

**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 «УралГИСИЗ», 2001

КАРБОНАТНЫЙ КАРСТ АЛАПАЕВСКО-КАМЕНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ (ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН УРАЛА)

*Афанасиади Э.И., Грязнов О.Н., Дубейковский С.Г.,
Нещеткин О.Б., Вологжанина Н.А., Горбова С.В.
Уральская государственная горно-геологическая академия,
Екатеринбург, Россия*

Рассмотрены основные черты геологии Алапаевско-Каменского синклинория, положение в разрезе карбонатных пород, региональные и локальные условия развития карста, районирование синклинория по геологическим условиям распространения карстующихся отложений. На примере Северо-Богдановичского месторождения известняков охарактеризована закарстованность массивов карбонатных пород. Освещена проблема инженерного освоения закарстованных территорий восточного склона Урала.

Общие закономерности карстообразования изложены в работах Д.С. Соколова, И.В. Попова, Н.А. Гвоздецкого, Г.А. Максимовича. В предлагаемом докладе рассмотрены региональные и локальные условия развития карста в структурно-вещественных комплексах Алапаевско-Каменского синклинория. Последний входит в состав Алапаевско-Теченской области Восточно-Уральского пояса распространения карстующихся и закарстованных карбонатных пород. Закономерности развития карстового процесса рассматриваемой территории обусловлены ее геологическим строением, историей геологического развития, литологией, степенью тектонической нарушенности горных пород, гидродинамикой, химическим составом поверхностных и подземных вод.

Объектом исследований явилась полоса карбонатных пород ниже- (визейский, серпуховский ярусы), средне- (башкирский, московский ярусы) каменноугольного возраста шириной 5–8 км, протягивающаяся вдоль восточного склона Урала на расстоянии свыше 180 км от г. Артемовска на севере до оз. Б. Куяш – на юге. Формирование синклинория связано с герцинским тектогенезом и обусловлено чередованием вулканогенных, терригенных и карбонатных пород, собранных в сложную складчатую систему. Складчатая структура осложнена меридиональными, широтными и диагональными разрывами. Восточное крыло синклинория осложнено небольшими молассовыми впадинами нижнего-среднего триаса и перекрыто чехлом континентальных отложений мелового-четвертичного возраста мощностью 0–60 м.

Терригенно-карбонатные и карбонатные отложения нижнего и среднего карбона выполняют Алапаевскую, южнее Смолинскую синклинали на западе и Егоршинско-Каменскую синклинали на востоке, разделенные Махнево-Артемовской и Щербаковской антиклиналями. Отложения начальной стадии формирования синклинальных структур в C_1t_2 – V_2 фациально различались. В северных прогибах песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты восточных структур к западу сменялись известняками. К верхам турне-среднему визе разрез представлен терригенными отложениями с пластами углей и прослоями известняков. На южном фланге синклинория угленосная моласса фациально замещается базальтовыми, андезит-базальтовыми и андезитовыми порфиритами и их туфами.

В нижней половине верхнего визе продолжает сохраняться прибрежно-морской режим. В дальнейшем морская трансгрессия расширяется и в верхах верхнего визе на рассматриваемой территории устанавливаются нормальные морские условия. Этот период фиксируется повсеместным отложением известняков. В серпуховское время в северных впадинах отлагались толщи известняков, местами известняковых брекчий, в то время как в южных структурах формировались доломитизированные известняки, доломиты с прослоями известняков, алевролитов, аргиллитов, известковистых песчаников. Башкирское время характеризуется регрессией моря и формированием груботерригенных отложений шельфа с редкими прослоями известняков и известняковых брекчий. Комплекс отложений московского яруса и верхнего карбона фиксирует неустойчивый режим периодических колебаний и смены прибрежно-морских условий континентальными с переслаиванием в разрезе известковистых конгломератов, алевролитов, аргиллитов, сероцветных и красноцветных песчаников, ангидритов, доломитов, известняков.

