

ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМ ИНЖЕНЕРНОГО КАРСТОВЕДЕНИЯ



mvleonenko@mail.ru

В октябре 2017 года в Дзержинске в формате круглого стола состоялось обсуждение насущных проблем инженерно-строительного освоения закарстованных территорий. Полагаем, что мнение принимавших участие в этом мероприятии специалистов в области инженерного карстоведения будет интересно исследователям и практикам, занимающимся вопросами оценки природно-техногенного риска и защиты сооружений от опасных природных процессов.

Данная публикация имеет целью донести позицию специалистов в области инженерного карстоведения не только до широкого круга изыскателей и проектировщиков, но и до заинтересованных представителей соответствующих органов власти и заказчиков.

16 мая 2018 года в рамках шестой секции форума «Великие реки – 2018» в Нижнем Новгороде по инициативе «ОИИС» (Нижний Новгород) состоится круглый стол на тему «Вопросы карста в современной строительной нормативной документации». В преддверии этого события и публикуется настоящий обзор.

Толмачев Владимир Викторович

Профессор кафедры ЮНЕСКО ННГАСУ, научный консультант ООО «Противокарстовая и береговая защита», к.т.н.

Леоненко Михаил Васильевич

Директор ООО «Дзержинская карстовая лаборатория», к.г.-м.н.

mvleonenko@mail.ru

5 октября 2017 года в Дзержинске состоялся круглый стол, посвященный вопросам инженерного карстоведения. На обсуждение специалистов, присутствовавших на «круглом столе», были предложены следующие темы:

- Понятие «устойчивое развитие» при хозяйственном освоении закарстованных территорий в России.
- «Карстовые риски» и их использование в проектно-изыскательской практике.
- Причины аварийных ситуаций в карстовых районах.
- Практика применения существующих нормативно-методических документов при строительстве в карстовых районах.

Кроме того, в ходе дискуссии были затронуты некоторые другие вопросы инженерного карстоведения. В частности, были обсуждены спорные термины в инженерном карстоведении, некоторые выявленные феномены в карстопроявлениях, а также неоднозначная роль экспертных органов в проектно-изыскательской деятельности при строительстве в карстовых районах.

Такого рода круглый стол по предложенной тематике проводился впервые. Он был организован в соответствие с планом Международной кафедры ЮНЕСКО при Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете и приурочен к восьмидесятилетию профессора этого вуза Владимира Викторовича Толмачева. Следует отметить, что организацию мероприятия взяли на себя ООО «Призма» (Нижний Новгород) и ООО «Противокарстовая и береговая защита» (Дзержинск). В работе круглого стола приняли участие 8 организаций и 23 специалиста (*см. участники круглого стола*).

Как отметил в своем вступительном слове В.В. Толмачев, в настоящее время системное обсуждение проблем инженерно-строительного освоения закарстованных территорий в России настоятельно диктуется следующими обстоятельствами:

- Необходим регулярный анализ особенностей развития инженерного карстоведения в нашей стране и за рубежом. Игнорирование этого приводит к недостаточной эффективности исследований, нарушению принципов ООН «устойчивого развития» территорий и, в конечном счете, к негативным последствиям социального, экономического и экологического характера (с учетом потребностей **настоящего и будущих поколений**).
- Нередко нарушаются требования Федеральных законов России (в первую очередь, «О техническом регулировании» (184-ФЗ), «Градостроительный кодекс Российской Федерации» (190-ФЗ), «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (384-ФЗ), «Об охране окружающей среды» (7-ФЗ). **Особенно это касается оценки природных рисков и применения их в инженерной практике.**
- В настоящее время имеет место слишком частое и, к сожалению, **недостаточно обоснованное обновление строительных нормативов** федерального и ведомственного характера. Это нередко происходит без должного обсуждения этих нормативов со специалистами в области инженерного карстоведения.
- Как правило, **причины аварийных ситуаций** не доводятся до инженерной общественности. В результате, они регулярно повторяются и становятся даже «типовыми».
- Крайне полезно тесное **творческое взаимодействие** специалистов-«карстовиков». Например, это стало актуальным для многих специализированных («карстовых») организаций Дзержинска. В настоящее время их насчитывается не менее пяти!

Дискуссия

После вступительного слова началась дискуссия, которая продолжалась под руководством профессора Виктора Петровича Хоменко около 4 часов.

В самом начале обсуждения В.В. Толмачев обратил внимание участников на декларируемое в ряде Федеральных законов РФ понятие «**устойчивое развитие**» (принятое ООН еще 30 лет назад как «sustainable development (*англ*) – «постоянно поддерживаемое развитие»). В нашей стране оба этих термина часто употребляются как синонимы, что не совсем верно. Так, применительно к карстовым районам, термин «постоянно поддерживаемое развитие» отражает суть дела в большей степени [Karst management, 2011]. Более того, применительно к карстовым районам это имеет конкретный практический и даже «инженерный» смысл. Эту точку зрения В.В. Толмачев изложил в специальной статье [Толмачев, 2014]. По его мнению, понятие «устойчивое, или «поддерживаемое» развитие» (с одной стороны) и понятие «риск опасных природных процессов» (с другой стороны) имеют общую «триединую» позицию, включающую социальный, экономический и экологический аспекты. Для некоторых объектов (например, АЭС, высокоскоростные железные дороги, крупные мосты, магистральные трубопроводы и т.п.) это понятие может иметь даже **политический** аспект. Выступавший также обратил внимание на то, что понятие «устойчивое развитие» в ряде публикаций и даже в нормативных документах имеет просто декларативный характер и часто превращается в «модное словосочетание».

В.П. Хоменко высказал мнение, что наиболее актуальным принципом «устойчивого» развития при инженерно-строительном освоении закарстованных территорий (из упомянутой статьи В.В. Толмачева) является принцип недопустимости перекладывания на плечи будущих поколений проблемы безопасности конкретных строительных объектов и сохранности окружающей среды.

В связи с этим В.В. Толмачев привел примеры последствий нарушения некоторых принципов устойчивого развития: катастрофическое разрушение промышленного здания на заводе «Дзержинскхиммаш» (1992), разрушение здания хранения хлора на Ново-Сормовской водопроводной станции (1993), недопустимые деформации общественного здания в Уфе (1979), промышленного здания в Туле (2005), а также жилого дома в Дзержинске (2017). Он также напомнил о ситуации, связанной с многолетним загрязнением геологической среды на известном объекте «Черная дыра» в закарстованной зоне Дзержинска.

В связи с этим участники дискуссии подчеркнули, что недавно ушедший из жизни известный инженер-карстолог профессор Э.И. Мулюков (Уфа) неоднократно указывал, что тщательный анализ причин аварий и их учет в проектно-изыскательской практике являются наиболее эффективным условием обеспечения безопасного строительного освоения закарстованных территорий. К сожалению, названное обстоятельство крайне редко используется на практике не только застройщиками, специалистами проектно-изыскательских организаций, но и органами власти, ответственными за безопасность.

Положения Федеральных законов, требующие учитывать **риски и их допустимые значения** на территориях, подверженных опасным процессам, часто не развиваются в подзаконных документах (Сводах правил, Стандартах и т.п.). Это относится и к карстоопасным территориям, где понятие «карстовые риски» позволяет принципиально решать многие инженерные и экономические задачи. К числу их можно отнести, например, следующие: сравнение вариантов размещения сооружений, назначение параметров проектирования защитных мероприятий, страхование сооружений с учетом карстовых

рисков, оценка эффективности охраны окружающей среды. Как ни странно, несмотря на явно выраженный вероятностный характер аварийных ситуаций в карстовых районах, в России нет ни одного примера специального страхования на «карстовые риски». Следует отметить, что в некоторых штатах США такое страхование является обязательным, а практика показала целесообразность этого мероприятия. У нас, напротив, сложилась такая ситуация, что требования Федеральных законов относительно применения в проектно-строительной деятельности понятий рисков опасных природных процессов часто не реализуются (или игнорируются) на практике даже такими органами, как, например, Государственная экспертиза проектов.

Конечно, решение проблемы **назначения** допустимых (приемлемых) рисков (применительно к карстоопасным территориям) являются достаточно сложным. Это потребует проведения **целенаправленных исследований и обобщений**. По мнению В.В. Толмачева, эти исследования целесообразно проводить под эгидой РАН, Минстроя и МЧС России с учетом специфики развития инженерного карстоведения в разных регионах.

В последнее время в ряде регионов можно отметить попытки найти решения названной проблемы при эксплуатации железнодорожных линий, проектировании АЭС и других ответственных объектов. Целесообразно проанализировать и обобщить этот опыт, например, в рамках специального научно-практического семинара.

Оценка параметров карстовых рисков

В.В. Толмачев в ходе дискуссии обратил внимание участников на несколько обстоятельств, которые следует учитывать при оценке некоторых параметров карстовых рисков:

- В случае определения вероятности провалообразования с использованием распределения вероятностей редких событий (Пуассона) необходимо учитывать только те провальные карстопроявления, которые можно считать практически независимыми между собой.
- При техногенных воздействиях, значительно влияющих на процесс провалообразования, следует корректировать значение вероятности провалообразования, полученное на основе расчетно-статистических или детерминистических моделей. При этом нужно учитывать вероятные механизмы провалообразования, зависящие от конкретных техногенных воздействий.
- При определении площади сооружения следует принимать во внимание площадь сооружения в целом, а не отдельных его элементов. Кроме того, особый подход необходим для линейных бесфундаментных объектов (например, трубопроводов, земляного полотна железных дорог).
- При карстологической съемке целесообразно дифференцировать поверхностные карстопроявления по их видам (провальные воронки, «карстовые просадки», локальные и общие оседания и т.д.). Это связано с тем, что раздельный учет этих карстопроявлений позволяет с большей объективностью (в том числе, экспертно) прогнозировать возможные ущербы социального, экономического и экологического характера.
- Целесообразно обратить внимание на воронки небольших размеров (диаметром до 3 м, глубиной до 1 м). Эти воронки (карстовые просадки) необходимо анализировать с учетом следующих обстоятельств: (1) как правило, они слабо выражены на земной поверхности после их образования и поэтому чаще всего должным образом не отражаются в отчетах по изысканиям и в процессе мониторинга; (2) срок их «существования» на

земной поверхности по сравнению с более крупными воронками весьма небольшой (особенно в песчаных грунтах); (3) во многих случаях они формируются с большой вероятностью вблизи крупных воронок; (4) во многих случаях вероятность их образования за срок службы сооружения целесообразно считать близкой к единице. По этим причинам их полезно исключить из общей гистограммы распределения диаметров карстовых воронок и учитывать отдельно.

