

Катаев В.Н. Основы структурно-тектонического анализа в карстологии // Карстология – XXI век: теоретическое и практическое значение: Материалы международного симпозиума (25 – 30 мая 2004, Пермь, Россия) / Пермский ун-т. – Пермь, 2004. С. 63 - 69.

В.Н. Катаев

Пермский государственный университет

ОСНОВЫ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В КАРСТОВЕДЕНИИ

Локализация зон карстопоявлений и отдельных полостей лежит в основе практических исследований карстовых массивов в гидрогеологических целях, целях промышленного и гражданского строительства. Основные элементы комплексного подхода к оценке влияния структурно-текстурных и структурно-тектонических особенностей пород и карстового массива в целом на развитие и локализацию форм карста, определяющих избирательность и направленность карстового процесса, а в конечном итоге устойчивость закарстованных территорий и карстоопасность, представлены в данном докладе.

PRINCIPLES OF STRUCTURAL - TECTONIC ANALYSIS IN KARSTOLOGY

Localization of zones of the karst phenomena and separate cavities underlies practical researches of the karst massifs in the hydrogeological purposes, the purposes of industrial and civil construction. Basic elements of the complex approach to estimation of influence of structural - textural and structural - tectonic features of karst rocks and karst massifs as a whole on development and localization of the karst forms determining selectivity and orientation of karst process, and finally stability karst territories and karst dangerous, are submitted in the given report.

Введение. Современная карстологическая мысль направлена на создание общей теории карста. В основе общей теории должны быть заложены представления о карстовом массиве, как о динамичной природной или природно-технической системе, характеризующейся комплексом взаимосвязанных геолого-гидрогеологических, структурно-тектонических, техногенных элементов, результат взаимодействия которых проявляется закономерно во времени и пространстве.

На сегодняшний день наиболее проблемными являются исследования в области механизма, интенсивности, закономерностей, места и времени развития, а главное динамичного проявления карстового процесса. Одним из наиболее важных направлений фундаментальных исследований является установление закономерностей пространственного распределения структурных форм массивов и их соответствующей карстогенетической роли. Естественно, что эти исследования необходимо обеспечить методической базой.

Исследователей уже не удовлетворяет констатация наличия тех или иных водопроводящих форм в массиве и, даже определение их усредненных гидродинамических параметров. Практика современного анализа карстовых и карстово-технических систем требует рассмотрения не только форм карста, но процессов с неперенным установлением их механизмов, закономерностей и направленности, что достигается в первую очередь выявлением характера соотношения структурных форм и выявлением взаимодействия их поверхностей с природными или техногенными растворами. Установление характера физико-химических взаимодействий пород и растворов невозможно без использования тонких физических и физико-химических методов, позволяющих проследить процесс взаимодействия от микроуровня. Исследователь в целях повышения эффективности прогноза должен иметь представление о причинах, определяющих скорость карстового процесса, его избирательность.

Становление концепции о карстогенетической роли структурных элементов.

Концептуальные положения научных разработок в карстологии, используемых при анализе закарстованных территорий с применением специальных методов и расчетных схем, заимствованы как из смежных наук, например инженерной геологии, так и из

теории и практики общего карстования - ветви геологии, изучающей динамические процессы в растворимых горных породах и явления, их сопровождающие.

Отражение карстогенетической роли структурообразующих элементов массивов горных пород началось с первых публикаций, посвященных результатам исследований карстовых явлений. Роль структурного строения закарстованных территорий оценивалась неразрывно от их гидрогеологического строения. Данное положение сохранилось и до сегодняшних дней, оказавшись наиболее продуктивным при выявлении закономерностей развития карстовых форм в пространстве и во времени.

Первые описания карстовых явлений связаны с результатами горных работ и исследованиями «натуральной философии». Примером является работа Дж. Беймонта (Beaumont, 1683) «Многочисленные понижения и некоторые другие подземные гроты и каверны в Мендип-Хиллс». Результаты подобных исследований обычно публиковались в местных альманахах, большинство из которых утеряны. В связи с этим трудно проследить последовательность становления карстологии как науки в этот период. И только, начиная с XIX века, удастся определить направления развития карстологии, в части идей о строении карстовых массивов, условиях и факторах, влияющих на развитие их структур. С 1840 г. в Австрийской империи, владеющей в те времена Динарской провинцией, проводятся полевые исследования по различным направлениям. Именно в эти годы укоренился термин «карст» (в России термин «карст» применительно к Кунгурской ледяной пещере впервые использовал академик Е.С. Федоров в 1883г.). Приведем несколько примеров публикаций этого периода.

