УДК 561.44:622

Э.И.АФАНАСИАДИ, О.Н.ГРЯЗНОВ
С.Г.ДУБЕЙКОВСКИЙ, О.Б.НЕЩЕТКИН
Уральская государственная горно-геологическая академия

КАРБОНАТНЫЙ КАРСТ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В пределах Восточно-Уральской области выделен ряд районов и участков по условиям распространения закарстованных карбонатных пород нижнего и среднего карбона. Отмечена техногенная активизация карстового процесса вдоль трасс железных дорог, в районах добычи полезных ископаемых, на участках больших водозаборов. Подчеркивается большая актуальность изучения закарстованных территорий при их освоении.

The East-Ural district has been divided into several sections according to the conditions of karst carbonate rocks propagation of lower and upper carbon. Man-caused energization of karstic process has been noted along railways, in the areas of minerals extraction, in the territories of big water intakes. A high priority of studying the territories to be developed is emphasized herein.

Согласно схеме инженерно-геологического районирования Урала, в структурно-вещественных комплексах Уральской складчатой системы выделяются четыре области распространения карстующих и закарстованных пород – Северо-Уральская, Западно-Уральская, Южно-Уральская и Восточно-Уральская [6, 7]. Восточно-Уральская область, расположенная на восточном склоне Среднего и Южного Урала, охватывает среднюю часть Восточно-Уральского региона II порядка в границах Алапаевско-Теченского мегасинклинория на севере и Копейско-Брединского мегасинклинория на юге и нескольких разобщенных мелких районов в пределах погребенных под мезокайнозоем Камышловского и Талицкого мегантиклинориев. Алапаевско-Теченский мегасинклинорий протягивается с севера на юг на 420 км при ширине 10-40 км. Сменяющий его к югу Капейско-Брединский мегасинклинорий имеет длину почти 200 км с варьирующей шириной от 10 до 30 км.

В основании разреза синклинорных структур залегают вулканогенные, вулканогенно-терригенные ($Д_2$), терригенные, терригенно-карбонатные ($Д_3$) отложения. На них с размывом ложатся осадки терригенной (угленосной) толщи нижнего карбона (C_1t_2-V_2). В ее строении выделяются два типа разрезов: карбонатных осадков неглубокого моря и терригенных угленосных отложений континентальных, лагунных и прибрежно-морских фаций. Выше по разрезу залегают породы верхневизейского подъяруса. Выделены туфогенно-осадочный (песчаники, алевриты, мергели, известняки, туфоаргелиты, туфопесчаники с подчиненными прослоями базальтовых порфиритов и их туфов) суммарной мощностью 650 м и карбонатный (известняки) мощностью 350 м типа разрезов. На известняках верхнего визе согласно залегают рифогенные известняки серпуховского яруса (C_1[gl]s). Выше с размывом и угловым несогласием лежат осадки башкирского яруса, представленные в нижней части разреза терригенными образованиями, переходящими в прибрежно-морские брекчиевидные известняки (C_2b). Завешают разрез обломочные осадки шельфа и лагун с прослоями известняков московского яруса (C_2m). Суммарная мощность башкирских и московских отложений 480-600 м. С размывом и несогласием на них локально ложатся терригенные породы и кислые эффузивы C_{2-3} (Т.Г.Грабежева, 1987).

На денудированной поверхности герцинид в период мезозойского континентального рифтогенеза в зонах приразломного растяжения закладываются наложенные триас- юрские угленосные структуры: в Копейско-Брединском мегасинклинории Челя-

бинский грабен, в Алапаевско-Теченском мегасинклинории Буланаш-Елкинская впадина, впадины Серовского района – Волчанская, Богословская, Мостовская. В основании разреза южных депрессий широко распространена вулканогенно-осадочная толща. Эффузивно-пирокластические образования, относимые к риолит-базальтовой формации туринской серии, рассредоточены в разрезе нижнего и нижней части верхнего триаса общей мощностью до 1000 м. Депрессии северного района амагматичны.