- Если заказчик не в состоянии назначить допустимые значения рисков (это в настоящее время наиболее частая ситуация), то рекомендуется использовать удельные допустимые риски, отнесенные на единицу площади (например, гектар) и единицу времени (например, год, 100 лет, нормативный срок службы сооружения). Для этого в качестве первого приближения полезно, например, применить рекомендации, изложенные в статье [Толмачев, 2010]. Частично это нашло отражение в [Рекомендации, 2012].
- Назначаемые значения допустимых рисков для отдельных сооружений должны учитывать не только возможные ущербы, но и размеры сооружения в плане, а также сроки их службы с учетом названных принципов «устойчивого» развития территорий [Толмачев и др., 2012]. В связи с этим следует отметить, что ранее предложенные [Рекомендации, 1995] «допустимые характеристики надежности», по которым можно судить о «допустимых рисках» в зависимости только от «уровней ответственности» сооружений следует считать лишь неким приближением к минимальным «допустимым рискам». При этом, весьма полезным для принятия инженерных решений может быть понятие «степень (уровень) риска» - отношение карстового риска к его допустимому значению [Рекомендации, 2012].

Разработка нормативных документов

В.В. Толмачев коснулся и вопросов разработки **нормативно-методических документов** по строительству в карстовых районах. Поводом для этого послужил выход в свет новой редакции подраздела 6.12 «Особенности проектирования оснований сооружений на закарстованных территориях» (в редакции СП 22.13330 «Основания зданий и сооружений» от 16.12.16). По мнению докладчика, эта редакция не только не устранила недостатки предыдущей редакции 2011 г., о которых говорилось на весьма представительных научно-технических совещаниях по проблемам инженерного карстоведения (Уфа-2012, Дзержинск-2012 и Пермь-2015), но и значительно усугубила их. Вызывает удивление, что никто из авторов обсуждаемого карстового раздела этого документа не присутствовал на этих важных совещаниях. Очевидно, это было неслучайным.

Ниже приводятся краткие комментарии к некоторым положениям обсуждаемого документа.

- В тексте не было даже попытки каким-то образом учесть (или хотя бы декларировать) требования Федеральных законов России №№184, 190 и 384 в части использования понятия «риск» в проектно-изыскательской деятельности на закарстованных территориях.
- Текст в значительной мере не согласован с некоторыми важными положениями из других Сводов правил, например, СП 47 (инженерные изыскания) и СП 116 (инженерная защита) и даже противоречит им, что затрудняет проектно-изыскательскую практику, в том числе взаимоотношения с органами экспертизы. В документе также не были учтены положения, отраженные в региональных нормативно-методических документах

(республика Башкортостан, Пермский край, Нижегородская область). Именно для этих регионов учет карстовой опасности при проектировании имеет традиционно приоритетное значение.

- В документе совсем не отражены специфические «карстовые» проблемы в таких регионах, как республика Татарстан, Самарская и Ульяновская, Архангельская и Тульская области, сибирские и дальневосточные регионы. Авторы подраздела посчитали достаточным использовать лишь опыт (и то лишь частично), изложенный в «Инструкциях» по городу Москва (1978, 1984). И здесь авторы игнорировали положения, сформулированные в более поздних публикациях по оценке карстовой опасности для территории Москвы (см., например, монографию «Москва: геология и город», 1997; статью А.В.Аникеева, 2015 и др.).

- Некоторые положения подраздела 6.12 перечеркивают положительный полувековой отечественный опыт нормирования проектно-изыскательской деятельности на закарстованных территориях. Он изложен почти в полусотне публикаций. Этот опыт по достоинству был оценен в таких в «карстовых» странах, как Германия, Великобритания, США, Испания, Китай, Балканские страны и др.

- Как указывалось выше, подраздел 6.12 в основном базируется на региональных нормативных документах города Москвы. Для этой территории характерны следующие обстоятельства: (1) весьма низкая карстово-провальная опасность; (2) относительно высокая степень инженерно-геологической изученности при крайне ограниченных сведениях о поверхностных карстопроявлениях; (3) сравнительно высокая доля освоения подземного пространства. Несмотря на это, подраздел обязывает специалистов для всей территории России (с ее разнообразнейшими природными условиями и различной степенью их изученности) использовать только «московский» опыт. Очевидно, авторы не делают различий (хотя бы с «карстовой» точки зрения) между понятиями: «территория России» и «территория города Москвы». Странно, что это не вызвало соответствующей реакции со стороны Минстроя РФ.

Как известно, для территории Москвы вполне допустима дифференциация ее по карстово-провальной опасности лишь на три категории. Но для более опасных территорий трехступенчатая дифференциация территории явно неприемлема с точки зрения объективной оценки провальной опасности и назначения надежной и экономически обоснованной противокарстовой защиты. Эта особенность была отражена в нашей стране уже в первых нормативно-методических документах [Рекомендации, 1967]. В дальнейшем были разработаны предложения по более дробной классификации закарстованных территорий по провальной опасности. Например, для Нижегородской области рекомендовано 10 категорий по интенсивности образования провалов и 8 категорий по средним диаметрам провальных воронок. Это позволило оценивать вероятности поражения провалами строительных объектов с несравненно высокой степенью объективности по сравнению с трех- или шести-ступенчатой классификацией провальной опасности [Рекомендации, 2012].

Проведенный анализ показал, что тенденция к более дробной классификации карстовой опасности существует во многих странах. Например, в Земле Гессен (ФРГ) применяется 11 категорий, в Земле Нижняя Саксония (ФРГ) – 8, в Англии – 5, в Испании – 5 (по удельной интенсивности образования провалов в год на гектар). В штате Флорида (США)

используется шкала провальной опасности, в которой минимальное число категорий равно 5 (хотя при необходимости рекомендуется и большее их число).

При обсуждении этого вопроса Б.А. Гантов заметил, что достаточно ограничиться пятью категориями «устойчивости» по интенсивности провалообразования. В ответ на что В.В. Толмачев возразил, что это лишь дань привычке, оставшейся нам от двух первых официальных документов – как в области инженерных изысканий, так и в области проектирования в карстовых районах СССР [Рекомендации, 1967].

Оба эти документа были созданы в 1967 г. под руководством И.А. Саваренского. Его по праву следует считать одним из основателей инженерного карстоведения не только в СССР, но и в мире. Он всегда придавал первостепенное значение инженерно-геологическому анализу пространственно-временных закономерностей формирования поверхностных карстопоявлений с учетом применения их в инженерной практике. В последних работах И.А. Саваренский указывал на целесообразность более дробной дифференциации территорий по провальной опасности, в частности, для тех зон, где интенсивность провалообразования $\lambda < 0,01$ и $\lambda > 0,1$ (провалов в год на 1 км²) [Руководство, 1995]. Именно это его предложение было учтено в [Рекомендации, 2012].

Обсуждаемый документ [СП 22] не допускает применения вероятностных методов при оценке карстоопасности и решении инженерных задач в условиях карстовой опасности. Это – нонсенс с точки зрения научно-технических знаний в XXI веке! Мало того, этот запрет в Сводах правил вступает в противоречие с действующими Федеральными законами России.

В последнее время предпринимались попытки создания новых общероссийских нормативно-методических документов по инженерным изысканиям в карстовых районах. Однако эти попытки по ряду причин (как объективного, так и субъективного характера) оказались контрпродуктивными.

По мнению В.В. Толмачева, в настоящее время инженерное карстоведение в нашей стране переживает определенный кризис, связанный со следующими обстоятельствами:

- Резко сократились или даже прекратились научно-исследовательские работы по актуальным проблемам инженерного карстоведения. Отсутствуют даже планомерные обобщения отечественного и зарубежного опыта, что ранее было неременным условием проведения разработок нормативных документов. К сожалению, роль в регулировании этого процесса со стороны Минстроя России (а также РААСН, НОПРИЗ и прочих общероссийских структур) малозаметна.
- Многие положения постоянно обновляющихся «актуализированных» Сводов правил часто не отражают апробированных результатов исследований и положительного мирового опыта хозяйственного освоения закарстованных территорий.
- Строительная и экологическая безопасность, а также экономичность инженерных решений при хозяйственном освоении карстовых районов в первую очередь зависят от конкретных природных условий и степени их изученности в разных регионах. Это положение, по мнению большинства карстоведов, имеет принципиальное значение для такой громадной страны, как Россия. Именно поэтому создание территориальных норм является неременным условием «устойчивого» развития и безопасности в любом «карстовом» регионе.

К сожалению, специалисты из ряда Федеральных ведомств (например, Минстрой, Минприроды и даже МЧС), не понимают этого очевидного положения и не активизируют

деятельность по созданию региональных нормативов, как это практикуется в таких «карстовых» странах, как ФРГ, США, КНР и др. Мало того, в нашей стране наблюдается обратный процесс. Например, в Нижегородской области региональные нормативы по строительству в карстовых районах были переведены в статус «Рекомендаций».

