

УДК 624.131.3

**О КАРСТООПАСНОСТИ  
И ПРОТИВОКАРСТОВОЙ ЗАЩИТЕ ОСНОВАНИЙ  
И ФУНДАМЕНТОВ**

**Мулюков Э.И., Урманшина Н.Э., Галимнурова О.В.**  
*ФГ БОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной  
технический университет»*

Рассматривается строительное карстоведение, включающее растворимость пород, инженерно-геологические условия г. Уфы (как пример закарстованных территорий), карстоопасность территорий и противокарстовая защита оснований и фундаментов. Впервые сформулирован закон строительного карстоведения.

The article reveals the study of karst construction, including the rock solubility, geological and engineering conditions of Ufa city (as an example of karsted territories), karst danger of territories, anti-karst protection of bases and foundations are also given here. For the first time the law of karst construction study is formulated.

**Введение.** Карстоопасность и противокарстовая защита оснований и фундаментов при освоении и эксплуатации закарстованных территорий является предметом *строительного карстоведения* – нового направления в инженерной геологии.

Проектировщики Башкирии впервые с проблемами строительного освоения закарстованных территорий соприкоснулись в 1969 г. в связи с отказами оснований по «вине» карста и с необходимостью вынужденного усиления фундаментов [1,2, 3].

В Башкирии за более чем 40-летний период, накоплен опыт изысканий, проектирования, мониторинга и оценки «поведения» объектов на закарстованных территориях, что послужило материалом для региональных нормативных документов [ВСН 2 -86.РБ, ТСН 302-50-95.РБ, РСН 1-91.РБ], а также для разработки соответствующих изобретений по конструктивной защите фундаментов.

**Растворимость пород.** Карстующиеся породы прежде всего выделяются по степени растворимости в воде. Их растворимость  $q_{sr}$  изменяется в диапазоне более пяти порядков:  $0,01 \leq q_{sr} < 357$  г/л. Этот основной параметр предопределяет и диапазон карстовых денудаций в недрах в широком интервале:  $0 \rightarrow \infty$ , т. е. от незначительных осадок основания до провала.

Незначительные деформации основания, как результат кластокарста в глинистых грунтах, включающих растворимые фракции, соизмеримы с величиной закономерной осадки обычного грунтового основания при дополнительном давлении фундамента и обнаруживаются своей неравномерностью. При этом ленточные фундаменты и несущие стены здания в условиях кластокарста «потрескивают» со спорадическим развитием трещин малого раскрытия.

Растворение пород, как результат контакта с карстовыми проточными водами, происходит по *Д.С. Соколову* [4], т.е. при наличии пяти обязательных условий, но с учетом и шестого дополнительно антропогенного фактора [5].

Скорость растворения породы пропорциональна площади контактирующей поверхности с водой, т. е. увеличивается при каверности, трещиноватости, дисперсности и иного развития скважности. Естественно, растворение зависит от режима движения подземной воды, ее минерализации и температуры, наличия в ней тонкозернистых нерастворимых коллоидных частиц грунта,  $pH$  среды, растворенных химикатов и др. факторов [6].

Растворимость карбонатов в воде составляет всего-то 0,07 г/л. Этот показатель труднорастворимости породы нами объясняется прочностью ковалентных связей в кристалле и плотной упакованностью его решетки. За период существования здания (150-200 лет) в пятне застройки в толщах карбонатных пород в приповерхностных осадочных отложениях, часто переслаивающихся с глинами, новые полости не могут сформироваться и тем более пробиться провалом вверх в зону основания фундамента.

Сульфаты, имеющие более слабые ионные связи в кристалле, имеют растворимость в диапазоне 2...160 г/л, т. е. являются средне – и легкорастворимыми. Под основанием фундамента в покрывающих толщах могут возникнуть за инженерное время новые разуплотненные зоны благодаря растворению и гравитации в результате карстопроявления в ниже залегающих сульфатах в виде проседаний разной величины либо даже провала. При таком прогнозе нужны осмотрительность и принятие упреждающих мер по защите сульфатов от растворения, что позволит исключить сверхнормативные осадки основания. При ожидаемых значительных деформациях основания вплоть до проседания и даже провала в сульфатах и в покрывающих толщах дополнительно фундаменту и соответствующим наземным несущим конструкциям придают свойство срабатываемости на возникшую особую карстовую нагрузку. Например, дискретный сборный ленточный фундамент мелкого заложения можно превратить при его закладке в балку-стенку, перекрывающую возникший впоследствии провал (проседание) по нашему изобретению № 2397292.

