

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Пермский государственный университет

На правах рукописи

КАТАЕВ
Валерий Николаевич

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА В КАРСТОВЕДЕНИИ

04.00.01 - общая и региональная геология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Пермь - 1999

Работа выполнена на кафедре динамической геологии и гидрогеологии Пермского государственного университета

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор В.Н. Дублянский
(Пермский государственный университет, Пермь)

доктор геолого-минералогических наук В.М. Кутепов
(Институт геоэкологии РАН, Москва)

доктор геолого-минералогических наук, профессор А.С. Флаас
(Пермский государственный технический университет, Пермь)

Ведущая организация – государственное предприятие «Противокарстовая и береговая защита», Дзержинск

Защита состоится «11» октября 1999г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 063. 59. 05 в Пермском государственном университете (614600 г.Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пермского государственного университета.

Автореферат разослан «11» сентября 1999г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 063. 59. 05
кандидат географических наук,
доцент

_____ А.Б. Китаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Карстоведение, как наука, переживает этап переосмысления классических традиционных понятий, установившихся в 50-60-х годах XX в. Современные теоретические исследования не имеют ревизионного характера, но направлены на создание целостной, фундаментальной основы карстоведения. Современная карстологическая мысль направлена на создание общей теории карста. В основе общей теории лежат 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.

Актуальность темы. На сегодняшний день наиболее проблемными являются исследования в области механизма и закономерностей, прогноза места, интенсивности и времени развития 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 неперменным 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.

Локализация зон карстопроявлений и отдельных полостей лежит в основе практических исследований карстовых массивов в гидрогеологических целях, целях промышленного и гражданского строительства. Эффективность прогнозов устойчивости на любом уровне исследований и для любых типов сооружений резко повышается при условии использования критериев структурно-тектонической однородности массивов, снижает степень непредсказуемости катастрофических проявлений.

В данной работе предпринята попытка комплексного подхода к оценке карстологического влияния структурно-текстурных и структурно-тектонических неоднородностей пород и карстового массива в целом, определяющих избирательность и направленность карстового процесса, а в конечном итоге устойчивость закарстованных территорий и карстоопасность.

Главная научная идея работы - создание концептуально-методических основ анализа развития структурных элементов карстовых массивов и их карстогенетической роли, обеспечивающих разноцелевые прогнозные мероприятия.

Данная идея определила **основную цель работы**: раскрыть пространственно-временную взаимосвязь и карстогенетическую суть структурных элементов массивов различных иерархических уровней и показать возможности структурно-тектонического анализа при решении прогнозно-оценочных карстологических задач на основе применения структурно-текстурных и структурно-тектонических критериев развития карста.

Для достижения поставленной цели автору необходимо было решить следующие **задачи**:

- определить место и роль структурно-текстурных и структурно-тектонических исследований в теоретических и прикладных направлениях карстоведения как науки;
- проанализировать значимость комплекса методов установления структурно-тектонического контроля локализации карстопроявлений, сложившегося в теории и практике карстологических исследований;
- логически организовать комплексы методов, традиционно используемые при карстологическом анализе территорий и «нетрадиционные» методы, используемые в

геологических и негеологических науках в целях повышения эффективности анализа карстующихся пород и карстовых массивов;

- выявить и обосновать наиболее общие закономерности соотношения структурно-текстурных, минералогических и прочностных свойств карстующихся горных пород;
- на основе лабораторного анализа выявить и обосновать карстогенетическую роль структурно-текстурных особенностей карстующихся горных пород;
- на основе полевого анализа трещиноватости и закарстованности выявить и обосновать закономерности распределения и соотношения дизъюнктивных нарушений и карстовых форм;
- разработать и апробировать метод структурно-тектонического анализа карстовых массивов, учитывающий особенности пространственного соотношения различных генераций дизъюнктивов и карстовых форм, структурного плана территории, вариаций тектонического стресса;
- проанализировать комплекс оценочно-прогностических действий, применяемых в отношении закарстованных территорий, оценить его эффективность и показать расширение возможностей карстологического районирования и типизации при использовании в качестве основы комплекса структурно-текстурных и структурно-тектонических критериев оценки.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней

- исходя из принципов генетической неразрывности и взаимообусловленности, рассмотрены теоретические аспекты эволюции структурных элементов карстовых массивов;

- определены и рассмотрены в комплексе структурно-текстурные и структурно-тектонические оценочные критерии избирательности карстового процесса, критерии локализации зон карстопроявлений и отдельных карстовых полостей;

- раскрыта методологическая суть понятия «карстосфера». На основе анализа ранних и современных схем вертикальной гидродинамической зональности карста, анализа распределения напряжений, деформаций и структурных элементов верхней части земной коры предложена теоретическая модель деформационно-напряженного состояния карстосферы – дополнительной основы для концептуальных построений ее этажности;

- сформулировано понятие «карстовый массив», представлена иерархическая соподчиненность структурных элементов карстовых массивов с комплексами методов исследований элементов соответствующих морфометрических интервалов;

- разработан, апробирован и предложен метод структурно-кинематического анализа карстовых массивов, направленный на определение периодов формирования трещин в общей структурно-тектонической эволюции района, установление особенностей распределения зон ослабления массива, установление пространственного соотношения зон трещиноватости и закарстованности.

Предметом защиты являются следующие положения:

1. В основе локализации и морфологического разнообразия карстовых форм лежат закономерности пространственно-временной эволюции структурных элементов массива, преимущественно элементов, составляющих «структуру ослабления массива», его дизъюнктивный каркас.

2. Структурно-текстурные и структурно-тектонические элементы карстовых массивов генетически взаимообусловлены и пространственно взаимосвязаны.

3. Избирательность и направленность карстового процесса, анизотропия минерального состава, свойства и состояние карстующихся пород контролируются соотношением структурных элементов всех иерархических уровней (от микро- до макро-).

4. Эффективность прогноза карстопроявлений при использовании любой разновидности оценочных методов или их комплексов резко повышается при использовании критериев структурно-текстурной и структурно-тектонической однородности пород, слагающих карстовые массивы.

Объектами исследования являлись карстовые массивы, характеризующиеся развитием карбонатного, сульфатного и сульфатно-карбонатного карста и находящиеся в разных геоструктурных условиях: на северо-западной, юго-западной и восточной окраинах Восточно-Европейской платформы (районы преимущественно сульфатного карста юго-востока Беломоро-Кулойского плато, зоны сочленения плато

формы с Предкарпатским - Подольский и Буковинский карстовые районы и Предуральским прогибами - Полазненский, Нижнесыльвенский, Иренский, Кишертский карстовые районы, район карбонатного карста Уфимского плато); в горно-складчатых районах Кавказа (Сочинский район карбонатного карста: Алексский, Ахштырский, Воронцовский), Западно-Уральской зоне складчатости (Средневишерский, Кизеловский, Чусовской районы карбонатного карста) и Центрально-Уральском поднятии (Верхневишерский район карбонатного карста).