Крайне необходимо создание региональных норм для карстовых районов республик Марий Эл, Татарстан, Крым, Самарской, Тульской, Московской, Архангельской областей, Краснодарского и Ставропольского краев. Это обусловлено спецификой карстовой опасности в этих регионах.

Кроме того, необходимо разработать специальные нормативно-методические документы по хозяйственному освоению закарстованных территорий сибирских и дальневосточных регионов с учетом их слабой изученности в инженерно-геологическом отношении, с одной стороны, и с другой стороны, широкомасштабного перспективного строительства, в частности, линейных объектов. Об этом говорит практика проектирования, строительства и эксплуатации таких объектов, как БАМ, АЯМ и магистральных трубопроводов. Естественно, эта ответственная работа должна выполняться при активном участии РАН и местных научно-исследовательских и проектно-изыскательских организаций.

Непосредственное использование обсуждаемого документа [СП 22] для многих регионов (кроме, пожалуй, территории города Москвы) может оказаться просто контрпродуктивным. Еще одним существенным недостатком существующих документов, по сравнению с региональными, является то, что вопросы изысканий, проектирования, технологии строительства сооружений и их эксплуатации, как правило, рассматриваются вне рамок единой системы.

В.В. Толмачев в своих публикациях уже неоднократно высказывал мысль, что общероссийский документ (например, «Стандарт по строительному освоению закарстованных территорий») крайне необходим, но он должен включать только **общие принципы**, позволяющие реализовывать на практике принципы **системного подхода** применительно ко всей стране. Последние предложения по содержанию документа были изложены в его докладе на Международном симпозиуме (Пермь, 2015).

Система «карст-сооружение»

В дискуссии на «круглом столе» (в том числе, в кулуарах) обсуждались различные аспекты единой системы «карст-сооружение», которая включает такие элементы, как: «карстовый риск – инженерная защита – экологическая безопасность – страхование» (В.П. Хоменко, М.В. Леоненко, А.В. Аникеев, В.Н. Катаев, С.А. Махнатов, М.М. Уткин, Т.Ф. Мамонов и др.).

В ходе дискуссии С.А. Махнатов кратко напомнил о неудачной попытке разработки в 2016 году свода правил «Инженерные изыскания в карстовых районах. Общие положения». По мнению этого специалиста, причиной неудачи явилось то, что рабочая группа не смогла найти согласия по принципиальным положениям, в том числе по учету особенностей природных условий развития карста и его проявлений в разных регионах страны.

Выступавший также отметил, что создание в 2016 г. НИИОСП новой редакции «карстового» раздела в СП 22 (без участия ведущих специалистов в области инженерного карстоведения) «вывело из игры» большинство специалистов, особенно тех, которые опираются в своей практической деятельности, как правило, на многолетние наблюдения за карстовыми проявлениями в ряде регионов. Именно в этих регионах карстовая опасность объективно считается приоритетной.

С.А. Махнатов упомянул и о некоторых особенностях оценки риска и возможных способах управления им при строительстве на закарстованных территориях. Он отметил, что предпочтительно применять те определения природно-техногенных рисков, которые сформулированы в Федеральных законах, а также в государственных и международных стандартах по менеджменту риска. Это позволит специалистам разных направлений разговаривать друг с другом на одном языке, а также избегать ненужных конфликтов с чиновниками, как правило, слабо понимающих специфику карстовых рисков в инженерной деятельности.

М.В. Леоненко отметил, что в нормативно-методических документах как термин зафиксирован только **«расчетный пролет карстового провала»** [СП 11-105-97; Рекомендации 1985, 1987]. О том, что подразумевается под словосочетанием **«расчетный диаметр провала»**, каждый может только догадываться, исходя из собственных соображений.

Согласно требованиям статьи 15 (ч.6) Технического регламента №384-ФЗ, необходимо учитывать **риск реализации опасных природных процессов и явлений** в проектно-изыскательской практике. Под карстовым риском, исходя из контекста Федеральных законов, очевидно следует понимать вероятность недопустимого поражения сооружения карстовыми деформациями (провалами, локальными оседаниями и др.) за расчетный срок его службы (в соответствии с [ГОСТ, 2014]).

В настоящее время известна лишь одна методика, учитывающая это требование – методика определения расчетного пролета (площади ослабления) в зоне карстового провала (в Рекомендациях 1987 г. он называется расчетный размер карстового провала). Она разработана в начале 80-х годов и утверждена (пройдя соответствующую защиту на научно-технических советах) двумя головными институтами Госстроя СССР: НИИОСП и ПНИИИС. На строительной выставке ВДНХ СССР эта методика была отмечена дипломом первой степени, а ее авторы Толмачев В.В., Сорокина В.Б. (Дзержинская карстовая лаборатория ПНИИИС) и Троицкий Г.М. (НИИОСП) награждены золотой, серебряной и бронзовой медалями ВДНХ. В дальнейшем методика совершенствовалась с учетом реальной природной обстановки и особенностей проектирования различных сооружений, а также положений Федеральных законов (особенно в части необходимости учета природных рисков).

Расчетный пролет карстового провала – параметр проектирования конструктивной противокарстовой защиты, характеризующий с заданной надежностью вероятное воздействие карстовых провалов на проектируемое сооружение за расчетный срок его службы. Этот параметр представляет собой длину зоны потери несущей способности основания сооружения по оси ленточного фундамента. Для плитных фундаментов аналогом «расчетного пролета» чаще всего может служить «расчетная площадь ослабления» основания по подошве фундамента.

Методика предполагает получение (методом статистических испытаний) прогнозной гистограммы распределения некоего размера воронки в плане (пролета, т.е. хорды образующейся при пересечении оси ленточного фундамента окружностью провальной воронки). При этом распределение диаметров воронок используется лишь в качестве реальных исходных данных, полученных по результатам инженерно-геологической съемки на заданной территории или на территории – аналоге. В некоторых (очень редких) случаях «расчетный пролет» может быть равен максимальному значению диаметра воронки. Эти частные случаи здесь не рассматриваются.

Методика определения расчетного пролета карстового провала (и несколько ее более современных модификаций) позволяет с заданной надежностью прогноза **одновременно** учитывать вероятность провалообразования, распределение (гистограмму) диаметров провальных воронок, в том числе средние и максимальные их значения, размеры и некоторые конструктивные особенности сооружения, а также расчетный срок его эксплуатации, т.е. параметры, прямо связанные с риском и его допустимым значением.

Различные аспекты применения методики изложены в более чем 30 публикациях, в т.ч. в ряде международных изданий [Sorochan et al, 1985]. По своей сути, расчетный пролет карстового провала – это **геотехнический** параметр, одновременно учитывающий свойства как среды, так и сооружения.

Судя по публикациям, в мировой практике вероятностный подход при принятии инженерных решений считается приоритетным подходом отечественных специалистов, работающих в области инженерного карстоведения [Мулдер и др., 2004]. В настоящее время вероятностный подход стал широко использоваться в других странах [Толмачев, Леоненко, 2017].

Очевидно, под «расчетным диаметром» подразумевается диаметр провала, определенный расчетом с использованием той или иной модели механизма провалообразования. В настоящее время известно несколько методик такого рода прогностических расчетов (см., например, [Миронов, 1990]). В методических же документах, подкрепляющих СП [Рекомендации 1985, 1987], приводится только методика Г.М. Троицкого. При этом в указанных документах размер провала, определенный расчетно-теоретическим методом, нигде не называется «расчетным диаметром»!

Следует отметить, что расчеты диаметров провалов, выполненные по разным методикам для одних и тех же инженерно-геологических условий, могут различаться в несколько раз, а при тестировании (верификации) на карстовых участках с известными характеристиками диаметров провалов далеко не всегда им соответствуют. Подобное расхождение результатов прогностических расчетов диаметров провалов и реальных размеров объясняется как недостаточным совершенством существующих методик, степенью достоверности полученных исходных данных, так и сложностью самого процесса [Миронов, 1990]. Но надо отметить, что имеются и примеры расчетов [Хоменко, 2009] с достаточной для практики сходимостью с реальными размерами провалов, но таковые носят единичный характер. Однако, в условиях отсутствия статистически достоверного материала по размерам карстовых провалов, а также данных по участкам-аналогам (как правило, на слабо закарстованных территориях, соответствующих ориентировочно V категории устойчивости по интенсивности провалообразования) такие расчеты оправданы при максимальном учете закономерностей провалообразования [Руководство, 1995]. Здесь надо отметить, что существуют и другие (например, лабораторно-экспериментальные) методы прогноза размеров провалов, которые в определенных условиях позволяют выбрать модель механизма провалообразования и уже на его основе проводить расчеты размеров воронок.

Многие карстоведы, в том числе и М.В. Леоненко, предпочитают использовать термин **прогностический диаметр провала**, определенный по той или иной модели провалообразования. При этом целесообразно, чтобы и проектировщики с заказчиками рассмотрели варианты защиты с учетом опять-таки степени карстовых рисков, оцениваемых экспертно с участием застройщиков, изыскателей и проектировщиков.

Надо понимать, что прогностический размер карстового провала («расчетный диаметр») является **только одним из нескольких** исходных параметров, учитываемых при определении карстового риска для сооружения. При этом, «расчетный диаметр» - величина детерминированная, сама по себе никоим образом не учитывающая вероятностный характер проявления карстового провала под сооружением.