На размытой поверхности палеозойского субстрата в восточной части рассматриваемой территории с резким угловым несогласием лежат отложения мелового возраста, представленные континентальными осадками нижнего и морскими отложениями верхнего отделов. Их суммарная мощность от 1 до 95 м. В небольших разобщенных углублениях палеозойского фундамента сохранились палеоген-неогеновые континентальные осадки суммарной мощностью 5-55 м. Континентальные отложения четвертичного возраста развиты повсеместно и представлены элювиальными, элювиально-делювиальными, делювиальными, аллювиальными, озерными и болотными генетическими типами.

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. Олигоценовые 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-щебнистого 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-монтмориллонитовая) и глинистых (каолинитовая) продуктов.

В пределах Восточно-Уральской области нами выделяется ряд районов и участков по геологическим условиям распространения закарстованных и потенциально карстующихся пород в карбонатных отложениях нижнего и отчасти среднего карбона. В Алапаевско-Тегенском мегасинклинории карст выявлен в семи районах: Махневском, Коптеловском, Алапаевском, Буланашском, Сухоложско-Каменском, Усть-Багарякском и Аргаяшском; в Копейско-Брединском мегасинклинории – в четырех районах: Боязиковском, Копейско-Коркинском, Долгодеревенском и Челябинском. Потенциально карстующиеся карбонатные отложения карбона, перекрытые осадками мела, нижнего палеогена и олигоцен-четвертичного возраста, установлены в семи небольших районах и участках Камышловского мегантиклинория и трех участках Талицкого мегантиклинория. Наибольшей закарстованностью, изученностью карстопроявлений характеризуется Сухоложско-Каменский район, который можно рассматривать в качестве ключевого (эталонного) для природных условий синклинорных структур.

В Сухоложско-Каменском районе закарстованность карбонатного разреза достаточно исследована на участке железнодорожной трассы Кунара-Богданович, на Кунарском, Северо-Богдановичском, Первом Богдановичском месторождениях известняков, в районе Смолинской пещеры, в г. Каменск-Уральском и его окрестностях.

На перегоне Кунара-Богданович карстологической съемкой на площади 12 км^2 в визейских и серпуховских известняках выявлено свыше 160 карстопроявлений (13,3 формы открытого карста на 1 км^2), представленных западинами, воронками, провалами. Разведочными работами зафиксирован покрытый карст, выраженный пустотами, полостями,

как правило, заполненными глиной, щебнем, дресвой, реже песком. По категории устойчивости относительно провалов участок может быть отнесен к категории II – В с интенсивностью провалообразования 0,1-1 случай на 1 км^2 в год при среднем диаметре провалов 3-10 м.

Карбонатные породы района используются в качестве сырья для портландцемента (Кунарское месторождение), строительной извести, строительного щебня и бутового камня (Северо-Богдановичское, Первое Богдановичское месторождения); они размещаются в полосе распространения известняков визейского и серпуховского ярусов C_1.

Кунарское месторождение приурочено к интенсивно дислоцированным известнякам пестрого химического состава: от чистых до в разной степени доломитизированных и окремненных. Геолого-разведочными работами установлен открытый современный, покрытый (под мезозойским элювием и четвертичными отложениями) и глубинный карст. Открытый карст представлен воронками диаметром 4-30 м при глубине 1-15 м и карстовыми логами 120-150 × 60-70 м. Покрытый карст представлен простыми по форме одиночными воронками и сложными, имеющими площадь по кровле палеозойского фундамента от 15 до 217 м^2. Заполнитель карстовых воронок – глины, нередко запесоченные с щебнем известняков, жолваками кремней, песок мелко-среднезернистый с галькой кварца. Глубинный карст широко развит на месторождении и представлен трещинами, пустотами с глинистым заполнителем, содержащим обломки известняков. Поверхностная закарстованность месторождения 3,6 % , площадная – 7,6 %. Глубинный карст по данным разведки составляет 7,7 %, по материалам добычи – 14 %. Общая суммарная закарстованность известняков по месторождению 11,3 %.