Галоиды – лидеры по растворимости ( $\approx 357$ г/л) обязательно требуют реализации особых мер защиты. В галоидах тоже ионный тип связи в рыхлой решетке, которая имеет самую простую сингонию кристалла в виде простейшего куба с ионами натрия и хлора в углах и узлах решетки. Территории, подстилаемые скоротечно растворяющимися галитами, малоперспективны к строительному освоению и чреватые значительным ущербом и затратами на реставрацию аварийно поврежденных объектов, что имело место в Березниках Пермского края. Упреждающая конструктивная противокарстовая защита фундамента и остова здания (сооружения) должна быть экономически обоснована.

**Инженерно-геологические условия г. Уфы.** Город Уфа расположен в междуречье Белой, Уфы и Демы. Его центральная часть размещена на водораздельном приподнятом плато (на отм.  $\approx 120...190$  м), представляющем собой сохранившийся от размыва останец верхнепермских отложений. Ширина плато изменяется от 4 до 10 км и представляет вытянутый «полуостров» длиной 17 км, омываемый с трех сторон реками. В геологическом строении территории участвуют следующие нижеупомянутые отложения. Сверху *уфимский ярус*, представленный переслаиванием песчаников, алев-

ролитов и аргиллитоподобных глин, известняков и мергелей, разрушенных известняков и известковистых глин в основании (соликамский горизонт) общей мощностью от 30...40 до 60...80 м. Эти отложения нерастворимых и труднорастворимых пород в виде линз и прослоек образуют водонепроницаемый экран по документальным данным инженерно-геологических изысканий и согласно публикациям [7].

Уфимский ярус повсеместно подстилается гипсово-ангидритовой толщей *кунгурского яруса*. В пределах междуречья уфимский ярус на значительных площадях перекрыт чехлом акчагыльских и общесыртовых глин мощностью от 5...10 до 30...40 м и четвертичных делювиальных суглинков мощностью до 10 м. В долинах рек уфимский ярус почти полностью размыт и четвертичные аллювиальные песчано-гравийно-галечные отложения и кинельские глины с размывом ложатся на гипсово-ангидритовую толщу кунгурского яруса и полностью выполняют палеоруслу р. Белой и Уфы, имевших глубину вреза 80...120 м.

Уфимский ярус богат древними подземными и поверхностными карстовыми формами, образовавшимися в минувшие геологические периоды, в эпохи континентальных процессов, во времена затопления. В «сухое» время эти древние карстовые формы оказались в основном погребенными за счет грунтовых наносов разной мощности (0,3...5 м) [7, 8].

Гидрогеологическая обстановка «полуострова» представлена двумя уровнями воды – верхним и единым нижним. На отм. 170...190 м находится верхний уровень инфильтрационных вод, состоящих из атмосферных осадков, поступающих в зону аэрации гидросферы и достигающих уровня грунтовых вод, т.е. верховодки. Вода этого уровня увлажняет поверхностный слой грунта, расходуется на испарение, склоновое стекание и увлажнение (подтопление) техногенных грунтов, вмещающихся в локальные формы, такие как древние воронки, проседания, поноры, логи и овраги, ныне оказавшиеся подземными.

Вторым источником восполнения верховодки являются антропогенные факторы, определяющим из которых являются утечки, проливы, смывы техногенных вод [9, 10]. Антропогенные воды ускоряют подземные процессы в 80...100 раз против естественных природных скоростей [11].

На отм.  $\approx 80$  м находятся единая уровенная поверхность и единая область разгрузки и питания вышеназванных трех рек в зоне кунгурского яруса на окраинной пониженной городской территории.

Вышеназванные малые реки формируют бассейн реки Кама, обводняют сульфатные породы кунгурского яруса и не имеют «отношения» к карбонатным толщам уфимского яруса.

Таким образом, в центре Уфы на высоких отметках и на склонах иногда наблюдаются условия для развития сверхнормативных деформаций оснований осадочно-оползневого типа в условиях верховодки, *подтопляющей насыпные толщи* в объемах палеооврагов и палеокарстовых форм останца [4, 9, 12]. Причина деформаций зданий заключается в переувлажнении грунтов и снижении прочностных и повышении деформационных параметров.

Строго цилиндрические же виртуально-мифические провалы в современную эпоху голоцена, «просверленные» через рассматриваемые сухие карбонатно-глинистые толщи, в т. ч. в сводах палеополостей, не могут зародиться на уфимском останце и реализоваться из-за отсутствия трех обязательных условий для развития карста, т. е. скважности пород, наличия воды и ее проточности.

В кургурском ярусе на отм.  $\approx 80$  м налицо все 5 обязательных, а также шестое антропогенное, условия для развития сульфатного карста с проявлением поверхностных проседаний и иных деформаций, в т. ч. с образованием провалов, что и подтверждается в действительности многолетними наблюдениями. Что касается галогенных (соляных) пород, то они в Башкирии, в т.ч. в рассмотренных толщах, практически отсутствуют [13].