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается углубленным анализом состояния решаемых проблем; применением обоснованного комплекса методов исследований и теории, основанной на исследованиях отечественных и зарубежных основоположников карстоведения; разнообразием районов исследований, расположенных в различных структурно-тектонических обстановках и характеризующихся различными геологическими, геоморфологическими и гидрогеологическими условиями; хорошей сходимостью результатов интерпретации полевых исследований с теоретическими предсказаниями и результатами математического моделирования, полученными как автором диссертационной работы, так и другими исследователями; внедрением теоретических и методических рекомендаций в производственные и научные организации. При исследованиях трещиноватости и закарстованности, последующей интерпретации результатов использовались методы, разработанные на кафедре инженерной геологии ПГУ с непосредственным участием автора и получившие апробацию в последние 15 лет. Во всех исследованных районах закартировано свыше 8 тысяч трещин с указанием элементов их залегания, раскрытости, типа заполнителя, степени выщелачивания бортов и др. Минеральный состав и структурно-текстурные характеристики карстующихся пород исследованы в 180 шлифах образцов гипс-ангидритов и известняков традиционными методами оптической диагностики. Методами рентгеноструктурного анализа исследовано 98 образцов, методами электронной микроскопии 56 образцов. Методами экспериментальной физики на 5 образцах известняков исследована механическая реакция минеральных зерен и микротрещин в условиях меняющегося теплового поля и двустороннего сжатия. При математическом моделировании использованы типовые решения пространственных задач по расчету напряжений при изгибах пластин, применяемые в теории упругости.

Реализация работы. Исследования, положенные в основу диссертации, проводились в соответствии с рядом общенаучных, государственных и отраслевых программ:

1) программой Госстроя СССР по решению отраслевой научно-технической проблемы 0.55.00.111 (этап СД 10а) «Провести научные исследования и разработать рекомендации по оценке влияния природных условий и антропогенных факторов на устойчивость закарстованных территорий» (№ 81048847) (1981-1982гг.);

2) программой Комиссии по карсту и спелеологии Научного совета по инженерной геологии и гидрогеологии АН СССР, тема «Карст отдельных районов Европейской части СССР, закономерности его распространения и особенности развития» (1981-1985гг.);

3) государственной научно-технической программой №16 «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» (1992-1994гг.);

4) научной программой Свердловского отделения железной дороги по решению отраслевой задачи «Провести комплексные исследования карстовых процессов на участке Пермского отделения железной дороги и разработать рекомендации по обеспечению безопасной эксплуатации» (1991-1993гг.);

5) государственной программой «Университеты России», раздел «Теория и методические основы экологической геологии», тема «Кунгурская пещера» (1992-1996гг.).

6) отраслевых научных программ ПО «Пермтрансгаз» и РАО «Газпром» «Создание стационарного инженерно-геологического полигона на магистральных газопроводах Ужгородского коридора (1649-1653 км)» и «Оценка карстоопасности; создание систем прогнозирования аварийных и катастрофических ситуаций, карстомониторинга и противокарстовой защиты в целях обеспечения устойчивости и защиты трасс магистральных газопроводов предприятия «Пермтрансгаз» (1997-1998).

Методические приемы структурно-тектонического анализа карстовых массивов в целях выявления факторов локализации карстовых форм и этапов их развития применены автором при интерпретации результатов исследований следующих наиболее крупных полевых экспедиций, проведенных в районах: карбонатного карста Центральной и Северной Англии в составе рабочей группы департамента Наук о Земле Оксфордского университета (руководитель проф. Джон Платт, юго-восточная окраина поднятий Мендип-Хиллс, Великобритания, 1991г.); в составе рабочей группы Института Географии и Университета провинции Гуйчжоу - Китай (руководитель проф. Янг Мингд, район Инглбороу Хилл, Великобритания, 1991г.); сульфатного, карбонатного и сульфатно-карбонатного карста северной части Уфимского плато в зоне примыкания к железнодорожному полотну «Пермь-Екатеринбург» (Кунгурский, Кишертский районы Пермской области, 1991-1993гг.); сульфатно-карбонатного массива развития Кунгурской Ледяной пещеры (в рамках программы «Университеты России», руководитель доц. К.А. Горбунова, 1992-1996гг.); сульфатно-карбонатного массива, в пределах которого проложены магистральные газопроводы (Ординский район Пермской области, Ясылское карстовое поле, руководитель проф. А.Я.Гаев, 1997г.).

В работе использованы данные, в разное время представленные рядом научно-производственных, общественных организаций и объединений: ПО «Архангельскгеология», Адлерской комплексной лаборатории ПНИИС Госстроя России, ПО «Кизелуголь», треста ВерхнеКамТИСИЗ, Кунгурского карстового стационара, спелеоотряда института геологии АН Украины, Санкт-Петербургской и Черновицкой спелеосекций, а также материалы экспедиционных гидрогеологических и карстологических исследований кафедры динамической геологии и гидрогеологии Пермского государственного университета, Института Карстологии и Спелеологии РГО.

Внедрение результатов исследований проведено в рамках всех указанных программ. По программе Госстроя СССР и Комиссии по карсту и спелеологии материалы исследований использованы в разделе "Карст" методических рекомендаций ПНИИС-Са по инженерным изысканиям на закарстованных берегах водохранилищ. В виде рекомендаций при выполнении оценочных карстологических мероприятий по отдельным районам результаты исследований переданы и приняты к производству в Адлерской комплексной инженерно-геологической и гидрогеологической лаборатории ПНИИС (районы Западного Кавказа, 1982г.), тресте ВерхнеКамТИСИЗ и Лаборатории комплексных исследований водохранилищ Естественнонаучного института(Пермь), Кунгурском стационаре АН СССР (районы Предуралья, 1983-1984гг.).

В ГНТИ №16 «Безопасность» внедрены: «Методика оценки влияния структурно-тектонических особенностей на опасность карста в условиях техногенеза» - направление 2, проект 2.3, задание 2.3.6 (1992г); «Методика региональной оценки опасности карста и составление макета карты масштаба 1:200 000» - направление 7, проект 7.12.1 (1993г.); «Карта опасности карста и оползневых процессов на территории Пермской области» в масштабе 1:1 000 000 с соответствующей объяснительной запиской составлена и внедрена при исследованиях по теме «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф для Пермской области», выполненной Горным институтом УрО РАН - направление 7, проект 7.12.1 (1994г.).

По отраслевой программе Свердловского отделения железной дороги результаты инженерно-геологических, инженерно-геофизических, геофизических исследований карстовых процессов на участках сульфатно-карбонатного и карбонатного карста (д. Березово - ст. Кунгур, 1992г; ст. Кунгур - ст. Кишерт, 1993г.) приняты Службой эксплуатации пути и использованы при установлении скоростных режимов подвижного состава на карстоопасных участках, а также для выполнения мероприятий по техническому закреплению основания железнодорожного полотна.

В рамках государственной программы «Университеты России» полученные результаты геологических и структурно-тектонических условий развития Кунгурской Ледяной пещеры вошли в качестве основных в сводку опубликованных итогов изучения этого уникального спелеологического объекта (1995г.).

