

**МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**



Материалы Международного симпозиума

**“ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ”**

Екатеринбург, Россия

30 июля – 2 августа 2001 года



“EngGeolCity-2001”

I



Спонсор издания: Научно-производственный центр «КАРСТ»

Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий / Материалы Международного симпозиума. – Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2001 г. – 2 тома. – 792 стр.

ISBN 5-94544-002-7

Материалы Международного симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий» включают труды ученых и специалистов из России и стран СНГ, освещают вопросы по семи темам симпозиума. Издан компакт-диск с материалами симпозиума на английском языке, включающий также труды ученых и специалистов зарубежных стран. Публикация материалов осуществлена в редакции авторов.

Редакционная коллегия: В.И. Осипов (главный редактор), Н.А. Румянцева (зам. главного редактора), В.В. Баулин, В.И. Бондарев, О.Н. Грязнов, В.Г. Зотеев, С.Е. Лукина, Б.Н. Мельников, В.В. Лушников, И.А. Парабучев, А.Л. Рагозин, Л.И. Рыбникова, В.М. Слукин, И.С. Шахов

ТОМ I

- Тема 1. Инженерная геология и рациональное использование урбанизированных территорий
- Тема 2. Инженерно-геологические и инженерно-геоэкологические изыскания на урбанизированных территориях
- Тема 3. Природные опасности и устойчивость городских территорий

ТОМ II

- Тема 4. Техногенные изменения геологической среды урбанизированных территорий
- Тема 5. Использование подземного пространства города
- Тема 6. Методы защиты памятников истории, архитектуры и культуры
- Тема 7. Геоинформационные системы (ГИС) геологической среды урбанизированных территорий

ISBN 5-94544-002-7

© ЗАО «УралТИСИЗ», 2001

лищах Волжского каскада. Естественно, что порядок использования этих средств должен уточняться для каждого конкретного водоема с использованием более детальных оценок абразионного риска, как, например, это было сделано для Цимлянского водохранилища (см. рис. 2).

Работа выполнена по гранту РФФИ № 00-05-65239.

Литература

1. Рагозин А.Л., Бурова В.Н. Метод прогнозной экспресс-оценки интенсивности переработки берегов водохранилищ // Гидротехническое строительство. 1993. № 10. С. 20–26.
2. Рагозин А.Л. Современное состояние и перспективы оценки и управления природными рисками в строительстве. М.: ПНИИИС, 1995. С. 7–25.
3. Рагозин А.Л., Пырченко В.А., Тихвинский И.О., Хайме Н.М. Комплексный анализ и оценка последствий подъема уровня Каспия // Геоэкология. 1996. № 3. С. 16–37.
4. Рагозин А.Л. Общие закономерности формирования и количественная оценка природных рисков на территории России // Вопросы анализа риска. 1999. Том 1. № 2–4. С. 28–47.

ПРОТИВОКАРСТОВАЯ ЗАЩИТА СВЕРДЛОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Скубак В.Ф., Нецеткин О.Б.

*Управление Свердловской железной дороги, г. Екатеринбург,
НПЦ «КАРСТ», г. Дзержинск Нижегородской области, Россия*

Свердловская железная дорога занимает большие территории Предуралья и Урала, на которых развит сульфатный и карбонатный карст. Некоторые участки железной дороги расположены в пределах закарстованных речных долин, характеризующихся наличием многочисленных поверхностных форм карста, включая провалы.

С периодичностью в 5–10 лет карстовые провалы поражают земляное полотно железной дороги, создавая угрозу безопасности движения. В целях обеспечения безопасности эксплуатации железной дороги Службой пути Управления Свердловской железной дороги совместно с Научно-производственным центром «КАРСТ» разработана и внедрена комплексная программа противокарстовой защиты дороги, которая реализуется с 1992 г.

Комплексная программа позволяет эффективно соседотачивать противокарстовые работы в наиболее опасных местах, что способствует повышению безопасности эксплуатации дороги.

Введение

Проектирование, строительство и эксплуатация многих инженерных сооружений на закарстованных территориях обуславливает необходимость проведения детальных исследований закарстованности, определения параметров карстоопасности и разработки мер противокарстовой защиты.