Публикации А. Шмидла (Schmidl, 1854) и В. Зиппе (Zippe, 1854) мы можем считать первыми классическими публикациями по карсту. Среди многих вопросов теории образования провалов в работе А. Шмидла была рассмотрена гидродинамическая связь между поверхностными и подземными формами карста. Статья В. Зиппе (Zippe, 1854) имеет равное значение с работой А. Шмидла. В ней рассмотрены проблемы формирования горизонтальных пещер, как результат развития межпластовых пространств. В. Зиппе указывал на необходимость учета (замеров) элементов залегания карстующихся пород (в частности углов падения пород), как фактора, контролирующего направление «карстификации».

В 1859 году Дж. Лоренз (Lorenz, 1859) кроме того, что предложил использовать термин «карст» для обозначения генетических черт явления, а не только как географическую привязку, связывает некоторые карстовые явления с тектоническими подвижками. Он считал полья результатом растворения, эрозии и обрушения в условиях стабилизации тектонических движений на участках пересечения тектонических разломов.

Первоначально А. Рейер (Reyer, 1881), а затем Ф. Краус (Kraus, 1887;1888) отметили, что подземный дренаж в карстовом массиве ориентирован и локализован не только зонами разломов, но и трещинами. Развитие дренажной системы начинается с микроскопических трещин за счет растворения до тех пор, пока не становится возможным развитие механической эрозии. При этом на участках, где межпластовое пространство ориентировано субвертикально, развитие канала идет быстрее. Кроме этого было отмечено, что процесс формирования провалов над дренами тем медленнее, чем толще кровля над провалами.

Известные современные исследователи карста Д. Форд и П. Вильямс (Ford & Williams, 1989) считают, что временем становления понятий о гидродинамике карстовых вод, которые неразрывно связаны и в большой степени основаны на понятии о структуре карстового массива, является середина XIXв. Действительно, на западе, в 1874 году впервые были предприняты попытки анализа гидрогеологии закарстованных территорий для целей водоснабжения военных объектов.

В России к началу XXв. инженерно-строительное дело накопило достаточный опыт сооружения различных объектов на территориях интенсивных карстопоявлений. Первые задачи инженерно-карстологического свойства были решены при градостроительстве и

строительстве железных дорог. Так в 1904-1906гг. в зоне развития интенсивного карбонатно-гипсового карста были проведены исследования под проектируемый участок Екатеринбургской железной дороги по линии Пермь - Кунгур. Близ г.Уфы участок Самаро-Златоустовской железной дороги на протяжении более чем 40км проложен по мощным гипсовым отложениям.

Большой материал по особенностям закарстованных территорий представлен в работе А.А. Крубера «О карстовых явлениях в России» [2]. Это исследования провальных озер в Тульской губернии самого А.А. Крубера (1897), исследования инженера Г.И. Куликовского карстовых озер в Олонецкой и Архангельской губерниях (1894), исследования Н.Н. Соболева на Московско-Ярославско-Архангельской железной дороге (1899) и многих других, чьи публикации можно встретить в «Известиях геологического кабинета», трудах Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей, журнале «Землеведение» и других изданиях конца XIX начала XX века. Уже в этот ранний период в работах горных инженеров видны зачатки современных оценочных критериев карстоопасности. Практически во всех работах карстовые явления объяснены с геологических, гидрогеологических или структурно-тектонических позиций. Так, при описании провалов в Уфимской губернии на Самаро-Златоустовской железной дороге, рассматриваются во взаимосвязи такие показатели, как время, длина участка и количество воронок, образовавшихся в данный отрезок времени. Иными словами, в работе присутствует оценка устойчивости территории по интенсивности воронкообразования, к которой на уровне нормативной документации инженерная геология вернется через 50 лет.