**Карстоопасность территорий.** Предтеча карстоопасности заключается в растворимости пород, обладающих скважностью. Второй субстанцией карстового процесса является вода с коррозионной способностью, т. е. с низкой минерализацией. Сопутствующим является проточный режим подземных вод как пятый фактор. Кроме того, как выше отмечено, на карст влияет внешний шестой антропогенный фактор, который активизирует либо пассивирует природный карстово-суффозионный процесс. Например, водозабор подземных вод с прилегающей территории, подтопление в результате строительства гидротехнических объектов (водохранилищ) и др., либо, наоборот, водопонижение, осушение территорий.

Считается, что «свежие» крупные полости в карбонатных породах, перекрытых толщей нерастворимых водонепроницаемых напластований, возникнуть не могут под воздействием техногенных факторов [10], что подтверждается и на уфимском останце.

Растворимость пород принята за главный фактор, как определяющий устойчивую работу либо отказ основания нефтепроводов и в других регионах [14].

Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (№ 384-ФЗ) законодательно предписывает учитывать опасные природные процессы и явления (ст. 2.12). Однако карст в этом законе отнесен к числу *«иных негативных воздействий»* на здания и сооружения. Это перекликается с нашим мнением в том плане, что опасность карста *порой преувеличена* особенно в условиях карбонатно-глинистых переслаивающихся толщ, как это имеет место на уфимском вышеописанном карстовом косогоре (останце).

Представляет интерес обобщение мирового опыта классификаций территорий (12 стран) по степени карстоопасности [15]. Оказалось, что ни в одной из 17 классификаций не названы таксоны, касающиеся сущности именно физико-химического процесса растворения породы. Все классификации базируются на уже свершившихся максимальных карстовых событиях: провалы и их частота, вербальная оценка, вероятность карстопроявлений, балльная оценка.

Считается [15], что *«существующая в настоящее время официальная классификация закарстованных территорий по интенсивности ... и диаметрам провалов позволяет оценить вероятность поражения ... или ... повреждения сооружения за заданное время, ... соизмеримое с расчетным сроком службы большинства сооружений. Именно эти величины ... могут быть объективными критериями категорий карстоопасности»*. Авторы цитаты оперируют только с конечным максимальным значением вышеназванного интервала карстовых деформаций, т. е. только с провалом, умалчивая растворимость породы и широкий диапазон величины деформаций основания и земной поверхности.

**Противокарстовая защита (ПКЗ).** Мероприятия по ПКЗ оснований и фундаментов предусматривают на территориях, в геологическом строении которых наблюдаются пять обязательных условий для развития карста и возможность влияния на процесс шестого

условия – антропогенного фактора. При этом учитывают прогнозную оценку изменения природных условий либо проявления антропогенного фактора, ускоряющего развитие карста в конкретных породах в заданный срок.

Противокарстовая защита рассматривается в двух направлениях:

1) Защита грунтов основания от растворения в течение всего прогнозного периода эксплуатации путем планировочных, водозащитных и противофильтрационных, геотехнических и эксплуатационных мер.

2) Придание собственно фундаменту и при необходимости наземным несущим конструкциям жесткости и геометрической неизменяемости при возникновении особой карстовой нагрузки путем введения дополнительной конструктивной защиты, срабатывающей только при отказе основания и находившейся в резерве на случай отказа основания.

Однако в нормативном документе указано, что основным расчетным параметром при проектировании ПКЗ сооружения является расчетный диаметр карстового провала [16]. Следует добавить в соответствии с вышеизложенным, что должны быть учтены растворимость породы и возможная в ожидаемом интервале деформация основания. Большое защитное влияние оказывают покрывающие толщи водоупорных нерастворимых пород в качестве противофильтрационных экранов.

**Закон строительного карстования.** Вышеизложенное позволило впервые сформулировать закон строительного карстования:

«Состав, строение, свойства и режим растворения карстующихся пород предопределяются их генезисом и наличием пяти обязательных природных условий активизации карста: порода, ее скважность, вода, ее минерализованность и проточность. Его пассивация происходит при отсутствии одного любого из этих пяти условий. Карст воспринимает и антропогенный (шестой) фактор, характеризуется подземными и поверхностными проявлениями, является естественным динамичным состоянием земной коры и требует прогноза дальнейшего его развития и принятия при необходимости упреждающих противокарстовых мероприятий для снижения риска в строительной деятельности».

Закон нацеливает на необходимость обоснованно подходить к проблеме застройки закарстованных территорий, с позиций стро-

ительного карстования, выбирать методы целесообразной противокарстовой защиты.