Особые трудности возникают при эксплуатации в карстовых районах железных дорог. Вероятность образования провала за 100 лет и повреждения земляного полотна для Свердловской железной дороги приближается к единице даже в условиях пятой категории устойчивости по отношению к карстовым провалам.

Фактически случаев повреждения земляного полотна значительно больше. Это неоднократные образования провалов на 155 км Чусовской дистанции пути, 1914–1915 км Баженовской дистанции пути, 94 км Каменск-Уральской дистанции пути и на 1517 км Кунгурской дистанции пути. Свердловской железной дороге более 120 лет, и это далеко не полный перечень поражений земляного полотна карстовым провалом.

Поэтому в 1992 г. Управление Свердловской железной дороги в соответствии с рекомендациями проф. Печеркина И.А. поручило Научно-производственному центру «КАРСТ» разработку и внедрение комплексной программы противокарстовой защиты железной дороги.

Виды противокарстовой защиты железных дорог

Существует четыре вида противокарстовой защиты железных дорог.

1. Наблюдения за состоянием земляного полотна.

Цель наблюдений – своевременно зафиксировать образование провала и деформацию земляного полотна, что позволит предотвратить сход или крушение подвижного состава. В идеальном варианте необходима организация наблюдательных постов на наиболее закарстованных участках, что в практике эксплуатации железных дорог широко не применяется. Это самый дешевый способ противокарстовой защиты, однако, вероятность своевременного обнаружения провала невысока и не превышает 0,2–0,3.

Повышают эффективность наблюдений электронные или электромеханические системы слежения и оповещения. Однако известные случаи эксплуатации подобных систем на Горьковской железной дороге не дали положительного результата из-за технологических недостатков.

2. Выполнение водоотводных мероприятий.

Эффективность этих мероприятий ограничена. Положительный результат при организации водоотводных мероприятий может быть получен на участках, где карстующиеся породы залегают неглубоко и в зоне вертикальной инфильтрации. Здесь образование деформаций земной поверхности обусловлено длительным вымыванием рыхлых отложений в систему трещин и полостей в карстующихся породах. В результате этого на земной поверхности первоначально образуется локальное оседание или провал небольшого размера (Nechtchetkine, 1998), которые будут расширяться за счет продолжающегося вымывания и сноса рыхлых отложений в возникшую карстовую воронку. В этом случае поверхностные и временные подземные воды могут быть перехвачены поверхностными водоотводными системами, что значительно снизит вероятность образования провала. Карстовые воронки, находящиеся в непосредственной близости от земляного полотна, целесообразно тампонировать глиной с уплотнением и с предварительной цементацией поглощающего понора.

При мощности рыхлых отложений более 3–5 м эффективность поверхностных водоотводных мероприятий будет снижена. При сезонном обводнении покровной рыхлой толщи формируются временные подземные воды, скатывающиеся по поверхности карстующихся пород до поглощающих трещин или поноров.

При мощности рыхлых отложений более 10 м, а также в условиях их постоянного обводнения водоотводные мероприятия малоэффективны.

3. Устройство мостовых переходов через опасные зоны.

В ряде случаев, когда точно известно местоположение поглощающей трещины или понора, а водоотводные мероприятия и тампонаж по каким-либо причинам неэффективны, возможно устройство мостового перехода через опасную зону, используя скальный массив как основание. Подобная защита может иметь только локальный характер.

4. Тампонаж (заполнение) карстовых полостей, трещин, поноров и зон разрушенных и карстующихся пород.

Этот метод может применяться повсеместно, эффективность его высока и зависит от надежности прогноза карстоопасности, методики и технологии проведения тампонажных работ.

Как показывают наши исследования, максимальная скорость растворения сульфатных пород составляет 4–5 мм в год в пересчете для кровли полости. Скорость растворения карбонатных пород в сотни раз меньше. Поэтому заполнение карстовых полостей и зон разрушенных пород, которые являются главным источником карстовых провалов, инертными не размываемыми подземными водами материалами практически исключает в будущем образование провалов.