Необходимо отметить, что А.А. Крубер в своих работах помимо собственного опыта исследований в карстовых районах Крыма, Кавказа и Центральной России суммировал опыт российских инженеров и зарубежных ученых (таких, например, как Е. Мартел, Ф. Краус, Е. Мойсисович). Фактически, А.А. Крубер обеспечил научный синтез результатов исследований западных карстоведов и российского, в то время разрозненного опыта горных инженеров конца XIX-начала XX века, что позволило отечественному карстоведению занять более прочные позиции в комплексе наук о Земле.

В основу представлений того времени о карстовом процессе были заложены сведения о степени дислоцированности карстующихся пород, выраженной в элементах залегания и интенсивности трещиноватости; литологическом строении пород, их текстурно-структурных особенностях; количестве атмосферных осадков и углекислоты, а также о наличии различных типов растительности, необходимых для начала и дальнейшего развития процессов химического и механического разрушения горных пород.

К концу 30-х годов XX века, карстоведение (пока неофициальное, вопрос о выделении особой отрасли знания – карстоведения был поднят только в 1947г.) имело достаточный опыт исследований. Все базовые аспекты анализа карстовых массивов отражают их структурно-тектоническое и геолого-гидрогеологическое строение. В это же время ставятся вопросы количественной характеристики карста. Вследствие того, что в этот период большое внимание уделялось карсту горнодобывающих районов, первые опыты количественного анализа основаны на геометрии недр, которая базируется свои выводы на двух положениях: происходящие в недрах земли процессы подчинены определенным законам; количественная характеристика этих законов связана определенной функциональной зависимостью с исследуемым пространством. Примером может служить структурная карта Кизеловского района (Западный Урал), выполненная в масштабе 1:50 000 (1931-1932гг.).

В Советском Союзе в предвоенный период и годы Великой Отечественной войны интенсивность освоения закарстованных территорий резко возросла, при этом увеличилась масштабность и глубинность исследований в основном за счет развития горнорудной промышленности и изысканий под гидротехнические объекты. Именно в

этот период сформировался принципиальный комплекс инженерно-геологических методов оценки устойчивости закарстованных территорий. В этот период в карстоведении, гидрогеологии и инженерной геологии прошло серьезную проверку содержание концептуальных основ методологии исследований карстовых массивов. По мере накопления фактического материала возникли проблемы корреляции во времени этапов структурно-геологической эволюции карстовых районов и этапов развития карстовых процессов; установления генезиса, морфологии, морфометрии и пространственного соотношения поверхностных, подземных карстопроявлений и структурно-тектонических элементов массивов. Эти проблемы возникали при решении задач как локального, так и регионального уровней. Варианты их решения впоследствии изменялись соответственно развитию геологической мысли в целом и в соответствии с совершенствованием методик исследования территорий развития карста, в частности. Указанные проблемы являлись общегеологическими, но решение их, в дальнейшем, определило направление карстологической и инженерно-геологической мысли.

Роль практической значимости изучения карста была определена Ф.П. Саваренским в его работах «Гидрогеология» и «Инженерная геология» на основе анализа результатов изучения карста в общетеоретическом плане и в связи с состоянием промышленного и гражданского строительства к 1930 году [7, 8]. Помимо обзора результатов изучения карста Ф.П. Саваренский наметил программу теоретических исследований, как основу для практического изучения массивов. Все принципиальные позиции программы отражали геолого-гидрогеологические аспекты исследований. Эти положения являлись и являются базовыми понятиями в анализе динамики развития карстовых полостей и карстовых массивов, как частей региона. *Во-первых*, это принцип неразрывности изучения карста, литологии и тектоники района; *во-вторых* - связь карста с гидродинамическими особенностями района, рельефом и геоморфологической историей местности; *в-третьих* - зависимость динамики карстового процесса (возникновение, рост, затухание, возобновление и омоложение) от общей эволюции региона.

Подводя итог краткому обзору развития в карстоведении понятий о структуре карстового массива и ее элементах, отметим, что представление о роли геолого-тектонических особенностей массива в распределении карстовых форм, направленности карстового процесса, особенностях гидродинамического режима в целом сформировалось в конце 50-начале 60-х годов XX века. Структура массива представлялась в виде комплекса элементов, находящихся в условиях пространственно-временных взаимоотношений, имеющих статус карстогенетических законов, а именно:

1. Состав и структурно-текстурные особенности растворимых пород, их физико-механические свойства определяют характер постгенетических (в том числе и дислокационных) преобразований и составляют основу (матрицу) структуры массива.