В рамках отраслевых программ ПО «Пермтрансгаз» и РАО «Газпром» результаты исследований внедрены в качестве экспертно-аналитической оценки проектно-нормативных решений по созданию стационарного инженерно-геологического поли-

гона на магистральных газопроводах и методики специальных карстологических исследований в пределах трасс магистральных газопроводов (1997г., 1998г.).

Помимо вышеперечисленных внедрений отдельные методические рекомендации и результаты исследований использовались различными ведомствами и научными группами при решении проблем связанных с закарстованными территориями, например при размещении дополнительных производственных зданий на территории Чаньвинского месторождения известняков (Зап. Урал) или обоснования границ организуемого Сылвинского национального парка, где карстовые формы входят в перечень охраняемых памятников природы.

Результаты исследований используются в учебном процессе, как материал на котором основаны разделы таких учебных курсов как «Общее карстоведение», «Структурно-тектонический анализ карстовых массивов», отдельный раздел «Карстовые процессы» курса «Общая геология», читаемые автором на геологическом факультете Пермского государственного университета.

Личный вклад автора в получении научных результатов, изложенных в диссертационной работе, выражается в его участии в период с 1980 по 1999г. в полевых экспедиционных и тематических научно-исследовательских работах в качестве руководителя или ответственного исполнителя тем.

Все материалы исследований, положенные в основу диссертации, обработаны автором лично. Все результаты и выводы получены им самостоятельно. Материалы, представленные в данной работе без библиографических ссылок, принадлежат автору.

Практическая ценность работы определяется следующими положениями:

1) результаты проведенных исследований, сформулированные как методический оценочно-прогностический комплекс мероприятий, позволяют обоснованно локализовать участки наиболее перспективные на развитие в их пределах карстовых явлений;

2) полученные автором закономерности распределения форм карста (преимущественно подземных полостей) в пределах дизъюнктивных и пликративных дислокаций тектонического генезиса повышают эффективность разноцелевых исследований на закарстованных территориях;

3) результаты изучения распределения карста позволяют на геолого-генетической основе проводить организацию региональных и детальных инженерно-геологических, гидрогеологических, спелеологических исследований.

Публикации и апробация результатов исследований. Соискателем опубликовано 89 научных работ, из них 75 посвящены теме диссертации. Из этих работ одна является коллективной монографией, 2 учебных пособия, 6 работ издано в центральной печати, 9 в международных изданиях, 3 работы депонировано в ВИНТИ, остальные работы имеют региональный статус. Приведенный в конце автореферата список основных публикаций в полной мере отражает результаты диссертационной работы.

Результаты исследований обсуждены на 29 конференциях, симпозиумах и совещаниях различного ранга: научно-практической конференции «Карст Дальнего Востока: научное и практическое значение карстологических исследований», Владивосток, 1981; научно-технической конференции «Перспективы развития исследований по естественным наукам на Западном Урале», Пермь, 1981; научно-технической конференции «Современные проблемы геологии и геофизики», Пермь, 1981; научно-техническом совещании «Влияние горнодобывающей промышленности на геологическую среду и ее охрана», Пермь, 1981; международном симпозиуме «Инженерно-геологические проблемы строительства на растворимых породах», Стамбул (Турция), 1981; IV конгрессе МАИГ, Нью-Дели (Индия), 1982; международном симпозиуме «Использование закарстованных территорий» Бари-Кастелляна (Италия), 1982; научно-техническом совещании «Инженерная геология Западного Урала», Пермь, 1982; III всесоюзном карстово-спелеологическом совещании «Состояние, задачи и методы изучения глубинного карста СССР», Москва, 1982; семинаре «Проблемы инженерной геологии Урала», Пермь, 1984; научно-техническом семинаре «Проблемы гидрогеологии и карста», Пермь, 1984; научно-практических конференциях «Достижения молодых ученых в области геологии, геофизики, географии», Пермь, 1980, 1983, 1984,

1986; IV всесоюзном карстово-спелеологическом совещании «Картографирование и районирование карста в связи с освоением территории», Владивосток, 1986; 10 международном спелеологическом конгрессе, Будапешт, 1989; международном конгрессе «Пермская система Земного шара», Пермь, 1991; научной конференции «Геология и минеральные ресурсы Западного Урала», Пермь, 1993; международном симпозиуме «Инженерная геология карста», Пермь, 1993; научно-технической конференции «Построение физико-геологической модели и системный подход при истолковании результатов геофизических исследований», Пермь, 1993; IV всеуральском совещании по подземным водам Урала и сопредельных территорий, Пермь, 1994; конференции «Карстовые провалы», Кунгур, 1994; IV объединенном международном симпозиуме по проблемам прикладной геохимии, Иркутск, 1994; 8 международном симпозиуме по взаимодействию горных пород и вод, Владивосток, 1995; научно-практической конференции «Современные проблемы геологии Западного Урала», Пермь, 1995; региональной научно-производственной конференции «Геология и полезные ископаемые Западного Урала», Пермь, 1997; международной научно-практической конференции «Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охраны окружающей среды», Пермь, 1997; региональной научной конференции «Геология Западного Урала на пороге XXI века», Пермь, 1999.

Структура работы и объем. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, включающих 12 разделов (37 подразделов), заключения и библиографического списка, содержащего 260 наименований. Общий объем диссертации - 451 страниц, включая 110 рисунков и 35 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение посвящено актуальности рассматриваемой проблемы и общей характеристике работы.

Глава 1. МЕТОДОЛОГИЯ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

1.1. Карстосфера: общие понятия и структура

1.1.1. Задачи современного карстоведения

Научные направления карстоведения базируются на разноуровневом анализе структурно-тектонических обстановок и структурно-текстурных особенностей пород, слагающих закарстованные территории. Очевидно, что каждое направление исследований предполагает изучение «составных частей массивов горных пород» - их структурных элементов и различных видов взаимодействия этих элементов друг с другом в природных или техногенноизмененных условиях.

Применительно к разработке принципов структурно-тектонической оценки состояния массива автором в карстоведении выделено девять научных направлений. В соответствии с направлениями исследований сформулирован комплекс основных задач карстоведения, состоящий из трех блоков, взаимосвязанных логически.

1.1.2. Анализ понятий о карстосфере. Методологическая суть понятия «карстосфера»

Развитию и уточнению смыслового понятия термина «карстосфера» (введен в обращение Л.И. Маруашвили (1970, 1972) посвящены работы Г.А. Максимовича (1979), В.Н. Андрейчука (1986, 1991), Ю.А. Ежова и др. (1992).

Рассматривая понятийные определения автор отмечает, что все они акцентируют внимание на следующих характеристиках карстосферы: 1) приуроченность к различным геосферам (в большинстве случаев к стратисфере), 2) прерывистость, 3) вертикальную зональность, 4) обязательное наличие растворимых в воде горных пород и 5) подчиненность развития закономерностям и стадийности литогенеза, 6) обязательное наличие карстовых явлений и форм. Практически все имеющиеся определения косвенно характеризуют карстосферу как геосистему, различной степени подвижности, подразумевая в ее составе два основных компонента - горную породу и подземные воды.