Комплексная программа противокарстовой защиты Свердловской железной дороги

Общие замечания

Методика исследования карста, оценка его активности и механизма формирования карстопроявлений, границы применения тех или иных способов расчетов параметров карстоопасности, выбор и назначение противокарстовых мероприятий и методика их выполнения в значительной мере зависят от концептуальных представлений о карстовом процессе.

По нашему мнению, карст является геологическим процессом преобразования растворимых пород, который включает несколько эпох. Интенсивность и особенности преобразования растворимой породы в ту или иную эпоху, степень унаследованности или изменения преобразований породы в последующие эпохи являются основными элементами геодинамики карстового процесса. Именно такой подход позволяет построить модель карстующегося массива, установить особенности распределения в нем карстовых полостей, определить условия сосредоточения опасных полостей и механизм образования карстовых провалов. Только совокупность этих знаний позволяет определить реальную карстоопасность каждого участка и выработать оптимальную схему противокарстовой защиты.

Очевидно, что формальное представление карстового процесса как простого взаимодействия воды с растворимой породой, а карстовых полостей в виде некоторых геометрически правильных пустот в массиве карстующихся пород, приведет к ошибкам в оценке карстовой опасности, выборе мер противокарстовой защиты и неверной технологии противокарстовых работ, что предопределяет неэффективность противокарстовой защиты в целом.

дежным методом определения современной скорости растворения является натурный эксперимент, когда образцы сульфатных пород помещаются в наблюдательные скважины сроком на один год.

Можно выделить несколько параметров, по которым напрямую или косвенно можно судить об активности карста и возможном его вредном воздействии на инженерное сооружение.

К косвенным параметрам относятся геоморфологические условия развития карста, несущие в себе следы карстования прежних эпох и этапов, гидрогеологические условия – различные режимы подземных вод, степень проницаемости покровных отложений, наличие «гидрогеологических окон», типы геологических разрезов, степень расчлененности поверхности карстующихся пород.

К прямым параметрам относятся плотность карстовых форм, в целом и по циклам, интенсивность провалообразования, особенности распределения параметров карстовых форм, их группировка по морфологическим признакам, особенности распределения карстовых форм в плане.

Совокупность полученных параметров позволяет выполнить сложную дифференциацию закарстованного участка и выбрать оптимальный способ расчета вероятности поражения земляного полотна карстовым провалом и провести ранжирование по этой вероятности.

В том случае, где расчеты по тем или иным причинам невозможны, определение ранга карстоопасности участка осуществляется методом аналогий по перечисленным выше параметрам.

Поиск карстовых полостей и разрушенных зон

В пределах наиболее карстоопасных участков необходимо в первую очередь выделить зоны возможного сосредоточения карстовых полостей.

Данные, полученные при детальном исследовании карста, и модель геодинамики карстового процесса позволяют выделить такие зоны. В первую очередь, это зоны древних карстовых форм, располагающиеся под земляным полотном или в непосредственной близости от него, а также карстовые воронки, располагающиеся вблизи земляного полотна (на расстоянии, равном 1–3 диаметру). Во вторую очередь, это места пересечения железной дорогой линейных карстовых полей.

На многочисленных примерах доказано, что для сульфатного карста большинство новых провалов образуются за счет развития остаточных полостей вокруг древних провалов, а для карбонатного карста – в пределах трещиноватых зон, выходящих на поверхность карстующихся пород.

Освоение территории приводит, как правило, к уничтожению большинства карстовых форм. В этом случае целесообразно применение геофизических методов. Вертикальное электрическое зондирование, электропрофилирование, электрокаротаж, радиоволновые методы не дали существенных результатов при локализации мест расположения карстовых полостей. Хорошие результаты получены при использовании сейсморазведки с исследованием полей рефрагированных и дифрагированных волн (Афанасиади и др., 2000). В ряде случаев удалось надежно выявить места сосредоточения полостей.

Разведочное бурение дает информацию как об элементах геологического строения участка, так и характеристику структурно-текстурных особенностей карстующихся пород, что в совокупности с карстологическими и геофизическими исследованиями позволяет определить оптимальный вариант тампонажных работ.

Модели карстующихся массивов, основные методические особенности тампонажа карстовых полостей и зон их сосредоточения

Выбор методики тампонажа карстовых полостей и зон их сосредоточения имеет принципиальное значение и главным образом связан с моделью массива карстующихся пород и типом карстовых полостей.