2. Условия залегания пород, а именно пространственное соотношение растворимых и нерастворимых прослоев, их мощность и углы залегания определяют морфологию карста, распределение форм на локальном уровне.

3. Морфология, генезис и возраст тектонических структур, связь их с рельефом и гидрогеологическими особенностями территории определяется структурным планом данной территории. Карстовые воронки и провалы располагаются в центральных частях складчатых структур, на крыльях складок или вдоль линий тектонических разрывов.

4. Трециноватость является обобщающим элементом структуры массива, присутствующим во всех предыдущих «структурных уровнях». Именно изучение трециноватости часто дает возможность объективно оценить инженерно-геологические условия карстового района.

Помимо вышеизложенных, наиболее общих закономерностей, укажем ряд более конкретных форм пространственного соотношения региональной или локальной структуры (ее элементов) и карстовых явлений, используемых на тот период и в настоящее время:

- распределение поверхностных форм (воронок, логов, суходолов и т.п.) наряду с влиянием форм рельефа зачастую зависит от ориентировки трещин тектонического и неотектонического характера, местоположения зон дробления, разрывных нарушений;
- места пересечения трещин, разломов или зон дробления являются наиболее перспективными для создания условий развития полостей;
- условия залегания растворимых горных пород определяют направленность карстообразования: в горизонтально залегающих - по простиранию, в крутонаклонных - по падению, в моноклинальнозалегающих - по простиранию и падению пластов;
- тектонические трещины в пределах локальных тектонических структур, наиболее благоприятны для заложения в них карстовых форм;
- структурно-тектонический фактор приобретает решающую роль в горно-складчатых областях в результате яркого проявления дислокаций (складчатых и разрывных). Карстопроявления тяготеют к антиклинальным структурам;
- максимальное проявление карста наблюдается на денудационных поверхностях, в районах проявления неотектонических движений;
- интенсивность карстопроявлений находится в неразрывной связи не только со структурно-текстурными особенностями пород, но и их химико-минералогическим составом, а тем же тектоническими, геоморфологическими и другими условиями, определяющими особенности циркуляции подземных вод;
- уменьшение закарстованности с глубиной наблюдается не повсеместно. Исключения составляют зоны восходящей разгрузки подземных вод, участки литологически ослабленных пород, зоны интенсивной региональной фильтрации подземных вод.

Исходя из современных представлений, несомненным является то, что карстовый массив является геологической системой, обладающей конкретной структурой (набором элементов и их взаимодействий), имеющей пространственно-временной характер. Как и все геологические системы, карстовый массив - динамичная система, поскольку его структура не является жесткой, не меняющейся со временем. В зависимости от эволюционного этапа данная система может находиться в состоянии равновесия (установившегося режима), быть консервативной (захороненной) или активной (приповерхностной, открытой). Активность системы, в конкретном случае, определяется многими факторами, но основным является тектонический режим территории, выводящий карстующиеся породы в ту или иную гидродинамическую зону. Отметим, что динамика системы, закономерности ее изменений должны изучаться на фоне эволюции глобальной экосистемы. Существование неразрывной связи эндогенных и экзогенных процессов, подмеченных для массивов карстующихся горных пород еще в XVIIIв. пионерами карстоведения, определяет необходимость изучения тектонических этапов эволюции карстового массива, обуславливающих причины нарушения ее равновесия.

Влияние эндогеодинамических факторов на развитие карста, особенно применительно к методикам карстологических изысканий, изучено на уровне общих закономерностей. В то же время современные представления об эволюционных преобразованиях литосферы основаны на динамичном изменении ее напряженно-деформационного состояния: периодическом изменении режимов «сжатия» и «растяжения», изменении направлений тектонического стресса. При прочих равных условиях области растяжения являются наиболее благоприятными для возникновения и развития карстового процесса. Периоды активизации карста во временном аспекте связаны с периодами существования тектонических фаз растяжения в конкретном регионе. Концентрация и высвобождение энергии земной коры, как сложной энергетической системы, наблюдается на границах тектонических блоков сжатия и растяжения - в «стоковых зонах» (по В.В. Кюнтцелю и др., 1992), являющихся линейными очагами разгрузки напряжений в виде активных разрывных дислокаций. Здесь, на границе блоков, горные породы литосферы более проницаемы, менее прочны, а, следовательно,