Комплекс потенциальных характеристик карстосферы можно рассматривать как комплекс сведений о геологической среде, которые получают исследователи, используя достижения теории и практики карстоведения, а также пограничных наук геологического цикла. В таблице 1 представлены группировки сведений о карстосфере-

ре, как геологической среде, характеризующейся специфическими свойствами, процессами и явлениями.

Таблица 1

Сведения о карстосфере

Группы сведений	Перечень сведений
А. Структура, пространственное соотношение элементов	а) расположение и сочетание разноуровневых геологических тел в различных геоструктурных обстановках; б) строение и дислоцированность геологических тел (сочетание карстующихся и некарстующихся пород, их залегание, пространственное соотношение пликативных, дизъюнктивных и карстовых элементов - закономерности распределения и история развития); в) гидрогеологические характеристики геологических тел (типы коллекторов, их сочетание, характер обводненности, гидродинамическая зональность); г) геоморфологический облик (элементы карстового рельефа, их пространственное соотношение и парагенезис, соотношение элементов карстового и других форм рельефа);
Б. Свойства	а) литологический состав карстующихся пород, их структурно-текстурные особенности и свойства; б) литологический состав перекрывающих и вмещающих пород (отложений), их свойства; в) компонентный состав, минерализация, температура поверхностных и подземных вод и гидрофлюидов;
В. Движение (процессы, явления)	а) карстовые, карстово-суффозионные, суффозионные и другие сопутствующие процессы и явления природного, природно-техногенного и техногенного происхождения на поверхности и внутри геологических тел.

В ряду теоретических аспектов карстоведения понятие «карстосфера» является базовым, поскольку оно в наиболее общем виде включает обстановки образования и развития всех генетических типов карста, а также в силу своей структуры определяет пространственно-временные закономерности и границы распределения карстовых явлений. Карстосфера - теоретический понятийный объем, заполнение которого означает процесс построения концептуальной модели карста - основы для решения теоретических и прикладных вопросов общего, регионального, инженерного карстоведения.

1.2. Развитие взглядов на структуру и гидрогеологию карстосферы

1.2.1. Карстогенетическая роль структурообразующих элементов

Отражение карстогенетической роли структурообразующих элементов началось буквально с первых известных работ, посвященных карстовым явлениям. 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.

Раздел содержит обзор публикаций и анализ представлений о карстогенетической роли структурных элементов в развитии и распределении карстовых форм. Наиболее ранние представления проанализированы по работам следующих ученых: А. Шмидла (Schmidl, 1854), В. Зиппе (Zippe, 1854), Дж. Лоренца (Lorenz, 1859), Е. Тьетзе (Tietze, 1873), Е. Мойсисовича (Mojsisovice, 1880), А. Рейера (Reyer, 1881), Ф. Крауса (Kraus, 1887; 1888) и др.

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. В этот период карстологические исследования связаны с такими именами, как А.А. Штукенберг, А.А. Крубер, Г.И. Куликовский, Н.Н. Соболев и многими другими, чьи публикации можно встретить в «Известиях геологического кабинета», трудах Санкт-Петербургского общества есте-

ствоиспытателей, журнале «Землеведение» и других изданиях конца XIX начала XX века.

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 различных типов растительности необходимых для начала и дальнейшего развития процессов химического и механического разрушения горных пород.

Подводя итог краткому обзору развития в карстоведении понятий о структуре карстового массива и ее элементах, автор отмечает, что представление о роли геолого-тектонических особенностей массива в распределении карстопроявлений, направленности карстового процесса, особенностях гидродинамического режима в целом сформировалось в конце 50-начале 60-х годов. Структура массива представлялась в виде комплекса элементов, находящихся в условиях пространственно-временных взаимоотношений.

Помимо общих закономерностей, автор приводит ряд более конкретных форм пространственного соотношения региональной или локальной структуры (ее элементов) и карстовых явлений.

1.2.2. Вертикальная гидродинамическая зональность карстосферы

Выявление особенностей структуры карстосферы связано с теоретическими и практическими разработками в области установления гидродинамической зональности в карстовых регионах и наиболее общих, принципиальных структурно-тектонических и литологических обстановок развития карста.

В карстоведении нет общепризнанного мнения о структуре карстосферы, ее вертикальной гидродинамической зональности, глубинных интервалах выделяемых зон. Связано это 1) с относительно слабой изученностью глубоких (глубже 2500м) горизонтов земной коры по сравнению с ее приповерхностной частью, где концентрация многоаспектной деятельности человека имеет наибольшую степень; 2) существованием различных мнений о карстогенетической сути выделяемых гидродинамических зон.

Одним из важнейших проблемных вопросов карстоведения остается глубинность явлений растворения, процессов переноса и отложения вещества в результате взаимодействия природных водных растворов с горными породами. Иными словами, вопрос глубинности карста остается дискуссионным. Теоретические аспекты проблемы охватывают 1) построение модели вертикальной зональности карста, учитывающей генетические особенности процесса как в экзогенных, так и в эндогенных обстановках; 2) классифицирование нетрадиционных типов карста, создание методик их изучения и терминологической базы; 3) определение условий развития карста на «нижних этажах карстосферы»; 4) разработку универсального понятия «карстосфера» с обоснованием положения ее нижней границы на фоне планетарной гидродинамической зональности и макроструктуры земной коры.

Современное представление о структуре карстосферы сформулировано благодаря исследованиям не только в области теории карстового процесса, но также в теории гидродинамической (барической) и гидрохимической планетарной зональности земной коры. Современные схемы предусматривают наличие в карстосфере сложной прерывисто-слоистой структуры, характер проницаемости элементов которой, а также свойства и состав подземных вод зависят от планетарной смены барических условий (табл. 2).

1.3. Карстовые массивы и бассейны: основные понятия и методы исследования

1.3.1. Основы системного подхода к исследованиям карстовых массивов.

Терминологические аспекты

Идея представления геологических тел, как разноуровневных систем не нова и получила развитие в структурной геологии, тектонике, механике скальных массивов, гидрогеологии, инженерной геологии. Углубление и развитие данной идеи мы можем найти в работах М.В. Раца и С.Н. Чернышева (1970), М.В. Раца (1973), А.Е. Михайлова (1974), С.А. Акинфиева и И.С. Комарова (1978), И.С. Комарова (1983), Л.А. Молокова (1985), И.В. Баклашова (1988), В.И. Осипова (1991) и многих других авторов.