Использование так называемого «расчетного диаметра» как основного параметра при проектировании не только не предусматривает оценку риска, но и вступает в противоречие со здравым смыслом, учитывая следующие важные обстоятельства:

- В одних и тех же инженерно-геологических условиях механизм провалообразования может быть различным, и результаты расчетов будут существенно отличаться (например, в природе достаточно часто наблюдаются бимодальные («двухгорбные») гистограммы распределения диаметров провалов). В существующих детерминистических способах прогноза не учитываются разные механизмы разрушения непосредственной кровли полости, объемы полостей и т.д.
- В одном и том же карстовом районе могут существовать разные горизонты карстования и размеры провалов от развивающихся в них полостей могут существенно различаться.
- Согласно расчетам по детерминистическим моделям, как правило, чем глубже залегает карстующаяся толща, тем больше диаметр гипотетического провала. В то же время, многими карстоведами (А.Г. Лыкошин, Д.С. Соколов, Г.А. Максимович и др.) отмечена обратная зависимость между мощностью покровных отложений и интенсивностью (вероятностью) образования провалов. С вероятностных позиций это вполне объяснимо.
- На территориях слабо закарстованных и сильно закарстованных частота образования провала разнится на несколько порядков.
- Для сооружений повышенного, нормального и пониженного уровней ответственности требуется совершенно разная надежность прогноза и защиты и, что само собой разумеется, допустимые уровни (степени) карстового риска.
- Размеры сооружений в плане могут отличаться на несколько порядков, что обуславливает различную вероятность возникновения провала в пределах сооружения и т.д.
- Применение расчетно-теоретических методов прогноза диаметра провала и проектирование защиты на этот диаметр являются частным случаем и могут использоваться лишь в ситуациях, когда изыскатель установил размеры полости и по тем или иным критериям оценки опасности считает, что полость в основании сооружения выйдет на поверхность провалом за срок его службы, т.е. вероятность провала близка к 1. В остальных же случаях применение этого параметра весьма сомнительно.

Важно отметить, что в нормативных документах требование по определению какого-либо параметра необходимо подкреплять методическим документом, разъясняющим условия его применения в определенных условиях по той или иной верифицированной методике. Ничего подобного в настоящее время мы не наблюдаем. Ни одна методика определения «расчетного диаметра карстового провала» не верифицирована даже для простых и четко определенных карстологических ситуаций, не говоря уже о множестве существующих карстологических обстановок. Учитывая огромное их разнообразие, подобные расчеты вряд ли могут быть практически осуществлены.

Обсуждаемая проблема, искусственно создана авторами актуализированных СП [№№ 22, 24, 47] и имеет несколько аспектов. Следует привлечь внимание к некоторым из них.

Юридический аспект. В соответствии с Федеральным законом №184-ФЗ «О техническом регулировании» для любой продукции должен определяться **риск**, т.е. «вероятность причинения вреда жизни и здоровью граждан, имуществу и окружающей среде с учетом тяжести этого вреда». Требование оценки **риска возникновения опасных природных процессов и явлений** при инженерных изысканиях и проектировании содержится в 15-ой статье Технического регламента 384-ФЗ, а также в ряде подзаконных документов, составляемых в его развитие, какими являются СП, ГОСТы и др. Казалось бы, актуализируемые их версии должны учитывать данное требование ФЗ и приводить, в частности, пороговые (допустимые) значения риска негативных, в том числе аварийных ситуаций (как это сделано, например, в СП №№ 14, 58).

Применительно к карстово-провальным территориям под риском понимается вероятность недопустимого повреждения сооружения карстовым провалом за срок его службы. К сожалению, допустимые значения уровня риска аварий, в настоящее время закрепленные в федеральных нормативных документах, существуют лишь для напорных гидротехнических сооружений I-IV классов (соответственно $5 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-3}$ случаев в год) [СП 58]. Они могут служить определенным ориентиром для других видов сооружений. До внесения в СП соответствующих допустимых значений карстового риска «в запас безопасности» целесообразно ориентироваться на наиболее жесткий из них – $5 \cdot 10^{-5}$ случаев в год, принятый для наиболее ответственных напорных гидротехнических сооружений I класса.

Параметром, учитывающим в полной мере **риск** реализации опасных событий, является расчетный пролет (расчетная площадь ослабления) карстового провала. Применение же «расчетного диаметра» как величины детерминистической при обосновании конструктивной защиты сооружений без учета вероятности такого события противоречит не только природе карста, но и требованию учета риска (т.е. вероятности реализации опасных событий), что декларируется Федеральными законами. Подобная ситуация создает юридические проблемы для применения «расчетного диаметра», т.к. такое требование подзаконного документа (например, п.6.11.9 СП 22.13330.2011) противоречит Федеральному закону «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (№384-ФЗ).

Экономический аспект. С термином «риск» тесно связано понятие «прогноз» ситуации, также неоднократно упоминаемое и требуемое к учету в нормативной документации. В свете этого, защита сооружений на так называемый «расчетный диаметр провала» (даже в предположении, что этот параметр полностью учел свойства геологической среды) – это всегда прогноз с вероятностью 100%, что провал произойдет в основании сооружения за срок его службы. Практика же свидетельствует, что за последние полвека, наряду с несколькими десятками случаев повреждения сооружений карстовыми провалами, нормально функционируют многие десятки тысяч объектов, построенных на потенциально закарстованных территориях нашей страны. При этом случаев сверхнормативных деформаций сооружений, задетых провалом, но защищенных на расчетный пролет карстового провала, до настоящего времени не отмечалось.

Разработанный более 30 лет назад параметр конструктивной противокарстовой защиты – расчетный пролет (площадь ослабления) карстового провала – является некой мерой необходимости назначения того или иного объема капитальных (конструктивных) противокарстовых мероприятий. Он определяется в рамках системы «среда – сооружение»

и является определенным мерилком компромисса между объемом (стоимостью) противокарстовых мероприятий и вероятным ущербом вследствие возможного поражения сооружения карстовым провалом. Но в любом случае этот ущерб не должен приводить к неоправданному социальному ущербу (массовой гибели людей).

Собственно, появление параметра конструктивной противокарстовой защиты, например, расчетного пролета карстового провала, было обусловлено запросом строительной отрасли к оптимизации затрат на защиту сооружения без значимой потери его надежности, т.е. не вызывающего прогрессирующего разрушения здания. Работы, выполненные в начале 80-х годов прошлого столетия в НИИОСП и ПНИИИС, привели к разработке и внедрению в инженерную практику соответствующих методик. Нормативные документы (в частности, СП 11-105-97, ч. II) опирались на разработанные в ходе его подготовки документы методического характера [Рекомендации, 1985, 1987].

Предлагаемый в актуализируемых СП [№№ 22, 24, 47] «расчетный диаметр» определяется только строением покровной толщи и ее физико-механических свойств в слагающих ее грунтов без учета особенностей карстологической обстановки, сроков службы, размеров и уровней надежности сооружений. В отличие от него расчетный пролет карстового провала учитывает вышеперечисленные особенности, которые определяют риск поражения сооружения. Это дает основание для назначения на слабо закарстованных территориях сравнительно небольшого объема противокарстовых мероприятий, иногда, ограничиваясь мероприятиями лишь мониторингового характера. На сильно же закарстованных территориях, где расчетный пролет карстового провала стремится к максимальным размерам возможного провала, обеспечивается необходимый уровень надежности защищаемых сооружений.

В сложившейся ситуации необоснованные (на наш взгляд) требования к учету «расчетного диаметра карстового провала», как основного параметра противокарстовой защиты, реально ведет к недостаточной защите объектов, возводимых на сильно закарстованных территориях, и, как следствие, к социальным, экономическим и экологическим потерям или к завышению объемов противокарстовых мероприятий на слабо закарстованных территориях. Более того, возникает необходимость приведения ранее построенных сооружений в соответствие с актуализированными СП. Учитывая, что большинство сооружений построено, как правило, на слабо закарстованных территориях, это потребует осуществления не предусмотренных ранее весьма дорогостоящих и трудоемких мероприятий конструктивной противокарстовой защиты на действующих объектах.

Геологический аспект. Развитие и проявление карста на земной поверхности, как установлено многочисленными исследованиями в нашей стране и за рубежом, носит вероятностный характер (см., например, [Толмачев и др., 1986; Reuter, Tolmachev, 1990; Sowers 1996]). К сожалению, в последнее время (в основном, под влиянием «управленцев») в нормативных документах, регламентирующих строительное освоение закарстованных территорий, наметилась тенденция «упрощенчества» и неоправданного применения жестких детерминистских схем. Это не соответствует как природе карстового процесса, так и специфике инженерно-строительных изысканий. Такой подход можно считать приемлемым для решения весьма узкого круга задач инженерного карстоведения (лишь с определенными оговорками и в простейших случаях). Создавшаяся ситуация ведет к откату инженерной практики на позиции вековой давности. Крупнейший специалист в области механики грунтов и инженерной геологии Н.Н. Маслов (1982) отмечал, что «природная обстановка и реальные свойства грунтов и горных пород гораздо

многообразнее и сложнее, чем можно описать теми или иными формульными зависимостями».

Серьезная критика вероятностного подхода на специализированных карстологических совещаниях (Уфа, 2012 г., Пермь, 2015 г. и др.) отсутствовала. И это на фоне основательных докладов по совершенствованию методической базы карстологических исследований (Хоменко В.П., 2012; 2015; Толмачев В.В., 2015 и др.). Судя по всему, разработчики актуализированных СП не только проигнорировали эти форумы, но и не удосужились ознакомиться с их материалами.

Для чиновников, требующих подтверждения чего-либо авторитетным мнением, хотелось бы напомнить, что в совместном российско-голландском проекте «SUBURBIA», выполненном в 2004 году под руководством лидеров мировой инженерной геологии Президента Международного союза геологических наук, профессора Е.Ф. Дж. де Мулдера и академика В.И. Осипова [Мулдер и др., 2004] было акцентировано внимание на том, что оценка опасности карстового (карстово-суффозионного) процесса должна адекватно отражать их стохастический характер. Результаты этих исследований показали, что наиболее перспективными методами для оценки карстовой опасности являются вероятностно-статистические и вероятностно-детерминистические.