В заключение смею отметить, что противокарстовые мероприятия относительно основания и конструктивная защита фундаментов и остова здания нами рассматривается как творчески-аналитическая работа специалистов по оценке природной карстовой обстановки и по принятию адекватных технических, часто комплексных решений, синтезирующих профессиональные замыслы инженера-геолога и инженера-строителя, учитывающие и положения закона строительного карстования.

Вышеприведенная многоплановая научно-производственная деятельность авторов реализована на практике благодаря творческому сотрудничеству между специалистами БашНИИСтроя, ЗапУралТИСИЗ'а, Башкиргражданпроекта, АСФ УГНТУ и подрядных строительных организаций в составе бывшего Главбашстроя.

## **Литература**

1. Мартин, В.И. Об опыте изысканий, проектирования строительства и усиления фундаментов зданий на закарстованных территориях / В.И. Мартин, Э.И. Мулюков, Г.С. Колесник // Инженерная геология. – 1983. – № 4. – С. 63–71.

2. Опыт строительства промышленных и гражданских зданий на закарстованных территориях Башкирии / Э.И. Мулюков [и др.] // Противокарст. защ. объект. стр-ва: Мат-лы Всесоюзн. науч.-техн. совещ. – Куйбышев : КуИСИ, 1990. – С. 25–28

3. Мулюков, Э.И. История строительства и ликвидации здания, построенного на палеокарстовых воронках / Э.И. Мулюков, Н.Э. Урманшина, Г.С. Колесник // Труды науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию БашНИИСтроя. – Уфа, БашНИИСтрой. – 2006. – Т.2. – С. 98–106.

4. Соколов, Д.С. Основные условия развития карста / Д.С. Соколов // Бюлл. МОИП, отд. геол. – 1951. – №2.

5. Мулюков, Э.И. О карстомониторинге и обязательных условиях развития карстового процесса / Э.И. Мулюков // Расчет и проектир. осн. и фонд. в сложн. инж.-геол. усл. – Воронеж : ВГА-СА, 1999. – С. 99–101.



6. Мулюков, Э.И. Об инженерно-строительной карстологии / Э.И. Мулюков, Н.Э. Урманшина // Тр. межд. конф. по геотехнике: геотехн. проблемы мегаполисов : в 5 т. – М. : НИИОСП, ПИ «Геореконструкция», – 2010. – Т. 4. – С. 1891–1896.

7. Смирнов, А.И. Типы карста и современная активность его развития на Южном Урале и в Предуралье / А.И. Смирнов // Мат-лы межд. симпоз. Карстоведение – XXI век: Теоретическое и практическое значение. – Пермь : Пермгосуниверситет, 2004. – С. 90–94.

8. Травкин, А.И. Прогноз карстоопасности и районирование закарстованных территорий на примере центральной части г. Уфы : автореф. дис. ... канд. / А.И. Травкин. – М. : ПНИИИС. 1989. – 21 с.

9. Мартин, В.И. Антропогенная активизация карста и противокарстовая защита / В.И. Мартин, А.И. Травкин, Э.И. Мулюков // Инж. геол. карста: Докл. межд. симпоз. : в 2 т. – Пермь : изд. Перм. ун-та, 1993. – Т. 1. – С. 336–343.

10. Кожевникова, В.Н. Методика оценки устойчивости закарстованных территорий / В.Н. Кожевникова // Инженерная геология, 1984. – № 2. – С. 26–40.

11. Newton, J. Induced sinkholes: An engineering problem / J. Newton // J. Irrigation and Drainage Division./ Proc. Amer. Soc. Civil Engineers. – New York, 1981. – Vol. 107. – №2. – P. 175–185.

12. Мулюков, Э.И. О карстовом процессе и строительном освоении закарстованных территорий (на территории Башкирии) / Э.И. Мулюков // Осн., фонд. и мех. Грунтов. – 1998. – № 1. – С. 16–19.

13. Атлас Республики Башкортостан. – Уфа : Китап, 2005. – 420 с.

14. Методика инженерно-геологического районирования на основе балльной оценки классификационного признака / В.В. Середин [и др.] // Инженерная геология. – 2011. – Сентябрь. – С. 20–25.

15. Толмачев, В.В. Еще раз о классифицировании закарстованных территорий по степени их опасности / В.В. Толмачев, М.В. Леоненко // Мат-лы межд. симпоз. Карстоведение – XXI век: Теорет. и практ. значение. – Пермь : Пермгосунивер, 2004. – С. 230–234.

16. СП 22. 13330. 2011. Основания зданий и сооружений. – М. : Минрегион, 2010. – 162 с.