Таблица 2

Вертикальная гидродинамическая зональность и структура карстосферы

по Г.А. Максимовичу (1979)	по Ю.А. Ежову и др. (1988, 1992)	по Ю.В. Дублянскому (1991)	по И.Н. Шестову (1991), А.В. Шурубору, И.Н. Шестову (1993)
<p><u>Верхняя зона карстосферы (экзокарст):</u> открытая система массопереноса, интенсивный водообмен, инфлюационное питание, эпигидрогенез, гидрогенез: преобладание окислительных обстановок.</p>	<p><u>Экзокарстовый этаж</u> <u>I. Гидростатзона (ГСЗ):</u> гидростатическое давление, инфльтрационное, инфлюационное питание, нисходящие и латеральные потоки, восходящее движение вод из нижележащих зон, разрывных нарушений, ослабленных водоупоров. Подзоны: Ia - активного, Iб - затрудненного, Iв - весьма затрудненного водообмена. Мощность 500-600м, 6000-7000м и более. Мощность возрастает от альпийских к более древним платформам и горноскладчатым сооружениям</p>	<p><u>I. Близповерхностная высокоградиентная зона:</u> существенное влияние экзогенных факторов, высокий градиент температур. <u>II. Глубинная низкоградиентная зона:</u> влияние экзогенных факторов практически не сказывается. Подзоны: • гидростатических давлений на глубинах 3000-5000м ($T < 100^{\circ}\text{C}$)</p>	<p><u>I. Гидростатический этаж:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • зона гравитационного карста, • зона активного водообмена (активного карста). <p>Формирование основных карстовых коллекторов в инфльтрационные циклы.</p> <ul style="list-style-type: none"> • зона замедленного водообмена (замедленного карста), • зона застойного водного режима (угнетенного карста). <p>Трещинно-карстовые коллекторы в условиях закрытых артезианских бассейнов до глубин 1000-2500м. Относительно активный карст в районах тектонических разломов.</p> <ul style="list-style-type: none"> • зона застойного водного режима в условиях повышенных температур и давлений (гидротермокарст). <p>Мощность этажа до 4500-5000м</p>
<p><u>Мезокарстосфера (мезокарст):</u> полукрытая система массопереноса, затрудненный водообмен, инфльтрационное питание, гидрогенез: окислительные и восстановительные условия.</p>	<p><u>II. Мезозона (МЗ):</u> зона релаксаций СГСД. Давление неравномерно и скачкообразно. IIА. Буферная: максимальное уплотнение пород, отложение минералов, закрытие трещин. IIБ. Разуплотнение пород на местах движения флюидов</p>	<ul style="list-style-type: none"> • сверхгидростатических давлений, не превышающих прочность пород, • сверхгидростатических давлений, превышающих прочность пород ($T > 100^{\circ}\text{C}$) 	
<p><u>Гипокарстосфера (гипокарст):</u> закрытая система - отсутствие выноса вещества, геологически затрудненный водообмен, гидрогадогенез: обстановки засоления и метаморфизма подземных вод</p>	<p><u>Эндокарстовый этаж</u> <u>III. Литостатзона (ЛСЗ):</u> восходящие потоки газожидких флюидов, концентрация флюидо-разрывов по горизонтам. Глубина этажа до 12000-15000м</p>		<p><u>II. Геостатический этаж (свыше 5000м):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • зоны разуплотнения горных пород, • зоны гидротермального рудообразования в горно-складчатых областях

Следует согласиться с В.И. Осиповым (1991), что если в геологии, теперь уже в силу традиционности применения системного подхода, выделение структурных элементов и определение их статистических параметров не составляет сложной задачи (роль элементов на разных уровнях выполняют формации, фации, горные породы), то структуры систем и взаимодействие элементов структур, особенно в техногенных условиях, до сих пор исследованы слабо. Наиболее проблемным является изучение динамики сложных систем и прогноз их поведения при различных формах внешнего воздействия, поскольку при данных условиях физическая модель теряет свое прогностическое значение. Необходима разработка не просто моделей на основе методов многомерной статистики, учитывающей характеристики системы на «внешнем контуре», но создание концептуальной модели прогнозируемого процесса применительно к определенному иерархическому уровню системы.

Анализ литературных источников, проведенный автором, показал, что влияние эндогеодинамических факторов на развитие карста, особенно применительно к методам 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. Несомненно, что 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. Автор подчеркивает, что внешние глобальные динамичные изменения литосферы оказывают неоднозначное воздействие на структурные элементы карстового массива, а следовательно в основе анализа влияния эндогеодинамических факторов должна лежать динамика разрывных дислокаций всех иерархических уровней.

По мнению автора, 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.

В карстологической справочной литературе строгое или понятийное определение карстового массива отсутствует, что связано с использованием в практике карстоведения одного из понятий о массиве заимствованных из смежных наук, в частности из инженерной геологии. Вместе с тем, по мнению автора, понятие «карстовый массив» является ключевым в построении теоретической модели карста.

Автор подчеркивает, что карстовый массив является частью геологической среды, наделенной ее фундаментальными свойствами, такими как изменчивость, неоднородность, дискретность, организационность. Карстовый массив является геологической системой, обладающей конкретной структурой (набором элементов и их взаимодействий), имеющей пространственно-временной характер. Как и все геосистемы карстовый массив - динамичная система, поскольку его структура не является жесткой, не меняющейся со временем. Активность системы, в конкретном случае, определяется многими факторами, но основным является тектонический режим территории, выводящий карстующиеся породы в ту или иную гидродинамическую зону.

Учитывая различия в подходах к исследованию закарстованных территорий, наиболее общее определение карстовых массивов сформулировано автором следующим образом: ***«карстовый массив это геологическое тело, имеющее границы различной геологической природы или различного типа, состояние и развитие которого определяется степенью реализации основного свойства части слагающих его горных пород: при контакте с природными или природно-техногенными водами относительно активно, закономерно во времени и пространстве, преобразовываться через комплекс процессов, явлений и форм растворения, эрозии, аккумуляции и гравитационного обрушения».***

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.

1.3.2. Структурные элементы и уровни их исследования

Размеры структурных элементов массива, влияющих на развитие и морфологию карста, изменяются в широком диапазоне: от десятков микронов до десятков километров. Связано это с генетическими особенностями процесса, начинающегося от микротрещин и микропор, различимых при большом увеличении, а впоследствии контролируемого в своем развитии элементами региональных дислокаций.

Вопросы иерархии структурных элементов массивов не имеют окончательного решения. Но построения каждого иерархического уровня должны базироваться на определенном элементарном геологическом теле, способном в максимальной степени отражать свойства массива, частью которого он является.

Характерные структурные элементы определяются их видом и степенью влияния на анизотропию исследуемого признака. Это могут быть минеральные зерна, куски породы, блоки, слои, поры, трещины, пустоты, включения и т.д.

Масштабный диапазон размеров структурных элементов автор разделил на семь интервалов, каждому из которых соответствует свой комплекс методов изучения, сформировавшийся в результате практических исследований. Очевидно, что возможности каждого из семи методических комплексов оптимальны для определенного морфометрического ряда элементов: атомарного, микронного, микроблокового, блокового, локального, регионального, глобального (табл. 3). Аналогично морфометрическому ряду автор дает и название структур, образованных элементами соответствующего параметрического интервала.