В свете вышеизложенного, появление полного запрета использования вероятностных методов (п.6.12.12 [22]) вызывает в лучшем случае лишь удивление. В сложившейся ситуации, представляется целесообразным в разделах нормативных документов, связанных с карстом, возврат к нормам, разработанным в 90-е годы коллективами специалистов, сформировавшимися еще в советский период развития инженерной геологии и строительной отрасли.

После выступления М.В. Леоненко несколько участников также высказались по затронутым им проблемам. Так, например, А.В. Аникеев заметил, что, по его мнению, характеристики любой природной опасности, а не только карстово-провальной, могут быть либо статистическими, либо расчетными. Поэтому в районах, где условия образования провальных воронок есть, но сами проявления карста на земной поверхности отсутствуют, или по какой-то причине не зарегистрированы, огромное значение для оценки параметров проектирования защитных мероприятий имеют расчетные модели провалообразования. В районах же происшедших провалов (т.е. реализованной опасности), конечно, следует ориентироваться на значения максимального или среднего диаметра воронок.

По мнению докладчика, тот факт, что расчетное и статистическое значения диаметра чаще всего не совпадают, а порой бывают даже несопоставимыми (о чем говорилось в выступлении В.Н. Катаева) свидетельствует не о принципиальной невозможности использования геомеханических методов расчета, а о том, как они понимаются и применяются на практике. Чаще всего для этих целей модель применяется среза грунтов по круглоцилиндрической поверхности в той иной ее модификации [Шахунянц, 1953; Рекомендации, 1985; Кутепов, Кожевникова, 1986] и др.). Но она не отражает истинный механизм провалообразования, а при мощности покровной толщи в 1,5–2 раза большей ширины полости в ее основании, эта модель вообще теряет физический смысл.

Представляется, что локальный прогноз размеров воронок в многослойной покровной толще может быть основан на использовании двух моделей комплексных детерминированных моделей, адекватно отражающих поведение связных и несвязных грунтов над ослабленным участком массива. Такие модели к настоящему времени разработаны [Хоменко, 2003; Аникеев, 2017], но применять их нужно, сообразуясь с

конкретным строением массива пород, в той последовательности, как развивается процесс – снизу-вверх от очага возмущения к земной поверхности.

Коснулся А.В. Аникеев и методики определения **расчетного пролета** провальной воронки под фундаментом. Методика была предложена в начале 1980-х годов для оценки основного параметра конструктивной противокарстовой защиты [Толмачев, Троицкий, 1983]. В то время представления о риске потерь от опасных геологических процессов только-только зарождались. В.В. Толмачев и Г.М. Троицкий, опередив свое время, по сути, решили проблему оценки риска, но решили ее относительно не вероятного ущерба, а некоего вероятного или вероятностно-статистического пролета, который, хотя и имеет размерность длины, действительной шириной, диаметром или пролетом воронки не является. Его размер зависит от значений всех тех показателей, от которых зависит и значение экономического риска.

«Когда мы по результатам оценки риска говорим, что при каких-то реальных значениях диаметра воронок и интенсивности их образования (неважно, каким способом они получены – статистическим или расчетным), а также при таких-то характеристиках инженерного сооружения вероятный ущерб будет таким-то, это одно. В этом случае инвестор, сообразуясь со своими финансовыми возможностями, целями и задачами, должен и может решить: строить ли ему, или не строить, строить дешево или дорого.

Если же инженер-геолог в своем заключении напишет, что расчетный пролет равен 0,2 м, то никто не то что решать, но и думать не будет о том, закладывать ли в проект хоть какие-то меры защиты. И это при том, что средний диаметр провалов, как это часто бывает при их небольшой частоте (например, раз в сто лет составляет 6 м или 10 м, и этот «раз» может случиться и не через 100 лет, а через 10 лет или завтра – точно этого мы не знаем. Здесь нужно отдавать себе отчет в том, что чем реже любой геологический процесс проявляется на земной поверхности, тем больше показатель его разрушающей силы, в нашем случае – диаметр воронки, а ее расчетный пролет уменьшается.

Поэтому, если вводить в нормативные документы помимо реального диаметра провалов (расчетного или статистического) и расчетный пролет, то назвать его надо как-то иначе, например, фиктивным или мнимым пролетом. И все-таки характеристики системы «массив пород – сооружение» лучше всего учитывать в величине риска, а не мнимого диаметра воронки, хотя это сделать это бывает не всегда легко», - отметил А.В. Аникеев.

Главная трудность заключается в том, что в общем виде определить величину экономического ущерба сейчас не представляется возможным, для этого требуется серьезная совместная работа инженер-геологов, проектировщиков, строителей и экономистов. Но ведь можно и вполне допустимо ограничить геологическую часть анализа риска вычислением простейшего вида ущерба – физического риска потерь земельных угодий и регламентировать строительство и выполнение противокарстовых мероприятий в соответствие с его величиной. Такой физический риск представляет собой произведение средней площади воронок на интенсивность их образования, то есть вполне определенную комбинацию двух основных показателей провальной опасности. При этом проверенные временем и хорошо известные изыскателям и проектировщикам категории карстово-провальной опасности объединяются и легко могут быть представлены в виде единой нелинейной шкалы опасности и риска провалообразования, не требующей введения дополнительных или уточняющих категорий [Аникеев 2015, 2016]. Эта шкала, с одной стороны, не отбрасывает, а вбирает в себя достижения инженерного карстоведения за последние шестьдесят лет. а, с другой стороны, исключает необоснованный выбор места

строительства или назначение мер защиты только по одному из двух основных показателей опасности – диаметру или интенсивности провалов. А дальше, после того, как дана оценка опасности и риска поражения территории, проектировщики могут воспользоваться определением мнимого пролета воронки для более детального проектирования конструктивной защиты сооружения.

Карстовые или карстово-суффозионные процессы?

В ответ на сказанное В.П. Хоменко задал справедливый вопрос о том, почему в Москве воронки провала и локального оседания называются карстово-суффозионными, а такие же воронки, образовавшиеся в других карстовых районах РФ – карстовыми?

Дело в том, что, когда в конце 1950-х – начале 1960-х годов на северо-западе Москвы стали появляться локальные деформации земной поверхности, мало кто из специалистов (В.Н. Кожевникова, С.И. Парфенов, И.А. Саваренский) связывал их с наличием растворимых отложений. И только в конце 1960-х – начале 1970-х годов после разрушения жилого дома в 1969 г. стало окончательно ясным, что эти воронки сформировались в результате выноса нерастворимых перекрывающих грунтов в полое подземное пространство (погребенные карстовые формы) каменноугольных отложений под воздействием техногенной нагрузки, главным образом откачек трещинно-карстовых вод.

В.Н. Кожевникова рассказывала, что Ф.В. Котлов – признанный авторитет по проблемам инженерной геологии территории г. Москвы – долго отвергал связь активизировавшегося провалообразования с карстом. Но и когда его убедили в этом, он, опираясь на понятие «карстовый процесс», сформированное И.В. Поповым (1959), никак не хотел называть «московские» воронки карстовыми, интуитивно понимая, что сколь-нибудь растворение карбонатных пород на современном этапе здесь вряд ли имеет место. В итоге все формы карста и процессы, приводящие к их появлению, в Москве стали называться карстово-суффозионными.

Таким образом, это вопрос терминологии, но представляется, что определение «карстово-суффозионный» хорошо отражает суть процесса, который изучается сейчас, когда мы практически отказались от исследования растворения карбонатных пород и растворяющей способности подземных вод. Другое дело, что совсем отказываться от таких исследований с геологической точки зрения никак нельзя.

Что такое карстовая просадка

Относящийся к терминологии вопрос прозвучал и в выступлении А.А. Лаврусевича, который заметил, что под просадкой понимается образование воронки в лессовых грунтах. И с ним нельзя не согласиться. Действительно, в инженерной геологии этот термин и его производные – «просадочность», «просадочный» - стали использоваться применительно к массивам лессовых пород и укоренились задолго до появления новой ветви этой науки – инженерной геологии карстовых районов или, что тоже самое, инженерного карстоведения. Поэтому, может и не стоило В.В. Толмачеву вводить слово «просадка» по отношению к поверхностным карстовым или карстово-суффозионным формам. С другой стороны, используют же географы и геоморфологи этот термин для обозначения локальных деформаций земной поверхности самого разного генезиса. Так что этот, как и любой другой терминологический вопрос – вопрос договоренности, главное, чтобы специалисты понимали друг друга.

Расчетный параметр конструктивной противокарстовой защиты

М.М. Уткиным был затронут вопрос по определению расчетного параметра конструктивной противокарстовой защиты сооружений на слабо закарстованных территориях. Как показала практика определения расчетного пролета провала, с уменьшением интенсивности провалообразования, полученной по результатам традиционных изысканий, расчетный пролет (при прочих равных условиях) также уменьшается. Однако, формально следовать этому порядку надо всегда весьма осторожно, поскольку отказ от противокарстовой защиты сооружений, может привести к аварийной ситуации. Это связано с тем, что следует помнить, что полностью познать природу карста и его потенциальную опасность мы никогда (по результатам обычных инженерных изысканий) не сможем. Реально всегда в инженерной практике существует «остаточный риск» [R. Katzenbach, 1997]. Именно поэтому при определении расчетного пролета провала необходимо назначать минимально возможные его значения.

Например, с учетом этого профессором Е.А. Сорочаном и В.В. Толмачевым в качестве минимального значения пролета предлагается считать равным 3 м [Толмачев, 2015]. М.М. Уткин полагает, что в зависимости от инженерно-геологических условий площадки проектирования, а также уровня ответственности и конструктивных особенностей сооружений, это значение должно находиться в интервале 1–3 м.