Длительный континентальный перерыв, установившийся с позднего палеозоя до наступления верхнемеловых морских трансгрессий, способствовал формированию мощных кор физического и химического выветривания при активном сочетании климатических, геологических, тектонических и гидрогеологических факторов. Согласно М.С. Рапопорту, М.Н. Анненковой и И.З. Шубу на исследуемой площади преобладают мезозойские коры выветривания. Оligоценовые коры существенно уничтожены эрозией и денудацией. Миоценовое выветривание фиксируется очень редко в виде красноцветного наложения на мезозойский элювий. В плиоцен-четвертичное время выветривание выразилось в образовании дресвяно-щебенистого элювия без существенного изменения химического и минерального состава горных пород. Мощность коры выветривания варьирует от 0 до 140 м, составляя по разрезам большинства скважин 5–20 м. Выделяются остаточный и перемещенный генетические типы кор выветривания, а по морфологии – площадной и линейный. Коры характеризуются каолиновым профилем выветривания. В разрезе выделяются три зоны: дезинтеграции, промежуточных продуктов (гидрослюдисто-монтмориллитовая) и глинистых (каолинитовая) продуктов.

В карбонатных горных породах Алапаевско-Каменского синклинория широко проявились процессы карстообразования. Проведенные исследования позволяют выделить три основных периода развития карста: среднекарбонный (башкирско-московское время); мезозойский (меловой, возможно J_2-K) и плиоцен-четвертичный до современного (N_2-Q_{IV}).

Ранний период карстообразования может быть связан с инверсией тектонических движений. В позднебашкирское время они прервали процессы осадконакопления, а начиная с московского века весь район вступил в континентальную стадию развития. На поверхности нижнекаменноугольных известняков, особенно в приконтактных зонах с терригенными отложениями и по тектоническим нарушениям проявились интенсивные процессы карстообразования. Следствием явилось возникновение замкнутых разнопорядковых впадин. Последние при дальнейшем развитии карста трансформировались в субмеридиональные депрессии, впоследствии заполненные грубообломочным и глинистым материалом.

На денудационной поверхности палеозойского складчатого фундамента, в т.ч. карбонатных отложений карбона, с резким угловым несогласием залегают континентальные осадки K_1 . Их разрез начинается с инфлювиальных отложений алапаевской толщи (K_{1a}), выполняющих карстовые впадины в полях развития ниже- и средне-каменноугольных известняков и слагающих небольшие изолированные участки в Алапаевском, Сухоложском, Богдановичском, Каменском районах. Они известны под названием «беликовой толщи» и сложены песчано-глинистыми и кремнистыми рыхлыми породами белого, серого и светло-бурого цвета с углова-

тыми обломками окремненных известняков, кремней, кварцитов, в различной степени выветрелых. Размер обломков от нескольких миллиметров до 30 см и более. В низах разреза залегают гнезда, линзы и прослои бурого железняка и сидерита мощностью до 10 м.

Наличие карстующегося субстрата явилось благоприятным условием формирования отрицательных форм рельефа. Однако места заложения и ориентировка основных депрессий рельефа при однородном составе карстующихся пород определялось главным образом тектоническими особенностями территории.

Плиоцен-четвертичный – современный карст распространен ограниченно. Проявляется он не повсеместно и с неодинаковой интенсивностью. Небольшие участки неоген-четвертичного карбонатного карста отмечены на водоразделах рек Пышмы, Кунары, Б.Калиновки, Исети, Каменки, а также на склонах речных долин, где карстующиеся породы непосредственно выходят на дневную поверхность или покрыты маломощным чехлом четвертичных отложений.

В районе выделены следующие формы поверхностного карста: западины, воронки, лога, пещеры. Западины блюдцеобразной формы глубиной от 0,4–0,6 до 1–2 м, диаметром 30–100 м, иногда удлиненной формы. Воронки – овальной, округлой формы в плане, в разрезе – чашеобразные, конусовидные, цилиндрические, диаметром от единиц метров до 15–30 м, глубиной от первых метров до 10–15 м, достигая в единичных случаях 20–30 м. Карстовые воронки хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках, приурочиваются к зонам повышенной трещиноватости, контактам карбонатной толщи с терригенными породами. Нередко они сливаются друг с другом, образуя ложбинообразные понижения и котловины, карстовые лога, карстовые долины различного поперечного профиля и длины. Пещеры небольшие, в виде ниш, ходов в обрывистых речных склонах, сложенных известняками (рр. Каменка, Исеть, Кунара). По результатам карстологического обследования участка с ПК 928 до ПК 943 ж. д. Свердловск-Курган, проведенного в полосе отвода дороги и на сопредельных территориях; зафиксировано около 90 карстовых форм (рис. 1), вдоль ж. д. Рефт-Богданович на участке ст. Кунара – Богданович установлено 150 карстовых форм.