Автор отмечает, что известные условия карстообразования со времени их формулировки (Соколов, 1951; 1962) остались практически неизменными, что нельзя сказать о факторах процесса. Их перечень меняется в зависимости от целей карстологических исследований, природных и природно-техногенных обстановок развития карста на исследуемых площадях. Количество оцениваемых факторов варьирует в различных работах от 10 до 100, в редких случаях более. Данная ситуация свидетельствует о том, что процесс поиска универсального набора факторов карстообразования не закончен, а вследствие этого в области теории карстоведения задача построения различных классификаций карстогенетических факторов, анализа их теоретической и практической значимости остается актуальной.

1.3.3. Трещинная проницаемость карстовых массивов и спелеогенез

В разделе рассмотрен ряд гипотез спелеогенетической значимости той или иной гидродинамической зоны с акцентом на спелеогенетические функции элементов трещинной структуры карстовых массивов. Рассмотрены: *вадозная гипотеза* (Grund, 1903; Katzer, 1909; Martel, 1921 и др.), *глубокая фреатическая гипотеза* (Davis, 1930; Bretz, 1942), *гипотеза водного уровня* (Swinnerton, 1932; Rhoades, Sinacori, 1941) и *единая генетическая гипотеза* (Ford & Ewers, 1978), предполагающая соединение имеющихся спелеогипотез.

Автор отмечает, что все рассмотренные гипотезы и особенно «единая генетическая» предполагают, что проницаемость массива является функцией размеров и геометрии сети трещин, а изменения параметров сети трещин влекут за собой и изменения характера закарстованности.

Учитывая результаты исследований отечественных спелеологов, а именно то, что 1) образование карстовых полостей происходит в различных гидродинамических условиях, 2) полости полигенетичны, 3) полости имеют пространственно-временную подчиненность воздействиям коррозионных, эрозионных и гравитационных процессов, степень влияния которых меняется в зависимости от положения полости относительно гидродинамических зон массива, автор резюмирует, что гипотезы об образовании и развитии карстовых полостей в какой-либо одной из выделяемых гидродинамических зон, с позиций современных данных не могут являться абсолютными. Изменение представлений об эволюции полостей в сторону их полигенетичности - характерная особенность в развитии карстоведения.

Автор указывает, что затрагивая вопрос стадийности образования того или иного спелеообъекта следует исходить из временного соотношения спелеостадий и временных отрезков тектонического преобразования массива.

На основе результатов исследования трещиноватости карбонатных и сульфатных пород и последующего сопоставления распределения трещиноватости и форм карста в различных карстовых районах, автор выделил четыре наиболее общие стадии формирования закарстованности массива, характеризующегося различными во времени степенями трещинного дробления, обусловленными тектоническими подвижками.

Таблица 3

**Элементы структур карстовых массивов: условные уровни и методы исследований
(по V.N. Kataev, K.A. Gorbunova, 1993; B.H. Катаеву, 1994)**

Уровень, площадь исследований, м ²	Основные характеристики элементов			Методы исследования
	морфометрические, м	морфологические	гидродинамические	
I АТОМАРНЫЙ менее 7·10⁻⁵	10⁻¹² - 10⁻⁹	Дефекты кристаллической решетки минералов и их комбинации		Дефекты рассматриваются как ансамбль взаимодействия квазичастиц. Используются обобщенные качественные и количественные показатели состояния объекта. Методы электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа
II МИКРОННЫЙ 10⁻⁴	10⁻⁶ - 2·10⁻³	Микротрещины на уровне размеров микрозерен, отдельные микрозерна, первичные и вторичные поры, изолированные или соединенные	Трещинно-поровое пространство в состоянии открытой или закрытой систем. Движение воды под большим давлением (в фреатических условиях). Режим ламинарный. Проницаемость от 10 ⁻⁴ до 10 ⁻¹ см·сек ⁻¹	Свойства объекта зависят от физических свойств компонентов и структуры. Распределение элементов принимается статистически изотропным в телах IV уровня и выше. Методы электронной и оптической микроскопии, рентгеноструктурного, химического, радиоизотопного, термального анализа
III МИКРО- БЛОКОВЫЙ 10⁻²	2·10⁻³ - 10⁻¹	Визуально выделяемые трещины, поры, каверны и их заполнитель, каналы растворения по трещинам и сообщающимся порам. Минеральные зерна и их агрегаты	Трещинно-поровое пространство обычно в состоянии открытой системы. Анизотропно в малых объемах. Проницаемость от 10 ⁻¹ до 10 см·сек ⁻¹	Свойства объекта зависят от структуры и параметров образца, условий проведения опыта, свойств слагающих объект минералов. Распределение элементов принимается статистически изотропным в телах V уровня и выше. Методы лабораторного определения водно-физических, прочностных и упругих характеристик, электрических и электроакустических эффектов в образце. Методы лабораторного и полевого (натурного) определения растворимости образцов горных пород, визуальное изучение образцов
IV БЛОКОВЫЙ 10² - 10⁶	10⁻¹ - 10³	Макротрещины, их заполнитель, блоки горных пород, ограниченные макротрещинами, участки и зоны дробления, фрагменты карстовой дренажной системы, литологические неоднородности, элементы эрозионных форм рельефа. Рисунок трещин зависит от положения массива в разрезе относительно элементов тектонических структур и направления тектонического стресса	Анизотропный поток подземных вод создается динамическим градиентом и неравномерной проницаемостью трещин. В верхней части массива создаются конвергентные потоки, используется понятие гидродинамической зоны	Свойства тела во многом определяются геометрией и структурой пласта. Исследуются все генетические типы трещин и пространственное соотношение растворимых и нерастворимых пород и отложений. Устанавливается или прогнозируется местоположение подземных карстовых форм по преобладающему фактору влияния. Методы крупномасштабных и специальных геологических, горно-геологических, геофизических, гидрохимических, карстологических, геоморфологических, инженерно-геологических полевых и камеральных исследований, включая полевые масштабные опыты. Моделируется кинетика развития провальных и просадочных форм карста

**Элементы структур карстовых массивов: условные уровни и методы исследований
(по V.N. Kataev, K.A. Gorbunova, 1993; B.H. Катаеву, 1994)**