Карбонатные породы Северо-Богдановичского месторождения представлены органогенными и обломочными (известняковые брекчии) известняками. По химическому составу среди них выделяются чистые (преимущественно кальцитовые, слабо доломитизированные и окремненные). Карбонатные породы закарстованы. Установлен поверхностный и глубинный карст. Поверхностный карст распространен до глубины 30 м и представлен воронками диаметром 10-30 м при глубине 1,4-6,0 м, западинами диаметром до 50 м и глубиной 1,5-2,0 м; линейными формами протяженностью 50-570 м при ширине 25-60 м, глубиной до 10-28 м от поверхности. Заполнитель – глины, иногда запесоченные с обломками и щебнем карбонатных пород. Глубинная закарстованность распространена неравномерно и проявлена в виде трещин, пор растворения (до 2 мм), каверн (2-20 мм), полостей и пещер (от 2-5 до 13-21 м). Заполнитель – глина с примесью (до 40-60 %) обломков, щебня и песка карбонатных пород. Наибольшее количество карстовых полостей сосредоточено в интервале глубин 40-90 м, отдельные редкие формы установлены на глубине до 200-300 м. Закартованность известняков в зоне развития глубинного 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 % [2].

Первое Богдановичское месторождение приурочено к визейским известнякам, характеризуется развитием поверхностного и глубинного карста. Поверхностные формы: воронки диаметром до 20 м, заполненные суглинками, глиной, западины размером 15-35 м в поперечнике при глубине 2-3 м, лога протяженностью 60-120 м. Глубинная закарстованность высокая (К = 2,08-34,8 %). Карстовые полости размером 0,4-7 м, реже 8-9 м заполнены глиной, песком, щебнем известняков.

Смолинская пещера и прилегающая к ней территория располагаются на левобережье р. Смолянки – левого притока р. Исеть, сложенном верхневизейскими известняками. Карстологическими исследованиями

здесь выявлены 73 поверхностные карстовые формы – воронки, лога и западины. Самая крупная воронка протяженностью 110 м при ширине 44 м развита на глубину 11,5 м. Ее объем 5900 м^3, превышающий объем Смолинской пещеры. Размеры большей части воронок при разнообразии форм варьируют в широких пределах: от десятков сантиметров до 20-30 м в поперечнике при средней глубине 1,5 м. Коэффициент площадной закарстованности на четырех обследованных участках колеблется от 10,7 до 24,25 %. Многие воронки характеризуются крупными обрывистыми склонами, наличием поноров и отсутствием заполнителя. Смолинская пещера – самая крупная в Свердловской области. По данным М.И.Гервица [3] ее площадь 1152 м^2, объем 4144 м^3, удельный объем 8,2 м^3/м, суммарная длина более 500 м.

Город Каменск-Уральский и его окрестности располагаются в пределах Егоршинско-Каменской синклинали, мульда которой сложена известняками нижнего и среднего карбона. Карбонатные отложения визейского, серпуховского и отчасти башкирского ярусов неравномерно закарстованы. Наиболее интенсивное развитие процесса зафиксировано на левобережье р. Каменки от железнодорожного моста до плотины Каменского пруда. Выполненными нами карстологичесими исследованиями, сейсмическим профилированием и буровыми работами установлены 93 карстовые формы – воронки, лога, западины, полости. Их распределение по размерам: <1 м – 57; 1-2 м – 19; 2-3 м – 6; 3-4 м – 4; 4-5 м – 4; до 6 м – 1; >9 м – 2,93 % карстовых форм заполнены глиной (59 %), песком (8,6 %) и дресвяно-щебнистым материалом, 8 полостей пустые.

В пределах городской территории исследованиями А.Н.Ильина (1976) и Каменск-Уральского отделения (КУО) треста УралТИСИЗ установлено неравномерное развитие карста при неглубоком (под чехлом К и P-N отложений) залегании известняков C_1 и наибольшой активности до глубины 5-6 м ниже кровли карбонатных пород.

Высокая закарстованность известняков серпуховского яруса выявлена в районе пос. Мартюш на правом борту долины р. Исеть в западном пригороде Каменск-Уральского. Результаты изучения участка, выполненного КУО УралТИСИЗа (1981), и наших исследований позволили установить наличие открытого, покрытого и глубинного карста. Развитие его неравномерное, подчинено степени тектонической проработки карбонатных пород и зоне контакта серпуховских известняков с терригенной толщей C_1t_2 -V_2. Карстологической съемкой на площади 0,432 км^2 выявлено 20 карстовых воронок на открытых участках и карстово-суффозионных воронок на перекрытых участках. Размеры их варьируют в широких пределах: от долей метров в поперечнике до диаметров 35 м при глубине 8 м. В скальном обрыве правого борта долины р. Исети обнажена эродированная пещера с остатком скалы – «входом», получившим название «Каменные ворота». Глубинный карст установлен мелкими скважинами на глубине 3-6 м ниже кровли известняков под чехлом К-голоценовых отложений.