легче и глубже взаимодействуют с атмосферой и гидросферой. Земная кора сложена блоками, разделенными активными разломами, а блоки в свою очередь сложены более мелкими блоками и так далее. Активные стоковые зоны в зависимости от их параметров имеют общепринятую в геологии иерархию. Проявления карста на глобальном уровне тяготеют к зонам I и II порядков (например, Уральский пояс, Тихоокеанский сеймотектонический пояс, Средиземноморско-Кавказская зона складчатости); на региональном уровне - к разрывным дислокациям III и IV порядков (например, современные рифтовые зоны - Байкал и Забайкалье, элементы крупных платформенных структур - крылья Московской синеклизы). Многие карстопоявления тяготеют к дислокациям V и VI порядков, часто в пределах региональных зон сжатия, но на участках локального растяжения [1, 3, 11].

Внешние глобальные динамические изменения литосферы оказывают неоднозначное воздействие на структурные элементы карстового массива. В основе анализа влияния эндогеодинамических факторов должна лежать динамика разрывных дислокаций всех иерархических уровней.

Системный подход при анализе карстового массива предусматривает решение триединой задачи:

1. Изучение массива как объемной разноуровневой структурно-тектонической системы, характеризующейся геодинамическими процессами, имеющими не только природные, но и техногенные причины возникновения и развития.

2. Создание концептуальных моделей взаимодействия элементов массива от микро- до макроуровня, отражающих реальное развитие процессов и являющихся формой их познания в различных геоструктурных обстановках.

3. Создание системы прогноза интенсивности и направленности карстового и сопутствующих ему процессов.

Массив сложенный карстующимися породами - геосистема, стремящаяся к морфологическому, гидродинамическому и гидрохимическому балансу с меняющимися условиями. В случае дисбаланса происходит активизация экзогенных (в том числе и карстовых) явлений или прекращение существования ряда из них. В основе эволюции карстовых массивов лежит глобальный петрогенетический цикл изменения первичных седиментогенных структур и создание диагенетических структур - равновесных для меняющихся условий. Элементы ослабления массива являются границами, вдоль которых происходит анизотропное накопление явлений в первую очередь за счет создания гидродинамических и гидрохимических барьерных ситуаций. Характер взаимодействия элементов геологической структуры массива, комплекс форм экзогенных процессов и закономерность их распределения являются индивидуальными признаками массива.

Период накопления признаков («эволюционный ряд массива») делится на этапы, циклы, фазы, которые характеризуются не только изменяющимися признаками, но и набором сопоставимых показателей состояния породы, отражающих ее трещиноватость, пористость, проницаемость, минеральный состав, закарстованность, механическую прочность, растворимость и т.д. Наиболее эффективно анализ развития массива осуществляется в том случае, если этапы эволюционного ряда сопоставляются с циклами воздымающих, опускающих, сжимающих, растягивающих или стабилизированных тектонических движений, так как в пределах тектонического цикла происходит направленное развитие явлений и элементов массива. При этом, в пределах тектонического цикла, развитие явлений и элементов массива имеет региональный характер, т.е. связано с развитием тектонической структуры в целом. В то же время, более детальное деление тектонического цикла связано с развитием явлений локального характера (например, явления могут быть сконцентрированы по границам фрагментов тектонических структур).

Карст и складчатые дислокации. Распределение карстовых форм в пределах пликтивных структур специфично вследствие разницы в физико-механических свойствах

пород, включая и растворимость, неоднозначной гидрогеологической ситуации от складки к складке и т.д. Тем не менее, практикой исследований выявлены общие закономерности пространственного соотношения в породах складок трещинных зон и зон закарстованности, которые могут быть использованы в качестве общих критериев при оценке закарстованных территорий. Указанное положение определяется во многом и генетической взаимозависимостью трещинно-карстовых и водообильных зон.

Условия формирования водообильных зон в платформенных, переходных и горно-складчатых обстановках различны. Одним из основных различий, определяющих вариации механизма образования водообильных зон, является характер тектонических движений: неравномерно-глыбовый вертикальных положительных (поперечный изгиб) на платформах и в предгорных прогибах, сводово-глыбовый тангенциальных (поперечно-продольный изгиб) в горно-складчатых областях.