М.М. Уткин привел поучительный пример, когда вышеизложенный подход оказался оправданным в проектно-изыскательской практике в Нижегородской области. Остановимся на нем подробнее.

При обосновании параметров противокарстовой защиты каркасного здания, расположенного на V категории по интенсивности провалообразования, расчетный пролет не превысил 0,2 м. Однако, окончательное его значение было принято равным 1,0 м. При этом было рекомендовано отказаться от отдельно стоящих фундаментов в пользу ленточных (в соответствии с требованием СП 22.13330.2011). Однако заказчик проигнорировал мнение специалистов и выполнил фундаменты отдельно стоящими на свайном основании. Примерно через полгода после возведения каркаса здания произошла карстовая просадка под одним из фундаментов. Это вызвало просадку и крен колонны, что привело к запредельным деформациям металлоконструкций покрытия.

Кстати говоря, требование СП 22.13330.2011 о недопустимости отдельно стоящих фундаментов каркасных зданий на провалоопасных территориях было введено после ряда известных аварий (в Башкирии, Нижегородской, Тульской областях и др.). Причины таких резонансных аварий освещались в печати [Толмачев, 2005; Мулюков и др., 2006; Леоненко, Толмачев 2006] Именно поэтому в СП 22.13330.2011 на это положение было особо акцентировано внимание. К сожалению, в редакции СП 22.13330.2016 оно было удалено.

Прогнозирование карстовых провалов

В.Н. Катаев и Д.Р. Золотарев в своем выступлении обратили внимание на три момента, которые следует иметь в виду при прогнозировании карстовых провалов.

Карстовый массив обладает потенциалом, реализующим тот или иной процесс (в том числе растворение), который в данном виде массива является ведущим. Потенциал ограничен пространством, состоянием массива и временным периодом. Сам карстовый массив реализуется не только через формирование систем трещиноватости, ослабленных зон в карстующихся породах, но и через возникновение наземных форм, например, в виде провальных, коррозионно-провальных и других генетических типов воронок. При этом,

чем больше поверхностных карстовых форм на территории, тем безопасней массив с позиции устойчивости относительно интенсивности провалообразования. Иными словами, в таком случае можно говорить о том, что массив в карстологическом отношении реализовал свой потенциал. Так, по наблюдениям на некоторых карстовых массивах с большими значениями плотности карстовых воронок (до 10000 шт. на кв. км), новых провалов не образуется столетиями.

По данному обстоятельству состоялся обмен мнениями. Так, В.П. Хоменко отметил, что понятие «потенциал карстового массива» не в полной мере учитывает инженерно-строительную составляющую. В частности, она может быть обусловлена тем, что техногенные воздействия прежде всего существенно повышают вероятность деформаций оснований сооружений именно в местах уже существующих карстовых воронок. В.В. Толмачев поддержал это мнение. В то же время он отметил, что понятие «потенциал» имеет важное теоретическое значение, хотя при его использовании в практике инженерно-строительного освоения территорий следует быть весьма осторожным, особенно при разработке нормативно-методических документов, так как авторы этих документов, как правило, неоправданно упрощают ситуацию.

Следующий момент связан с подходом к прогнозированию направленности процесса провалообразования и диаметров поверхностных карстопроявлений, прежде всего, провального типа. В качестве верификации наиболее распространенных методик прогнозирования морфометрических величин карстовых провалов, основанных на расчете устойчивости покровной толщи, был выбран карбонатно-сульфатный массив, слагающий территорию г. Кунгура. На базе Кунгурской лаборатории-стационара все провалы сведены в единую базу с информацией об их пространственной привязке, размерам и времени образования. При этом в расчет величин провалов заложены свойства грунтов по ближайшей карстологической выработке. Согласно первичным результатам расчетов начальных диаметров воронок (по небольшой выборке провалов) значения их оказались значительно больше непосредственно наблюдаемых в природных условиях.

Наконец, как отметили докладчики, в последнее время становится актуальным компьютерное моделирование карстового провалообразования, базирующееся на методе конечных элементов и т.п. В расчет моделей провалообразования, как правило, закладывается информация по физико-механическим свойствам и разрезу грунтовой некарстующейся толщи. К основному недостатку всех использованных моделей относится отсутствие учета вертикальной нагрузки от веса сооружения. К остальным допущениям следует причислить принятие карстующейся толщи квазиоднородным субстратом без выделения зон повышенной трещиноватости, ослабленных участков и других особенностей массива, определяющих локализацию карстовых форм.

Вместе с тем, В.В. Толмачев подчеркнул, что отмеченные обстоятельства позволяют утверждать, что применение в массовом порядке упрощенных методов компьютерного моделирования провалообразования (для использования их в инженерных решениях) уместно лишь в качестве первого приближения.

Кроме того, по мнению В.В. Толмачева, сделанное в ходе дискуссии А.В. Аникеевым предложение о введении в проектно-изыскательскую практику термина «фиктивный (мнимый) диаметр воронки» вместо термина «расчетный параметр (пролет) воронки» (по оси ленточного фундамента или трубопровода) является контрпродуктивным. При этом, следует считать «пролет» параметром, который необходимо рассматривать **только** в рамках единой конкретной системы «карст – сооружение». Поэтому назначение расчетного

параметра конструктивной «противокарстовой защиты» крайне целесообразно при участии, по крайней мере, изыскателей и проектировщиков. Такой «бригадный» подход способен достаточно объективно оценить отдельные элементы карстового риска с учетом возможных ущербов социального, экологического и экономического характера.

В то же время, предложение А.В. Аникеева о принятии в качестве критерия в шкале провальной опасности вероятной площади «потерь земельных угодий» в карстовых районах может быть весьма перспективным при решении, например, инженерно-планировочных задач.

С точки зрения эксплуатирующей организации

О.В. Юргин в своем выступлении предложил посмотреть на проблему карста с точки зрения организации, эксплуатирующей сооружения на закарстованных территориях. В качестве примера такой организации он взял Горьковскую железную дорогу, где он в течение нескольких лет осуществлял карстологический мониторинг на нескольких карстоопасных участках. По его мнению, многие вопросы, важные в процессе проектно-изыскательской и строительной деятельности, для эксплуатирующих организаций становятся неактуальными. Поскольку заметно снизить риск повреждения уже существующих сооружений в результате карстовых проявлений в большинстве случаев едва ли возможно, важнейшими задачами становятся профилактические меры и возможность своевременного обнаружения предаварийной ситуации, которая позволила бы предотвратить аварию или свести к минимуму ущерб от нее.

Докладчик также обратил внимание на то, что карстовый процесс носит ярко выраженный вероятностный характер. Это характерно для всех законов природы. На этот счет он привел интересные рассуждения академика А.Д. Сахарова, высказанные в известной «Лионской лекции» (1989). В контексте обсуждаемой «карстовой» проблемы это означает, что зафиксированные признаки наличия карстового процесса в массиве пород (например, обнаруженные карстовые полости или зоны разуплотнения) не являются гарантом возникновения карстового провала на земной поверхности. Карстово-суффозионный процесс не развивается во времени только в сторону растворения и выноса литологического материала. Как и все природные процессы он развивается циклически. При этом периоды разуплотнения пород в каждом конкретном объеме массива пород могут сменяться периодами увеличения плотности в нем, как за счет суффозионного привноса материала, так и за счет вторичной минерализации. Подтверждения этому были неоднократно получены по результатам как геофизического мониторинга, так и повторного разбуривания разуплотненных зон.

Для Горьковской железной дороги проблема диагностики карста заключается в организации карстологического мониторинга в узкой полосе вдоль трассы железнодорожного пути. Задачей такого мониторинга должно являться получение достоверной информации не только о наличии полостей и зон разуплотнения в карстующихся и перекрывающих их породах, но и (что гораздо важнее) об их динамике развития, т.е. о том, прогрессирует ли процесс дезинтеграции пород во времени или затухает, так как далеко не каждая полость и разуплотненная зона реализуется деформацией на земной поверхности в инженерном масштабе времени.

Потеря прочности грунтов при образовании провала является примером фазового перехода перколяционного типа, когда длительный процесс диссоциации структурных связей приводит к скачкообразному изменению структуры грунта. Таким образом, конечная цель

мониторинга состоит в прогнозировании приближения момента, когда зона разуплотнения или полость достигнут критического состояния, за которым последует деформация земной поверхности, угрожающая безопасности движения поездов.

По мнению В.В. Толмачева, затронутая проблема приобретает особое значение в связи с предстоящей эксплуатацией проектируемой высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань, которая на значительной части проходит на карстоопасных участках. Именно по этой причине, обеспечение безопасности на этих участках приобретает не только экономическое и социальное, но и **политическое** значение.

Научная экскурсия

В рамках «круглого стола» состоялось посещение трёх характерных закарстованных участков: «Гнилищие дворики» в Дзержинске, «Пивоваровский» карстовый участок в Вязниковском районе Владимирской области, «Ворсминская карстовая котловина» в Павловском районе Нижегородской области. В этой экскурсии, организованной и проведённой директором ООО «Дзержинская карстовая лаборатория» М.В.Леоненко, участвовали профессора В.П. Хоменко, А.А. Лаврусевич (МГСУ), В.Н. Катаев и научный сотрудник Д.Р. Золотарёв (ПГУ).

На территории г. Дзержинска был осмотрен участок карстологических исследований «**Гнилищие дворики**» (рис. 1). Особенностью его является то, что на площади, близкой к 1,5 га (т.е. на площади, отводимой обычно под строительство 1-2 зданий), зафиксировано 25 карстовых воронок диаметрами от 5 до 40 м. Здесь карстуются нижнепермские гипсы, перекрытые с поверхности ~40–50 метровой песчаной толщей четвертичного аллювия и ~20-30 метровой пачкой глинистых отложений уржумского яруса средней перми. Этот участок входит в состав большего по площади поля карстовых воронок, которое пересекается несколько севернее автодорогой М-7 «Москва - Нижний Новгород – Казань». Разброс размеров карстопроявлений на участке хорошо иллюстрирует их вероятностный характер и показывает несостоятельность применения, по крайней мере в этих условиях, лишь детерминистического (с использованием жёстких расчётных схем) подхода при прогнозировании карстово-провальной опасности. Об этом много говорили на «круглом столе».