<p align="center">V ЛОКАЛЬНЫЙ $10^6 - 10^8$</p>	<p align="center">$10^3 - 10^4$</p>	<p>Фрагменты простых или сложных разрывов, складчатых дислокаций. Зоны несогласного залегания пластов, зоны размыва, выклинивания. Зоны сгущения тектонических трещин, дробления. Зоны литологического замещения. Эрозионные формы рельефа. Крупные карстовые формы и их совокупности. Генерализованный рисунок нарушений сплошности зависит от направления и интенсивности тектонических движений.</p>	<p>Турбулентное движение локализованных потоков по трещинам и карстовым каналам. Используется понятие гидродинамической зональности карстового массива, карстовый водоносный горизонт</p>	<p>Свойства тела определяются условиями структурно-тектонического развития территории. Методы среднемасштабных дистанционных, геологических, геофизических, гидродинамических, гидрохимических, геоморфологических, карстологических, спелеологических, инженерно-геологических исследований. Математическое и физическое моделирование. Выявляется или прогнозируется пространственное положение карстовых систем по комплексу факторов</p>
<p align="center">VI РЕГИОНАЛЬНЫЙ $10^8 - 10^{10}$</p>	<p align="center">$10^4 - 10^5$</p>	<p>Крупные тектонические блоки, сложенные комплексами пород ненарушенных или дислоцированных группами разрывных или (и) складчатых структур локального уровня. Фрагменты глубинных разломов. Зоны фациальных замещений. Поля развития карстовых форм локального уровня</p>	<p>Используются понятия регионального подземного стока, водоносные комплексы</p>	<p>Геологическое тело оценивается по комплексу условий, контролирующих карстовый процесс: климатических, геологических, гидрогеологических, структурно-тектонических, фациальных. Используется комплекс мелкомасштабных дистанционных (космо- и аэро-), геологических, гидрогеологических, геофизических методов</p>
<p align="center">VII ГЛОБАЛЬНЫЙ более 10^{10}</p>	<p align="center">более 10^5</p>	<p>Зоны глубинных разломов. Территории распространения карстующихся пород в пределах тектонических структур I и II порядков</p>		<p>Используются понятия северной и южной земных полусфер, климатической и высотной зональности, платформенные, переходные и геосинклинальные обстановки, карстосфера. Создание концептуальной модели карста</p>

1.3.4. Модель деформационно-напряженного состояния карстосферы

Наиболее представительные табличные выборки, измеренных «in-situ», напряжений, различных районов бывшего СССР, США, Канады, Австралии, Исландии, Скандинавии, Африки, приведены в работах Е. Линднера и Дж. Халперна (Lindner & Halpern, 1978), Е. Брауна и Е. Хока (Brown & Hoek, 1978).

Проанализировав данные напряжений, измеренных «in-situ» и опубликованные вышеупомянутыми учеными, основываясь на результатах исследований напряженного состояния земной коры М.В. Гзовского (1972), Г.А. Маркова (1980), результатах бурения и исследования в России сверхглубоких скважин автор резюмирует, что распределение горизонтальных избыточных напряжений глубоких горизонтов земной коры достаточно сложно, но вполне закономерно: избыточные горизонтальные напряжения, превышающие вертикальные на величины 50МПа и более, распределены по глубине пульсационно.

Автором приведена теоретическая модель напряженно-деформационного состояния гидрогеосферы (графическая интерпретация модели представлена на рис. 1), где наряду с характеристиками выделенных зон проводится их сопоставление с «этажами карстосферы», представленными в табл. 2.

В соответствии с современными представлениями о гидродинамической зональности карстосферы зона экзо-тектогенного разуплотнения согласуется с экзокарстовым этажом - зоной гидростатических давлений.

Нижний интервал от 3600м назван зоной текто-гидрогенного разуплотнения. Зона характеризуется мощными интервалами растяжения в виде серии горизонтов рассланцованных пород и ассоциируется с эндокарстовым этажом карстосферы.

1.4. Типы карстогенетических обстановок

1.4.1. Структурно-тектонические и литологические характеристики обстановок интенсивного и глубинного карстообразования

Деформации растяжения, возникающие при разгрузке напряжений приповерхностных толщ, способствуют образованию и раскрытию разномасштабных трещин, увеличению проницаемости массивов и, как следствие, активизации экзогенных процессов, стремящихся к нивелировке поднятий. Карст в районах распространения растворимых пород, среди этих процессов, занимает ведущую позицию.

Элементы ослабления массивов горных пород (зоны с высокой плотностью системных трещин, зоны дробления, разломы и др.) более динамичны в тектоническом и, как следствие, в гидрогеологическом и гидрохимическом отношении о чем свидетельствуют результаты исследований Н.Д. Буданова (1964, 1970) на Урале, Г.К. Михайлова и др. (1968) на Уфимском плато, Б.Р. Токмачева и др. (1965) в пределах локальных структур вала Карпинского, В.Д. Скарятин (1987) в Терско-Сунженской зоне Северного Кавказа и многих других специалистов в области гидрогеологии.

Локальная или зонально-локальная трещинная проницаемость характерна не только для зоны активного водообмена, но и для более глубоких горизонтов (глубже 4000м), о чем свидетельствуют результаты исследований В.Д. Скарятин (1987) в Терско-Сунженской зоне Северного Кавказа, В.Д. Викторина (1988) в Урало-Поволжье, К.И. Багринцевой и Г.Е. Белозеровой (1987) в Прикаспии и др.

Резюмируя результаты исследований автор отмечает, что развитие карстовых форм на относительно больших глубинах возможно при реализации определенных условий, создаваемых тектоническим режимом.

Автор считает, что типы сочетания карстогенетических обстановок локального уровня на фоне региональной геотектонической обстановки являются основой, фундаментом для модельных построений.

Принципиальные обстановки развития карста - одна из граней теоретической модели, важная составляющая понятия «карстосфера». Оставляя за рамками работы рассмотрение нетрадиционных литологических типов карста и взяв за основу принцип характеристики обстановок образования, распространения и условий залегания карстующихся горных пород и обстановок развития карста, предложенных Г.А. Максимовичем (1961), автор приводит краткий обзор обстановок образования и развития карста в карбонатных, сульфатных и соляных породах с акцентом на их литологические и структурно-тектонические характеристики.

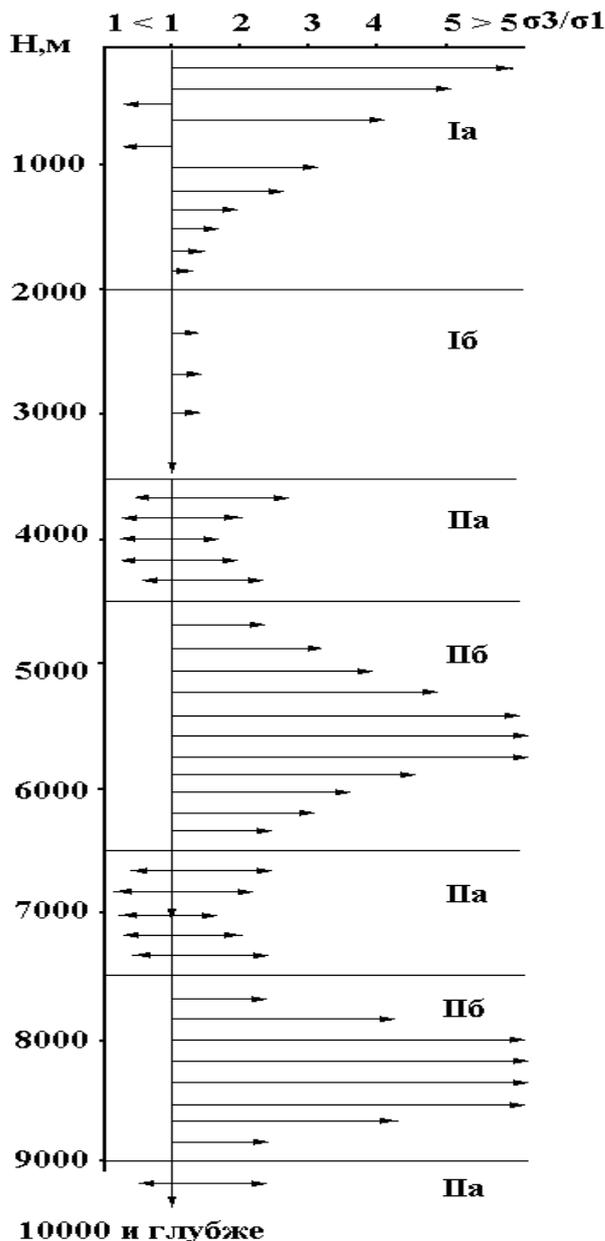


Рис.1. Модель напряженно-деформационного состояния гидрогеосферы

1.4.2. Типизация обстановок карстообразования (на примере территории Пермского Приуралья)