Основными параметрами модели карстующегося массива являются тип и возраст карстующихся пород, геолого-структурные и гидрогеологические характеристики массива, количество эпох и этапов карстования и унаследованность эпох и этапов.

Разнообразное сочетание этих параметров обуславливает формирование специфических систем карстовых полостей. В качестве примера можно предложить два резко отличающихся типа массива.

Первый пример – карбонатный массив с наклонным залеганием пород, слагающих платообразные приподнятые участки в зоне нисходящей циркуляции и прикрытых мало мощными рыхлыми отложениями.

Системы карстовых полостей закладываются и развиваются на всех этапах развития карста, приурочены к системам главных трещин (литогенетических, тектонических, бортового отпора) и областям локальных эрозионных врезов. Образование поверхностных карстовых форм в данном случае заключается во вмывании рыхлых отложений через трещины в карстовые полости. Развиваются два типа карстовых форм: провалы, превращающиеся в конусообразные-чашеобразные воронки просасывания с понором на дне и локальные оседания чашеобразной-блюдеобразной форм. Последние в процессе своего развития также могут превращаться в воронки просасывания.

Анализ строения полей карстовых форм и рельефа земной поверхности в сочетании с данными сейсморазведки позволяет определить пространственное расположение основных систем трещиноватости и наметить основные тампонажные скважины.

Нагнетание тампонажного раствора целесообразно выполнять с нижних интервалов пустотности в границах тех зон, которые могут вызвать образование воронок и деформаций земляного полотна.

Второй пример – сульфатный массив в речной долине, перекрытый чехлом карстово-обвальных и аллювиальных отложений. Как правило, карстово-обвальное отложение представлено щебнем, дресвой, мукой карбонатных и сульфатных пород с глинистым заполнителем и являются продуктами древнего выветривания, переотложенными или залегающими на месте образования (кора выветривания).

В этом случае преобладающим является коррозивно-эрозионный тип полостей, которые сосредотачиваются в эродированной кровле сульфатного массива (Вострикова и др., 2000). Возможно наличие промежуточных полостей и в карстово-обвальном отложении. Механизм образования карстовых форм в основном провальный, но это не классический вариант обрушения кровли карстовой полости, поскольку многие полости находятся в нишах эрозионных останцов и бортах локальных эрозионных врезов.

Участки сосредоточения таких полостей определяются на основе анализа пространственной неоднородности распределения карстовых форм, особенностей микрорельефа и разведочного бурения. Сейсморазведка в ряде случаев позволяет уточнить строение кровли сульфатного массива и даже определять местоположение погребенных карстовых форм.

В таких условиях тампонаж карстовых полостей и зон их сосредоточения целесообразно с верхних интервалов пустотности, а в зонах древних карстовых провалов – с нижних интервалов.

Когда карстовые полости располагаются в карстующемся массиве и находятся в стадии обрушения, а их кровля сложена скальными породами или коренными некарстующимися породами, требуется особая методика проведения тампонажных работ.

Во-первых, вскрытая буровой скважиной высота полости равна половине вероятной максимальной ее высоте, во-вторых, каналы, соединяющие полости в системы, по которым сосредотачивается подземный сток, располагаются в подошве карстовой полости. Исходя из этих условий, нагнетание тампонажного раствора в одиночную скважину неизбежно приведет к образованию изолированного пустотного объема в сводовой части полости, не заполненного тампонажным раствором. Во избежание этого необходимо бурение двух скважин и нагнетание тампонажного раствора первоначально в скважину с более низкой абсолютной отметкой кровли. Вторая скважина выполняет роль разгрузочной и наблюдательной за динамикой нагнетания.

Состав тампонажного раствора может быть разнообразный, но в практике работ наиболее надежным является песчано-цементно-глинистый раствор с примерным объемным соотношением компонентов 10:4:1.

Такой раствор при достаточной пластичности и подвижности обеспечивает надежное заполнение полостей, не размывается подземными водами и переходит в непластичное состояние через 10–14 суток после завершения работ. Прочность цементного камня в заполненных полостях соизмерима с прочностью окружающих сульфатных пород.

