного развития карста не менее чем на 3–5 м);

2) *гидрогеологические работы* — налиты в скважины в интервалы коренных покровных отложений и карстующихся пород для определения относительной водопроницаемости;

3) *геофизические работы* (вспомогательный метод) — применяются с обоснованием технических возможно-

стей и надежности решения задач изысканий;

4) *картологическая съемка* (рекогносцировка) — обследование площадки проектируемого строительства и прилегающих территорий для выявления поверхностных впадин, определения их морфологических и генетических характеристик и анализ топографических планов различных масштабов и возрастов.

Объемы полевых работ: количество скважин «на карст» предлагается определять с учетом интенсивности провалообразования, размеров и уровня ответственности сооружений (см. таблицу).

4. Требования к камеральным работам и содержанию технического отчета

Технический отчет должен содержать:

1) детальное описание керна, характеристику пустотного пространства и разрушенных зон с учетом особенностей буровых работ (скорости проходки, поглощения промывочной жидкости, ускоренной проходки, погружения и падения бурового снаряда);

2) расчет объемов полостей, оценку степени их опасности (то есть возможности выхода карстовой полости на земную поверхность в виде карстового провала за расчетный срок службы сооружения);

3) оценку возможного нахождения опасных карстовых полостей на площадке проектируемого строительства, когда буровыми работами не вскрыты полости в карстующихся породах;

4) анализ результатов инженерных изысканий и выявление погребенных карстовых и проблематичных форм, разуплотненных зон (с обоснованием воздействия карстового процесса);

5) картологический план (карту фактических материалов) территории площадью не менее 1 км² (в центре плана — проектируемое сооружение) с карстовыми провалами, воронками, локальными оседаниями, проблематичными впадинами и разведочными скважинами (архивными и пробуренными на объекте) масштаба 1:2000-1:5000, который составляется по архивным данным, топографическим планам разных масштабов и разных лет, по результатам картологического обследования (картологической съемки) с определением (расчетом) следующих параметров:

- плотности карстовых и проблематичных форм в шт./км²;

- интенсивности провалообразования в шт./км²×год;
- размеров карстовых и проблематичных впадин;
- детальных характеристик карстовых провалов;

6) определение механизма провалообразования;

7) расчет среднего диаметра и максимального диаметра провала по результатам картологических съемок и/или с использованием геомеханических моделей;

8) расчет вероятности поражения сооружения карстовым провалом;

9) рекомендации по противокарстовой защите сооружения.

Заключение

Нормативные документы по инженерно-геологическим изысканиям на

закарстованных территориях нуждаются в рациональном обновлении, особенно в части задач, стоящих перед инженерными изысканиями. Такое обновление и корреляция основных нормативных положений с международными стандартами требуют совершенствования терминологической базы инженерного карстоведения и точного определения такого понятия, как «карстовая опасность». Предложенный в настоящей статье подход к решению обсуждаемых проблем позволяет добиться определенности и ясности в постановке и способах решения задач инженерных изысканий, в прогнозе карстовой опасности, в выборе способов и объемов противокарстовой защиты, обеспечивая тем самым повышение надежности проектируемых и эксплуатируемых сооружений. ♣

Список литературы

1. Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика. М.: Мысль, 1972. 392 с.
2. Геологический словарь. В 2 т. Т. 2. М.: Гос. науч.-техн. изд-во по геологии и охране недр, 1960. 445 с.
3. Геологический словарь. В 2 т. Т. 2. М.: Недра, 1978. 456 с.
4. Горная энциклопедия. В 5 т. Т. 5. М.: Советская энциклопедия, 1991. 541 с.
5. Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. 6-е изд. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1023 с.
6. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1983. 328 с.
7. Коломенский Н.В. Специальная инженерная геология. 2-е изд. М.: Недра, 1969. 336 с.
8. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
9. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т. I. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1963. 444 с.
10. Нещеткин О.Б. Терминологические проблемы инженерного карстоведения: Материалы международного симпозиума «Карстование — XXI век: теоретическое и практическое значение». Пермь, 2004. С. 198-201.
11. Печеркин А.И., Закоптелов В.Е. Карст и суффозия на берегах водохранилищ: учебное пособие по спецкурсу. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1982. 88 с.
12. Печеркин А.И., Печеркин А.И. Вопросы теории и методики изучения техногенного карста: Тезисы докладов регионального совещания 6-8 декабря 1988 г. в г. Кунгуре. Кунгур, 1988. С. 5-6.
13. Попов И.В. Инженерная геология. М.: Гос. изд-во геолог. лит-ры, 1951. 443 с.
14. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР. М.: ПНИИИС, 1967.
15. Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР. М.: ПНИИИС, 1967.
16. Сергеев Е.М. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1978. 384 с.
17. Словарь по гидрогеологии: учебно-методическое пособие. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2002. 336 с.
18. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М., 1997.
19. СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. М., 2003.
20. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ. М., 1997.
21. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М., 2000.
22. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. М., 2000.
23. ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области.
24. Neshchetkin O. Sinkhole development models for the covered sulphate karst conditions // Proc. of the 8th Int. Congr. IAEG 21-25 Sept. 1998 in Vancouver. Vancouver, Canada: Balkema, 1998. P. 2185-2192.