На «**Пивоваровском**» карстовом участке имеется несколько полей карстовых воронок. Здесь наиболее интересным объектом проведённой экскурсии, очевидно, можно считать провальную воронку, образовавшуюся в результате известного «Пивоваровского» карстового провала в 1959 г. (рис. 2). Первоначальный диаметр провала составлял 16–18 м при глубине до заполнившей его воды 30 м. В районе провала карстующиеся карбонатные и сульфатные породы пермского возраста вскрыты скважиной под мощной (62 м) толщей уржумских отложений преимущественно глинисто-алевритового состава. В настоящее время на месте провала сформировалась сухая конусовидная воронка диаметром около 70 м и глубиной 23 м. Вблизи неё находятся несколько карстовых воронок различного диаметра, некоторые из них слиты в единую форму и заполнены водой («озеро Саконцево»). Ближайшая из них (в ~20 м южнее) имеет диаметр в 5 раз меньший, чем воронка Пивоваровского провала. Интересно отметить, что через неделю после экскурсии в южной части озера Саконцево произошёл провал, через который оно было практически полностью обезвожено. Внешних признаков предшественников провалообразования экскурсанты не отметили. В настоящее время «ствол» провала кольматируется и постепенно идёт восстановление уровня воды в озере.

Пивоваровский участок хорошо иллюстрирует иллюзорность достаточно расхожего мнения, что десятиметровая толща глинистых отложений, перекрывающая карстующиеся породы, надежно защищает сооружения от проявления карстовых процессов на поверхности.

Участок опытных карстологических исследований "Гнилицкие дворики"

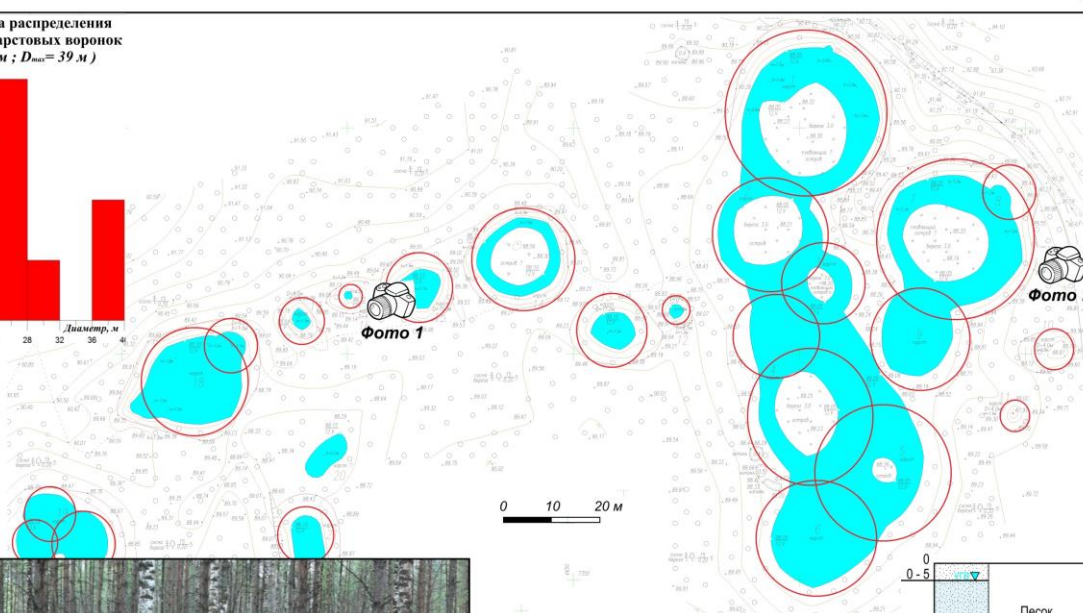
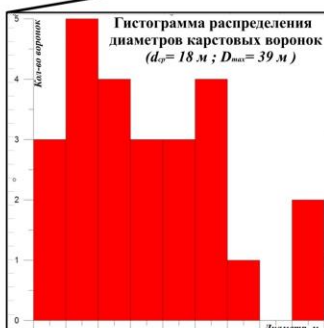
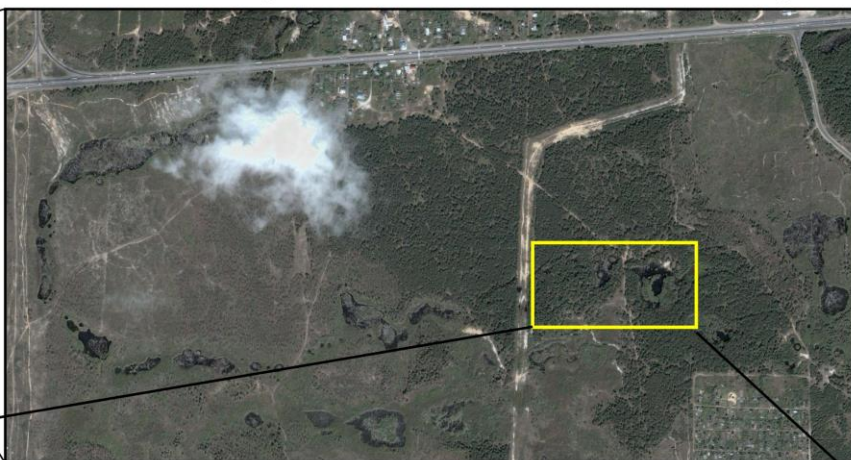


Фото 1. Карстовая воронка ($d = 5 \text{ м}$) в центральной части участка

Фото 2. Крупная ($d = 39 \text{ м}$) карстовая воронка в восточной части участка

Схематичная
геолого-литологическая
колонка



Участок опытных карстологических исследований “Пивоварово”

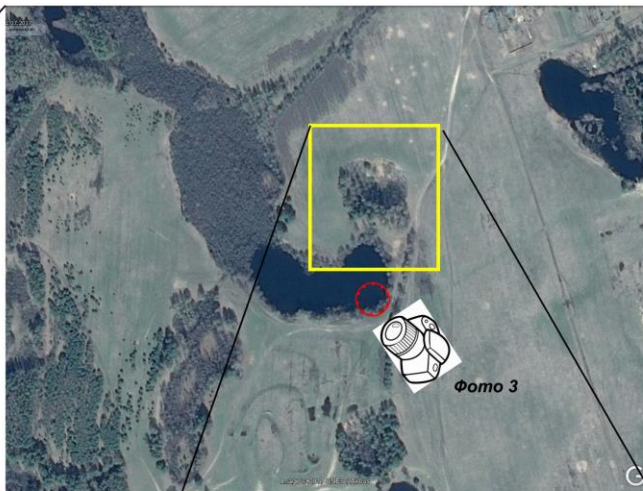


Фото 1. Воронка между Пивоваровским провалом и оз.Саконцево (d = 15м, h = 6м)

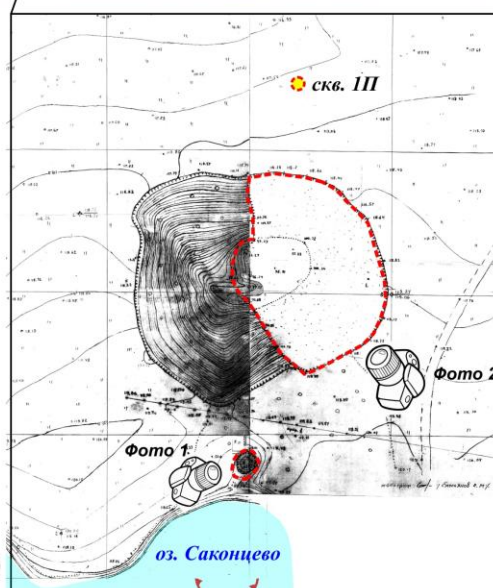


Фото 2. Воронка Пивоваровского провала 1959 года (d = 18 м, h > 30 м)
На момент фотосъемки (2009 г.) d > 70м, h = 23 м.



скважина 1П	
0	Глина, алевролит с редкими прослоями (до 0,5 м) гипса и доломита
62	
67	Доломит и гипс
73	Гипс
79	Полость
91	Доломит

Фото 3. Карстовый провал (октябрь 2017г) вблизи южного берега оз.Саконцево вызвал его обмеление.



При осмотре **Ворсминской карстовой котловины** вблизи здания больницы участникам экскурсии было показано несколько свежих карстовых воронок с незалеченными еще субвертикальными трещинами. Спустя месяц в 300 м восточнее этого здания под углом частного жилого дома был обнаружен и оперативно ликвидирован засыпкой глинистым грунтом провал диаметром 1,5 м и глубиной 4 м.

По мнению участвовавших специалистов, экскурсия была весьма полезной. Она ещё раз показала недопустимость упрощенного подхода при прогнозировании карстового процесса, справедливость вероятностной оценки карстоопасности и важность её применения в инженерной практике. Осмотренные участки поверхностных карстопоявлений могут служить хорошим полигоном для апробации различных методов изучения карста (в том числе и теоретико-расчетных) и их верификации в соответствии с требованиями современных нормативных документов.