По геологическим условиям распространения карстующихся пород в Алапаевско-Каменском синклинии можно выделить Алапаевский, Буланашский, Сухоложско-Каменский и Усть-Багарякский районы. В пределах наиболее изученного Сухоложско-Каменского района установлен открытый и покрытый карст. Первый (неоген-четвертичный) распространен ограниченно в бортах речных долин (Пышмы, Кунары, Исети, Каменки, Б. Калиновки) и на их водоразделах. В трансэлювиальных ландшафтах карстующиеся и доломитизированные известняки выходят на дневную поверхность, а в элювиальных ландшафтах перекрыты маломощным чехлом мезо-кайнозойских отложений.

Для изучения закономерностей развития глубинного мезозойского карста нами рассмотрены инженерно-геологические и гидрогеологические условия ряда месторождений известняков: Кунарского, Каменского, Сунгульского, Северо-Богдановичского, Мазулинского месторождений подземных вод.

Северо-Богдановичское месторождение известняков расположено в пределах меридионально вытянутой полосы карбонатных пород нижнего карбона и приурочено к восточному крылу одной из синклиналий складок западной части Каменского синклиория. Простираение известняков субмеридиональное ($353-10^\circ$), падение крутое ($53-70^\circ$) западное ($263-280^\circ$). Среди известняков по структурным признакам выделяются две основные разновидности – органогенные (детритусовые) и обломочные (известняковые брекчии). В зависимости от состава минеральных примесей, на основании макро-микроскопических описаний среди органогенных известняков выделяются: 1) чистые по химическому