Неравномерно-глыбовые движения по древним разломам платформ и прогибов формируют глыбовую складчатость, выраженную в осадочном чехле в виде таких морфологических разновидностей как брахискладки, купола, мульды, седловины, валы. В пределах таких структур водообильные зоны, в зависимости от типа подземного стока, формируются в осевой и периферийных частях складок.

Сводово-глыбовые движения по относительно молодым и древним омоложенным разломам в горно-складчатых обстановках приводит к формированию водообильных зон не только в осевых частях антиклинальных и синклиналиных складок общего смятия, но и в пределах интрузивных тел и разломов.

В любом случае водообильность того или иного элемента складки определяется степенью трещинной проницаемости пород, слагающих данный элемент. Положение водообильной зоны изначально определено характером раздробленности пород складки, принципиальным типом ее трещинной структуры.

Одной из наиболее общих особенностей соотношения складок и карстовых форм является приуроченность карста к сводовым частям положительных структур, где мощность покровов, как правило, минимальна. Например, по данным А.И. Печеркина (1986), на территории междуречья Камы, Сылвы, Чусовой отчетливо проявляется приуроченность максимальной закарстованности к сводам локальных структур. На участках, где локальные поднятия отсутствуют или имеют место прогибы, отделяющие одно поднятие от другого, закарстованность минимальна или отсутствует вообще.

Участки поднятий, осложненные более мелкими складками, имеют более высокую степень закарстованности, чем структура в целом. Закарстованность уменьшается по направлению от центра структуры к ее периклинальным окончаниям, погребенным под толщей наносов, где карстовые формы могут полностью отсутствовать.

Неравномерность площадного распределения закарстованности на отдельных участках пликтивных структур объясняется их различной степенью трещиноватости. Очевидно, что карстовый процесс возникает и развивается в своих типичных формах не только в связи с присутствием растворимых в воде пород, но и при наличии условий проникновения вод на глубину. Следовательно, трещиноватость, определяющая водопроницаемость карстующихся толщ и обеспечивающая возможность циркуляции вод внутри массива, играет исключительную карстогенетическую роль.

В карстообразовании принимают участие трещины различного генезиса. На интенсивность карстообразования существенно влияет раскрытость и протяженность трещин того или иного генетического типа. Закономерности проявления и развития трещиноватости обусловлены геологической историей развития пород.

В естественных обнажениях горных пород или бортах карьеров достаточно четко выделяются чередующиеся зоны с различной степенью раздробленности субвертикальными трещинами в большинстве случаев тектонического происхождения. В плане эти зоны пересекаясь, формируют три типа участков относительной трещинной нарушенности: 1) сильнораздробленные, образованные пересечением двух зон

повышенной трещиноватости разного простирания; 2) среднераздробленные, расположенные на пересечениях зон повышенной трещиноватости и слаботрещинчатых зон; 3) слабораздробленные, образуемые в местах пересечения слаботрещинчатых зон.

Анализ логической цепи «структурный план территории - трещиноватость - карст» свидетельствует о тесной связи распределения карстовых форм и геолого-морфо-структурных особенностей складок.

Процесс тектонической деформации пород весьма длителен и имеет прерывисто-непрерывный характер. Невозможно назвать ни одной структуры, развитие которой бы на сегодняшний день завершилось. Вследствие этого, определяемые состояния дизъюнктивной дислоцированности пород, есть ни что иное, как фиксация промежуточных результатов длительного и непрерывного преобразования пород в условиях меняющегося тектонического режима.

Исследователь вправе составить только схемы поэтапного распределения трещиноватости и закарстованности, подразумевающие ту или иную интенсивность процесса карстообразования в зависимости от предполагаемой водопроницаемости отдельных элементов складки на определенном этапе ее структурно-геологического развития.