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 массивов, условиями залегания массивов (большинство карстовых полостей приурочено к трещинам напластования в известняках), контактами с терригенными отложениями, мощностью и водопроницаемостью пород зоны аэрации.

Проведенные исследования позволяют выделить три основных периода развития карста: среднекарбоновый (башкирско-московское время); мезозойский (меловой, возможно J_2 – K) и плиоцен – четвертичный до современного (N_2 – O_{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 нижнекаменноугльных известняков, особенно в приконтактовых зо-

нах с терригенными отложениями и по тектоническим нарушениям, проявились интенсивные процессы карстообразования. Следствием явилось возникновение замкнутых разнопорядковых впадин, которые при дальнейшем развитии карста трансформировались в субмеридиональные депрессии, впоследствии заполненные грубообломочным и глинистым материалом.

Наличие карстующегося субстрата явилось благоприятным условием формирования в мезозое отрицательных форм рельефа. Однако места заложения и ориентировка основных депрессий рельефа при однородном составе карстующихся пород определялись 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. Вероятно, с этим временем связана активизация суффозионных процессов.

Наряду с рассмотренными периодами развития экзогенного карстообразования, на восточном склоне Южного и Северного Урала установлены признаки проявления гидротермального карста. Его геологическая позиция связана с достаточно широким развитием в консолидированных структурах Урала зон мезозойского (T – J, возможно K) континентального рифтогенеза. В этот период фиксируются активные гидротермальные процессы с U-Au-Sb-Hg – минерализацией. Особая роль при этом принадлежит месторождениям золото-арглиллизитовой формации светлинского и воронцовского типов. На этих месторождениях в карбонатных породах нижнепалеозойской рамы в связи с низкотемпературной джаспероидизацией мраморизованных известняков в рудоносных зонах зафиксированы пустоты и трещины растворения (выщелачивания мраморов), ноздреватые «сахаровидные» и друзовидные конкреционные текстуры пород [5].

Техногенная активизация карста чаще всего происходит вдоль железных дорог (города 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, 4].

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 [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасиади Э.И.* Изучение, оценка и прогноз закарстованности карбонатных массивов железнодорожных трасс / Э.И.Афанасиади, В.В.Бодин, О.Н.Грязнов, С.Г.Дубейковский, О.Б.Нещеткин // Известия УГГГА. Серия: Геология и геофизика, 2000. Вып.10. С.229-233.

2. *Афанасиади Э.И.* Карбонатный карст Алапаевско-Каменского синклинория (восточный склон Урала) / Э.И.Афанасиади, О.Н.Грязнов, С.Г.Дубейковский, О.Б.Нещеткин, Н.А.Вологжанина, С.В.Горбова // Материалы международ. симпозиума. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2001. Т.1. С.223-228.

3. *Гервиц М.И.* Пещеры Свердловской области // Пещеры. Пермь: Изд-во Института карстовед. и спелеологии, 1972. Вып.12-13. С.49-56.

4. *Грязнов О.Н.* Проблемы изучения и оценки состояния геологической среды урбанизированных территорий Урала / О.Н.Грязнов, И.В.Абатурова, Э.И.Афанасиади, О.М.Гуман, С.Г.Дубейковский, И.Г.Петрова // Материалы международ. симпозиума. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2001. Т.2. С.463-473.

5. *Грязнов О.Н.* Золото-аргиллизитовая формация Урала / О.Н.Грязнов, С.Н.Вахрушев // Руды и металлы, 1997. № 2. С.73-84.

6. *Грязнов О.Н.* Закономерности формирования инженерно-геологических условий месторождений Урала / О.Н.Грязнов, С.Г.Дубейковский. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1995. 32 с.

7. *Дубейковский С.Г.* Инженерно-геологическое районирование Урала / С.Г.Дубейковский, О.Н.Грязнов // Сергеевские чтения. Вып.3. М: ГЕОС, 2001. С.159-162.