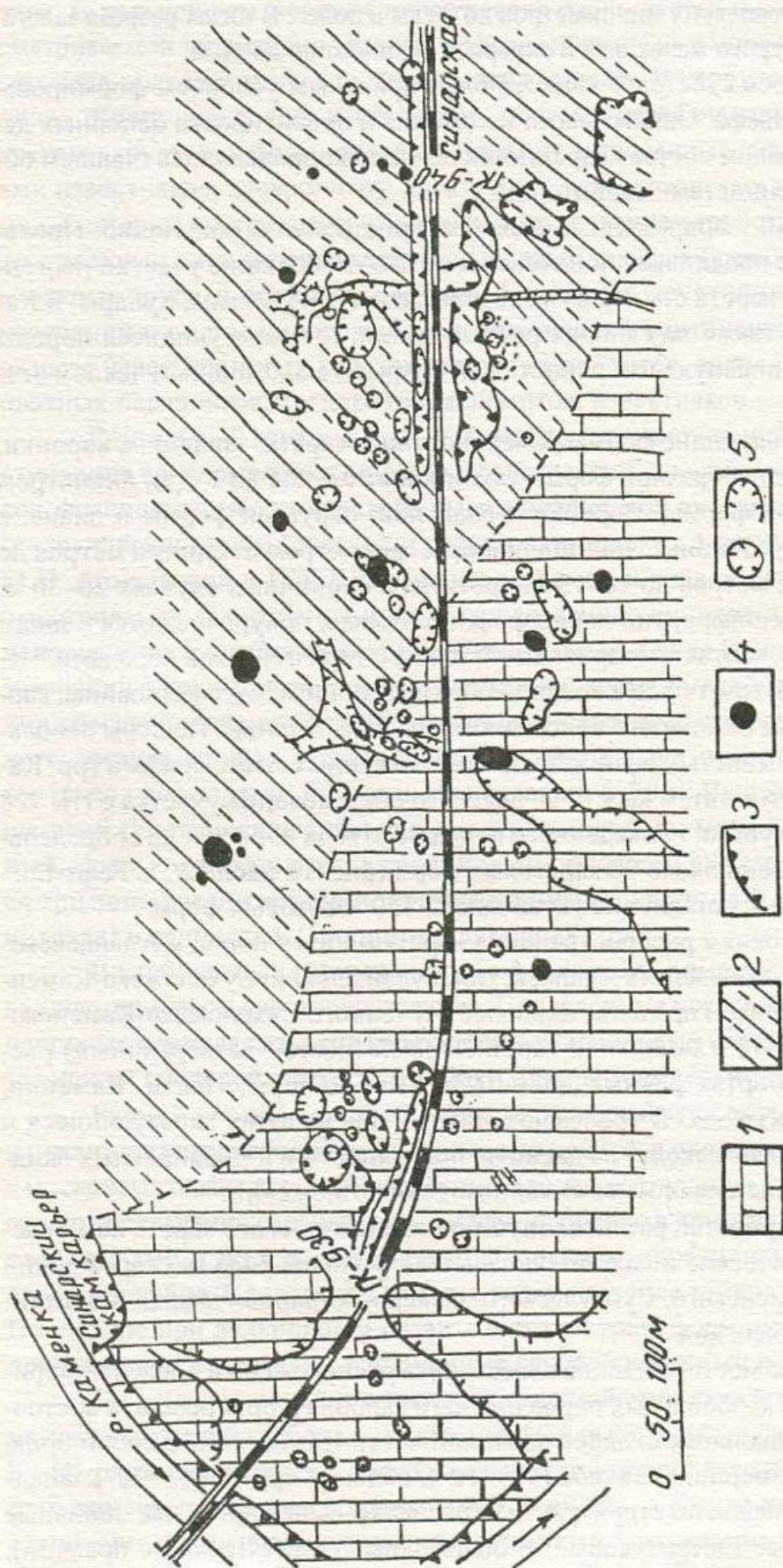


Рис. 1. Схематическая карта карстопоявлений на 94 км железной дороги Свердловск-Курган

1 — известняки C_{1v_3} ; 2 — обрывистые склоны, искусственные разработки;
 4 — ранее установленные карстовые воронки; 5 — карстовые формы, выявленные при проведении карстологической съемки

составу (преимущественно кальциевые), 2) слабо доломитизированные, 3) слабо окремненные, 4) окремненные. Макроскопически они трудноотличимы друг от друга, контакты между разностями нечеткие и устлавливаются, в основном, по данным химических анализов проб. Повышенной способностью к карстообразованию обладают высококарбонатные осадки с незначительным содержанием нерастворимого остатка в зонах, удаленных от источников сноса терригенного материала – чистые кальцитовые и слабо доломитизированные известняки. В меньшей степени закарстованы слабо и сильно окремненные известняки.

Карстовые полости в зоне развития внутреннего (глубинного) карста выполнены серыми, темно-серыми, коричневато-бурыми глинами с примесью до 40–50% обломков щебня и песка карбонатных пород.

Глубинная закарстованность распространена крайне неравномерно как по площади, так и по глубине изученных разрезов. Глубинный карст проявлен в виде каверн диаметром первых сантиметров и крупных полостей размером от нескольких метров до десятков метров. Наибольшее количество карстовых полостей сосредоточено в интервале глубин 40–90 м с преобладающей субмеридиональной ориентировкой, редкие формы распространены до 200–300 м.

Закарстованность известняков в зоне развития внутреннего карста, по данным разведочного бурения скважин, в контурах запасов на известь – 2,1%, на щебень – 6,0%, в контурах забалансовых запасов на щебень – 4,8%, в целом по месторождению 4,8%. Закарстованность известняков в зоне развития поверхностного карста (глубина до 30 м) составляет в контурах запасов на известь – 5,5%, на щебень – 7,6%, в контурах забалансовых запасов на щебень – 12,4%; в целом по месторождению – 7,0%.

Анализ изменения коэффициента линейной закарстованности по Сухоложско-Каменскому району в целом обнаруживает, что наибольшая закарстованность отмечается для внутреннего карста на глубинах 30–70 м. Интенсивность карстового процесса контролируется тектонической нарушенностью и трещиноватостью массивов, условиями залегания массивов (большинство карстовых полостей приурочено к трещинам напластования в известняках), контактами с терригенными отложениями, мощностью и водопроницаемостью пород зоны аэрации.