Учитывая разнообразие геологических, гидрогеологических, климатических и других обстановок, отметим, что массивы растворимых пород находятся в неоднозначных условиях. В пределах конкретного массива, условия образования и развития карста можно принять постоянными в течение длительного времени. Однако и здесь, на фоне общих условий происходят локальные изменения, связанные с влиянием на процесс карстообразования тех или иных факторов. Например, в условиях общего воздымания территории происходят последовательные изменения структурного плана, которые неизменно влекут за собой закономерные изменения в трещинной структуре массива и его гидродинамике. *Время относительного постоянства условий есть время накопления качественных изменений, которые могут привести к увеличению количественных показателей закарстованности: от единичных карстовых пустот до гигантских пещерных систем, от редких провальных форм до огромных площадей и мощностей обвально-карстовых отложений.*

Ориентировка тектонических трещин в пределах складчатых структур подчинена общему плану тектонических деформаций и вносит упорядоченность в распределение карстовых форм. Участки растворимых пород, подверженные трещинному дроблению, всегда являются потенциально пригодными для образования закарстованных трещин, полостей или систем полостей. Прерывисто-непрерывный характер формирования тектонических трещин есть основа прерывисто-непрерывного характера карстообразования в местах развития этих трещин.

При заложении тектонической складчатой структуры, в условиях потенциально отвечающих возникновению карстового процесса, последний будет развиваться в соответствии с последовательностью формирования тектонических нарушений в пределах складки. Слагающие складчатую структуру породы оказываются вовлеченными в общий процесс денудационного разрушения и переотложения материала, подчиняющиеся преобладающему тектоническому режиму. Карстовый процесс, вовлеченный в преобразование пород, разрушает их не только с поверхности, но и изнутри, развиваясь вначале в единичных кавернах, полостях и трещинах, а в последствии и на огромных площадях.

Выявление пространственного расположения подземных карстовых форм, наличия зон сгущения трещин осложняется тем, что карстующиеся породы, особенно в платформенных и переходных условиях, перекрыты не карстующимися отложениями. По единичным выходам растворимых пород на поверхность оценка закарстованности и карстоопасности исследуемой территории, особенно если она расположена на различных элементах складки, практически невозможна. В пределах элементов складок

интенсивность действия факторов карстообразования, связанных с трещинной проницаемостью, индивидуальна.

Закономерности, в соответствии с которыми распределяются нарушения сплошности пород во времени и пространстве, обусловлены полем напряжений, возникающим при определенном механизме формирования складки.

Итак, практика изучения трещиноватости и закарстованности массивов в пределах пликативных дислокаций позволяет утверждать, что: 1) карстовые явления в растворимых породах, слагающих антиклинальные структуры, распределены неравномерно, но и не хаотично. Распределение полостей определяется местоположением зон повышенной плотности тектонических, в данном случае складчатых трещин. В пределах зон трещиноватости карстовые явления приурочены к местам относительно резкой смены интенсивности трещиноватости, проницаемость которых обуславливает возникновение гидродинамических барьеров; 2) закарстованность трещинных зон не повсеместна, но эти зоны на всем протяжении являются перспективными для развития в них коррозионно-эрозионных процессов; 3) зоны повышенной интенсивности трещиноватости ориентированы согласно особенностям механизма образования складчатой структуры; 4) развитие зон трещин осуществляется непрерывно в течение всей истории развития складчатой структуры. Развитие карстового процесса на фоне структуры подчинено региональному тектоническому режиму. Этапы активизации и затухания процесса сопоставимы с тектоническим ритмом формирования складки; 5) зная механизм формирования складки и установив особенности распределения зон трещиноватости в ее пределах, возможно построение прогнозных схем распределения зон закарстованности, которые могут служить основами для более детальных прогнозных карстологических схем в целях эффективного и безопасного освоения закарстованных территорий и проведения природоохранных мероприятий.

Распределение карстовых форм в пределах складчатых дислокаций во многом определяется особенностями соотношения карстующихся и некарстующихся (подстилающих и перекрывающих) пород, их дислоцированностью, мощностью и проницаемостью.

В пределах всех типов складчатых структур карстовые формы образуют скопления - поля поверхностных карстопроявлений, зоны и участки повышенной интенсивности подземной закарстованности. В породах складчатых структур однотипного механизма образования рисунок распределения зон карстопроявлений принципиально идентичен. Идентичность рисунка распределения зон карстопроявлений является следствием принципиальной сходимости пространственного соотношения дизъюнктивов складок тождественных механизмов образования. Но, в деталях, для каждой конкретной складки распределение отдельных форм специфично вследствие многих причин, например различной проницаемости зон трещиноватости, перекрывающих отложений, различной механической прочности и растворимости пород, геометрических параметров самой структуры, сложности ее геолого-тектонической эволюции, гидрогеологических особенностей, геоморфологии.