Заключение

Проведенное обсуждение проблемы устойчивого развития в карстовых районах, в том числе, карстового риска (с позиции использования данного понятия в инженерной практике) показало не только сложность этой проблемы, но и целесообразность дальнейшего изучения различных аспектов ее. Решение проблемы будет успешным, если инженеры осознают степень объективности вероятностных и вероятностно-детерминистических методов и сферы их приоритетного применения в различных природных и техногенных условиях. Об этом существует множество публикаций. Толчком в решении обсуждаемой проблемы явились положения о природно-техногенных рисках, сформулированные в Федеральных законах. К сожалению, в них отсутствуют предложения о путях назначения **допустимых** рисков. Применительно к карстоопасным территориям, это может привести к массовым аварийным ситуациям. В дискуссии приводились на этот счет убедительные примеры. Именно на это обстоятельство должно быть обращено внимание соответствующих государственных и общественных структур. Только констатация о наличии тех или иных карстовых рисков является лишь первым шагом. На этот счет полезно вспомнить известную поговорку: «Кто говорит **А**, тот должен сказать также **Б**».

В настоящее время имеются предложения по способам назначения допустимых рисков применительно к конкретным проектным решениям. В дальнейшем, очевидно, необходимо провести их обобщение и дополнительные исследования.

УЧАСТНИКИ КРУГЛОГО СТОЛА

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет: **И.С. Соболев** - проректор по научной работе, профессор, д.т.н.; **Д.В. Монич** - начальник управления научных исследований, инноваций и проектных работ, к.т.н.; **В.В. Толмачев** - профессор кафедры ЮНЕСКО, к.т.н.; **А.В. Иванов** - доцент той же кафедры, к.э.н.

Московский государственный исследовательский строительный университет: **А.А. Лаврушевич** - заведующий кафедрой «Инженерные изыскания и геоэкология», профессор, д.г.-м.н.; **В.П. Хоменко** - профессор той же кафедры, д.г.-м.н.; **М.М. Уткин** - аспирант.

Пермский государственный исследовательский университет: **В.Н. Катаев** - декан геологического факультета, заведующий кафедрой динамической геологии, профессор, д.г.-м.н.

Институт геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева (Москва): **А.В. Аникеев** - гл. научный сотрудник, д.г.-м.н.
ООО «Дзержинская карстовая лаборатория»: **М.В. Леоненко** - директор, к.г.-м.н., **О.В. Юргин** - гл. геолог, к.т.н.
АО «Стройкарст» (Дзержинск): **Б.А. Гантов** - ген.директор, заслуженный геолог России; **О.Р. Максимова** - вед. специалист; **Т.Ф. Мамонов** - вед. специалист; **А.Н. Чечунов** - исп. директор;
ООО «Противокарстовая и береговая защита» (Дзержинск- Пермь): заместители ген. директора **Н.Е. Копусов** и **А.В. Смирнова**, **Д.Р. Золотарев** - научный сотрудник, к.г.-м.н.
НИИПТМ -17 (Нижний Новгород, Дзержинск): **Л.В. Жукова** - директор.
В дискуссии приняли участие также другие специалисты, плодотворно сотрудничающие с В.В. Толмачевым: **Р.Б. Давыдько** - географ-геоморфолог. **С.А. Махнатов** - магистр по направлению «Строительство», **Н.А. Сураев** и **Л.А. Столбовва** – переводчики.

Список литературы и источников

Федеральные законы РФ

7-ФЗ. Об охране окружающей среды

184-ФЗ. О техническом регулировании.

190-ФЗ. Градостроительный кодекс Российской Федерации.

384-ФЗ. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений

Сводь правил и стандарты

СП 11-105-97, ч.II. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.

СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений.

СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах

СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения.

СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты.

СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.

СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических. Основные положения.

ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

Региональные документы

Временные указания по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных. Москва. 1978.

Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. Москва. 1984.

ТСН-302-50-95-РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Республики Башкортостан. Уфа, 1996.

ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород, 1999.

ТСН 11-301-2004 По. Инженерно-геологические на закарстованных территориях Пермской области. Пермь, 2004.

ТСН 31-11-06 Пк. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края. Пермь, 2006.

Рекомендации по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород, 2012.

Методические документы

Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий в карстовых районах СССР. Москва, 1967.

Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР. Москва, 1967.

Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях. НИИОСП, 1985.

Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты. М., Стройиздат, 1987.

Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. ПНИИИС, 1995.

Монографии и учебники

Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. М.: РУДН, 2017. - 387 с.

Кутепов В.М., Кожевникова В.Н. Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989. - 151 с.

Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М.: Высшая школа, 1982. - 511 с.

Москва: геология и город / Гл. ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев. М.:АО «Московские учебники и картолитография, 1997. - 400 с.

Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М.: Стройиздат, 1986. - 177 с.

Толмачев В.В., Ройтер Ф. (при участии Хоменко В.П., Зудерлау Г., Молека Х.). Инженерное карстование. М.: Недра, 1990. - 152 с.

Хоменко В.П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. М.: Наука, 1986. - 97 с.

Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.:ГЕОС, 2003. - 216 с.

Шахунянц Г.М. Земляное полотно железных дорог. Вопросы проектирования и расчета. М.: Трансжелдориздат, 1953. - 827.

Aderhold G. Klassikation von Erdfällen und Senkungsmulden in Karstgefährdeten Gebieten Hessens. Wiesbaden, HLUG, 2005. - 100 S. (Монография переведена В.В. Толмачевым на русский язык. 2010, ННГАСУ).

Karst management / Ed. P. E. van Beynen. Springer, Dordrecht, 2011. 489 p.

Reuter F., Tolmačev V.V. Bauen und Bergbau in Senkugs – und Erdfallgebieten. Berlin, Akademie-Verlag, 1990. 177 S.

Sowers G.F. Building on sinkholes. New York, ASCE press. 1996. 202 p.

Статьи

Аникеев А.В. Шкала карстово-суффозионной опасности и риска // Материалы Международного симпозиума «Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах», 26 – 29 мая 2015 - Пермь 2015. С. 154-158.

Аникеев А.В. Опасность и риск образования воронок повала и оседания в карстовых районах: основные показатели, подходы и способы оценки // Инженерная геология, 2016, №5. С. 10–18.

Леоненко М.В., Толмачев В.В. Анализ причин повреждения промышленного здания в г. Туле вследствие карстовых провалов // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях. Том 2. Уфа, 2006. С. 86 – 90.

Миронов В.А. Сравнительная оценка методов прогнозирования диаметров провалов // Сб. «Современные методы получения и обработки информации при инженерно-геологических изысканиях», М. 1990. С. 68–78.

Мулдер Э., Осипов В.И., Кутепов В.М., Толмачев В.В., Макаров В.И., Миронов О.К., Катаев В.Н., Еремина О.Н. К оценке опасности и риска на городских и промышленных закарстованных территориях на примере опорных участков в Москве и Дзержинске // Материалы Международного симпозиума «Карстоведение – XXI век: теоритическое и практическое значение». Пермь, 2004. С. 29 – 36.

Мулюков Э.И., Колесник Г.С., Урманшина И.Э. История строительства и ликвидации здания, построенного на палеокарстовых воронках // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях. Том 2. Уфа, 2006. С. 98 – 106.

Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Толмачев В.В., Безволев С.Г., Мозгачев. Карстологические аспекты проектирования и строительства зданий и сооружений жилого микрорайона в Павшинской пойме // Материалы конференции «Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях» (22 – 23 мая 2012, Уфа), Уфа. С. 90 – 101.

Толмачев В.В. Разрушение промышленного здания г. Дзержинске вследствие карстового провала как результат комплекса управленческих и инженерных ошибок // Труды Международной конференции по геотехнике «Взаимодействие сооружений и оснований. Методы расчета и инженерная практика. С-Петербург, 2005. – С. 329 – 333.

Толмачев В.В. Оценка рисков при строительстве в карстовых районах // X научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций. Москва: МЧС России, 5 -6 октября 2010. С. 282 – 290.

Толмачев В.В. Принципы устойчивого развития территорий в карстовых районах и примеры из практики их применения // Геоэкология, 2014, № 1. – С. 3 – 9.

Толмачев В.В. Нормативно-методическая база строительства в карстовых районах России: критический анализ, предложения по совершенствованию // Материалы Международного симпозиума «Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах», 26 – 29 мая 2015 - Пермь 2015. С.42 – 47.

Толмачев В.В., Троицкий Г.М. Определение расчетного размера карстового провала при проектировании противокарстовых фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов, №2.- С. 22 – 24.

Толмачев В.В., Леоненко М.В., Махнатов С.А., Уткин М.М. Использование понятие карстового риска при инженерно-строительном освоении закарстованных территорий // Материалы конференции «Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях» (22 – 23 мая 2012, Уфа), Уфа. С. 233 – 240.

Толмачев В.В., Леоненко М.В. Стохастические методы прогноза карстовой опасности: мировой опыт, проблемы // Труды конгресса Международного научно-производственного форума «Великие реки -2017. Нижний Новгород. ННГАСУ, 2017.

Хоменко В.П. Карстово-обвальные провалы «простого» типа // Инженерная геология, 2009, № 4. С. 40 – 48.

Хоменко В.П. Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности // Материалы Международного симпозиума «Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах», 26 – 29 мая 2015 - Пермь 2015. С.50 – 59.

Katzenbach R. Baugrundrisiko – Wer ist welchen Fällen verantwortlich ? // Vorträge zum 2. Darmstadter Geotechnik-Kolloquim. 1995.

Sorochan E.A., Troizky G.M., Tolmachev V.V., Klepikov S.N., Meteluk N.S., Grigoruk P.D., Khomenko V.P. Antikarst protection for building and structures /XI International society for soil mechanics and foundation engineering, San Francisco 1985. P. 2457 – 2460.

Tolmachev V.V., Leonenko M.V. Experience in collapse risk assessment of building on covered karst landscapes in Russia / Karst management (Ed. P. E. van Beynen). Springer, Dordrecht, 2011. - P. 75 – 102.