Использование только глинистых или иных пластичных материалов имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, при взаимодействии с подземными водами неизбежно их разжижение и частичный или полный вынос из карстовых полостей; во-вторых, пластичный наполнитель может выдавливаться в соседние незаполненные полости и даже в покрывающие отложения при обрушении кровли полости и образовании провала.

Подобные случаи один из авторов наблюдал на участках мелового карста в Ровенской области (Украина).

Оценка эффективности тампонажных работ

Оценка эффективности тампонажных работ включает в себя систему (методику) расчетов и контрольное бурение.

Условия залегания и основные параметры карстовых полостей, степень разуплотнения карстово-обвальных отложений, динамические характеристики тампонажа, полученные при наблюдении за изменением рабочего давления и уровнями подземных вод в наблюдательных и тампонажных скважинах, позволяют рассчитать оптимистическую и пессимистическую модели заполнения пустотных и разуплотненных интервалов тампонажным раствором.

Оптимистическая модель расчета включает определение реальных объемов карстовых полостей и разуплотненных зон и сравнение их с объемами закаченного тампонажного раствора. Хороший практический результат достигается в случае двукратного превышения фактического объема тампонажного раствора над расчетными параметрами.

В пессимистической модели пустотное пространство аппроксимируется круглыми или эллиптическими цилиндрами. В этом случае хороший результат достигается при соотношении расчетных объемов с фактическим объемом тампонажного раствора 1,0–0,9.

Контрольное бурение целесообразно назначать для наиболее и наименее заполненных мест, а также для больших карстовых полостей.

Многолетний опыт тампонажных работ в областях распространения сульфатного карста в пределах Свердловской дороги, а также при защите гражданских и промышлен-

ных сооружений свидетельствует о высокой эффективности разработанных и внедренных в практику работ методик.

Карстовый мониторинг

Специальный карстовый мониторинг в полном объеме вряд ли целесообразен на железных дорогах, систематические наблюдения можно проводить, не прибегая к дополнительным затратам.

Для этого во время текущего и капитального ремонта земляного полотна и инженерных сооружений ответственные представители дистанций пути осматривают находящиеся вблизи карстоопасные участки на предмет выявления новых карстовых форм и повторных деформаций в пределах старых карстовых форм.

Основой служат специальные паспорта карстоопасных участков, в которых на плане масштаба 1:500 в полосе вдоль железной дороги шириной 150–200 м отражены все зафиксированные поверхностные карстопроявления, а в каталоге даны размеры и полное описание морфологических особенностей карстовых форм.

При весенних и осенних осмотрах проводится полный осмотр карстоопасных участков с привлечением сотрудников геобазы и специализированных мероприятий.

Паспортизация Свердловской железной дороги проводится с 1994 г., в настоящее время составлены паспорта для большинства закарстованных участков, наблюдения за которыми ежегодно проводятся НПЦ «КАРСТ».

Заключение

Противокарстовая защита сложных инженерных сооружений, как показывает практика защиты Свердловской железной дороги, нуждается в серьезном инженерно-геологическом обосновании. Комплекс методов исследования карста позволяют надежно определять карстоопасные участки, отслеживать динамику провального процесса, уточнять параметры карстоопасности, назначать оптимальные виды и объемы противокарстовой защиты и оценивать их эффективность.

Литература

1. Афанасиади Э.И., Бодин В.В., Грязнов О.Н., Дубейковский С.Г., Нещеткин О.Б. Изучение, оценка и прогноз закарстованности карбонатных массивов железнодорожных трасс. Известия УГГА. Серия: геология и геофизика. Вып. 10. 2000: 229–233 с.
2. Вострикова Н.В., Сафронова А.А., Нещеткин О.Б. Особенности сульфатного карста речных долин. Сергеевские чтения. Выпуск 2. 2000. 66–69 с. Москва: ГЕОС.
3. Nechtchetkine Oleg. 1998. Sinkhole development models for the covered sulphate karst conditions. Proc. Eighth Int. Congr. IAEG, VANCOUVER, CANADA: 2185–2192 p. Rotterdam: BALCEMA.