Структурно-тектонические особенности территории являются первичным карстогенетическим фоном, каркасом на который накладываются «внешние», более динамичные в своем развитии процессы природного или природно-техногенного моделирования карста.

Взаимное расположение нарушений сплошности и элементов складок устанавливается в процессе картирования (структурного, гидрогеологического, инженерно-геологического, карстологического). Сложнее решить карстологическую задачу, а именно: с достаточной степенью определенности указать какими группами разломов или зон трещиноватости контролировался или контролируется процесс карстообразования в условиях конкретной складки. Практика карстологических

исследований показала, что максимальное карстоформирующее преимущество получают нарушения сплошности пород 1) совпадающие по простиранию с направлением регионального подземного стока, 2) открытые для формирования субгоризонтального площадного или локализованного потока (водопроницаемые по простиранию пород), 3) обеспечивающие гидродинамическую связь подземных вод разных горизонтов (водопроницаемые по падению пород, 4) имеющие гидродинамическую связь с поверхностной дренажной системой.

Направление карстово-гидродинамической активности может меняться в случаях изменения структурного плана территории. В этом случае направленность карстового процесса изменит ориентировку соответственно изменившемуся направлению подземного и поверхностного стока. Такие явления устанавливаются в результате анализа морфометрии и направленности реликтовых и современных активных форм карста [4, 6].

Выявление пространственного соотношения зон нарушений сплошности, закарстованности и структурного плана территории с учетом механизма формирования складчатости, является чрезвычайно важным этапом в оценке устойчивости территории при исследованиях регионального, локального, детального масштабов. Значимость структурно-тектонического анализа не снижается ни на одном из перечисленных уровней практических исследований.

Библиографический список

1. Катаев В.Н. Структурно-тектонические условия формирования Кунгурской пещеры // Пещеры. Итоги исследований: Межвуз. сб. науч. тр. / Перм. ун-т. Пермь, 1993. С.121-130.
2. Круббер А.А. О карстовых явлениях в России. М., ОЛЕА и Этн. 1912. С.1-34.
3. Кюнцель В.В., Матвеев В.С., Селюков Е.И. Эндогеодинамические факторы развития карста и их значение // Инженерная геология, 1992. N1. -С.56-64.
4. Максимович Г.А., Быков В.Н. Карст как показатель развития платформенных структур // Гидрогеология и карстование. Пермь, 1971, вып.4. С.18-23.
5. Печеркин А.И. Геодинамика сульфатного карста. –Иркутск: Изд-во Иркутск. ун-т, 1986. -172с.
6. Печеркин А.И., Болотов Г.Б., Катаев В.Н. Изучение тектонической трещиноватости платформенных структур для карстологических целей: Учебное пособ. по спецкурсу. – Пермь: Изд-во ПГУ, 1984. -84с.
7. Саваренский Ф.П. Гидрогеология. М., 1933.
8. Саваренский Ф.П. Инженерная геология. М., 1937.
9. Beaumont J. An account of okey hole (sic), and several other subterranean grottoes and caverns in Mendip-hills etc. // Philos. Collections, 1683. N2. P.1-7.
10. Ford D., Williams P. Karst Geomorphology and hydrology, London, 1989. 601p.
11. Kataev V.N. Analysis of the karst massif structural elements development for Engineering Karstology // Engineering Geology of Karst: Proceedings Intern. Symp., Perm, 1993. VI. P.54-60(б).
12. Kraus F. Ueber Dolinen // Verh. K.K. Geol. Reichsanstalt, 1887. P.54-62.
13. Kraus F. Die Karsterforschung // Vern. K.K. Geol. Reichsanstalt, 1888. P.143-146.
14. Lorenz J. Geologische Recognoscirungen in Liburnischen Karste u.d. vorliegenden Quarnerischen Inseln // Jahrb. K.K. Geol. Reichsanst. 1859. N10. P.332-345.
15. Reyer A. Studien uber Karstrelief // Mitt. K.K. Geog. Ges. Wien N.F., 1881. N14. P.76-86; 101-107.
16. Schmidl A. (ed) Zur Hohlenkunds des Karstes: Die Grotten und Hohlen von Edelsberg, Lueg, Planina und Laas. - Wien, 1854.
17. Zippe W. Bemerkungen uber den Hohlen - Kalkstein des karstes // In Schmidl (ed), 1854.