Техногенная активизация карста чаще всего происходит вдоль железных дорог (гг. Каменск-Уральский, Богданович, Сухой Лог и др.) при близком к поверхности залегании карбонатных пород, наличии в покровных отложениях суффозионно-неустойчивых грунтов, реже в пределах городских территорий, в районах добычи полезных ископаемых, водозаборов карстовых вод [1].

Проблема инженерного освоения закарстованных территорий на карбонатных массивах восточного склона Урала является сегодня чрезвычайно актуальной. Промышленные и гражданские сооружения, железные дороги, газопроводы и нефтепроводы, компрессорные станции, ЛЭП, расположенные на закарстованных площадях, могут быть повреждены в результате карстовых деформаций. Вид карстовых деформаций, механизм их образования и степень опасности зависят от условий залегания карстующихся пород.

В условиях открытого карста или маломощного покрова (до 1 м) карбонатные породы являются хорошим основанием для большинства сооружений. Карстовые провалы, образующиеся в результате обрушения кровли карстовых полостей, редки, развиваются они, как правило, по тектоническим нарушениям, трещинам бортового отпора и зонам сопряжения этих нарушений. Потенциально опасные участки надежно устлавливаются в процессе инженерно-геологических изысканий. Главным методом защиты является выбор незакарстованных площадок.

В условиях покрытого карста проектирование, строительство и эксплуатация сооружений сталкивается с рядом проблем. Карст развивается в бортах эрозионных врезов, по тектоническим нарушениям, трещинам бортового отпора, трещинам напластования, зонам сопряжения указанных нарушений, в краевых частях древних провалов. Основной механизм образования деформаций – вымывание рыхлых покровных отложений в карстовые полости по системам трещин и подводящих каналов. В зависимости от мощности, состава и обводненности рыхлых покровных отложений, размеров и морфологии трещин и подводящих каналов на земной поверхности формируются три основных вида карстопроявлений – это провалы, воронки просасывания и локальные оседания. Образование этих форм первоначально связано с формированием в покровной толще промежуточной полости. Провалы, обусловленные обрушением кровли карстовой полости, в условиях покрытого карста также редки.

Степень отрицательного воздействия указанных деформаций на инженерные сооружения неодинакова. Так, для магистральных трубопроводов потенциально опасными являются лишь провалы с диаметрами 8–10 м, а компрессорные станции этих трубопроводов, в силу своих конструктивных особенностей, могут повреждаться как провалами с диаметрами более 2–3 м, так и локальными оседаниями. Для высоких сооружений точечного опирания (дымовые трубы, опоры ЛЭП и др.) любой вид деформаций может привести к катастрофическим последствиям. Большинство гражданских и промышленных сооружений со стандартными фундаментами повреждаются любыми видами карстовых деформаций, но лишь провалы с диаметрами более 3–5 м вызывают катастрофические разрушения.

Железные дороги являются наиболее уязвимым видом инженерных сооружений. Значительная протяженность дорог и прокладывание их без учета закарстованности района обуславливают высокую вероятность поражения карстовыми деформациями, любая из которых приводит к повреждению земляного полотна и нарушению безопасности движения. Поэтому в условиях покрытого карста первостепенное значение приобретает специальное исследование закарстованности, изучение рельефа карстующихся пород, выявление условий и направлений поверхностного и подземного стока, обнаружение трещиноватых зон и карстовых полостей.

Совокупность приведенных данных позволяет решить задачу правильного размещения сооружений и рационального выбора видов и объемов противокарстовой защиты. Для большинства гражданских и промышленных сооружений основной противокарстовой защитой является рациональный выбор площадки и использование ленточного монолитного фундамента, рассчитанного на вероятный пролет провала. Повышение надежности магистральных трубопроводов на наиболее опасных участках достигается при использовании утолщенной трубы. Компрессионные станции, сооружения точечного опирания требуют тщательного выбора площадки, а в некоторых случаях целесообразно выполнение тампонажных работ в основании этих сооружений через 1–2 скважины. Единственным надежным видом противокарстовой защиты железных дорог является тампонаж карстовых полостей и зон их сосредоточения в основании земляного полотна.

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 трас // Известия УГГГА. Серия: Геология и геофизика, 2000. Вып. 10. С. 229–233.