В разделе приведен пример типизации обстановок карстообразования с использованием принципа сочетания наиболее общих структурно-тектонических, литолого-фациальных, гидрогеологических и гидрохимических характеристик.

В Пермском Приуралье ассоциации геологических процессов и их распределение контролируется литологическими комплексами, пространственно соответствующими элементам глобальной тектонической структуры региона (восточная окраина Восточно-Европейской платформы, Предуральский краевой прогиб, складчатая зона Урала). Сочетание литологических комплексов и тектонических структур определяет меридиональную зональность карстологических обстановок.

I. Зона экзо-тектогенного разуплотнения: последовательно-пульсационное нарастание значений вертикальных напряжений и деформаций сжатия, поинтервальное изменение направлений горизонтального стресса. Подзоны Ia, Ib:

Ia экзогенного разуплотнения - преобладание горизонтальных избыточных напряжений. Высокая проницаемость по трещинам всех генетических типов, модифицированных экзогенными процессами. Повышенная, относительно фона, проницаемость пород в зонах тектонических нарушений.

Ib тектогенного разуплотнения - преобладание вертикальных напряжений и деформаций сжатия. Относительно высокая (в 10 раз выше фоновой) локальная проницаемость пород определена гидродинамическим влиянием зон тектонических дизъюнктивов глубокого заложения

II. Зона текто-гидрогенного разуплотнения: сменяющиеся по вертикали глубинные интервалы деформационных режимов «сжатия-растяжения» и «растяжения», преобладание горизонтально ориентированного стресса. Подзоны Pa и Pb:

Pa локального разуплотнения - деформации «сжатия-растяжения», обуславливающие максимальное уплотнение пород и участки локального разуплотнения за счет релаксаций СГСД - маломощные (до 20м) водообильные интервалы рассланцованных пород. Породы подзоны выполняют роль гидродинамических буферов. Высокие неравномерные и скачкообразные пластовые давления. Мощность подзон данного типа до 1000м.

Pb регионального разуплотнения - мощные зоны растяжения формируют комплексы обводненных горизонтов рассланцованных пород - погоризонтные концентрации флюидоразрывов, мощностью от 30 до 200м. Проницаемость пород по интенсивности сравнима с проницаемостью подзоны Ia. К верхней и нижней частям подзоны мощности обводненных горизонтов рассланцованных пород уменьшаются. Мощность подзон данного типа свыше 1000м.

Автор отмечает, что принимая во внимание особенности развития карста в данном регионе, выделение основных типов карстогенетических обстановок весьма сложно и вследствие этого универсальный вариант типизации труднодостижим. Тем не менее, предложено 8 типов обстановок: 4 – для платформы и прилегающих участков прогиба; 2 – для прогиба; 2 – для горно-складчатой области.

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ОСНОВЫ СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНОГО И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЗАКАРСТОВАННЫХ ПОРОД

2.1. Вещественный состав, структурно-текстурные ассоциации и закарстованность пород

2.1.1. Состав пород, их физико-механические свойства и закарстованность

Вещественный состав растворимых пород в первую очередь влияет на характер их взаимодействия с водными растворами, определяя не только интенсивность химического взаимодействия, но и оказывая влияние на такие свойства как упругость, сопротивление одноосному сжатию, разрыву и сдвигу.

В разделе приведён анализ результатов исследований зависимостей растворимости известняков от их состава и содержания некарбонатных примесей (Якуч, 1979), от степени их окремнения, глинистости, содержания кварцевого песка (Кокаровцев, 1971; Bogli, 1980). Автор отмечает, что многочисленные схемы влияния минералогического и литологического пород на степень карстообразования отражают только общую тенденцию. При применении схем их цифровые параметры требуют корректировки в каждом конкретном случае.

Приведены краткие сведения (Сергеев, 1978; Печеркин А., Катаев, 1982) об изменениях физико-механических свойств карбонатов и сульфатов в зависимости от их состояния (монолитность, наличие микротрещиноватости, степень водонасыщенности).

На основе принципов структурно-фациального анализа (тектонической литологии) показана связь химического состава карбонатов с их мощностью и положением в пределах локальных тектонических структур Татарии, Азербайджана, Северного Кавказа, Западной и Восточной Сибири, даны примеры изменения плотности карбонатных пород в зависимости от их приуроченности к элементам складок. На примере локальных структур Пермского Прикамья показаны закономерности структурного контроля для вторичных эпи- и катагенетических преобразований осадочных пород.

2.1.2. Структурно-текстурные особенности пород и закарстованность

Физико-механические и структурно-текстурные показатели пласта горных пород определяют закономерности пространственного распределения трещиноватости и закарстованности на региональном, локальном или детальном уровнях.

В разделе приведены примеры, отражающие закономерности формирования открытой вертикальной или субгоризонтальной трещиноватости в зависимости от плотности и пористости пластов в пределах карбонатных отложений Оренбургского массива, Прикаспийской синеклизы, Урало-Поволжья, Припятского прогиба. На основе анализа приведенных закономерностей автор подчеркивает, что учитывая неоднозначность прямой взаимосвязи «пористость-трещиноватость» более целесообразным для анализа открытой трещиноватости пласта, выполняющей карстогенетические функции, является привлечение не только сведений о минеральном и структурно-текстурном строении пород, но и сведений о направленности и интенсивности внешних воздействий - приуроченности пород к определенной структурно-тектонической дислокационной форме.

Вместе с тем, связь «трещиноватость-пористость» прослеживается в карстующихся породах тесно и при детальном исследовании может быть использована в качестве оценочного критерия. Эта связь прослежена до глубин 5,5 км, где присутствуют сложные типы коллекторов, в которых кавернозность унаследовано развита по первичным порам, а вторичная пористость генетически связана с трещиноватостью.

В разделе приводятся результаты анализа связи трещиноватости, пористости, кавернозности и закарстованности, проведенного автором в визейских карбонатах Главной Кизеловской антиклинали (Западный Урал), силурийских и нижнекаменноугольных известняках Верхневишерского карстового района (Северный Урал). Автор

отмечает, что значения пористости изменяются в зависимости от близости трещин или карстовых форм к точке отбора образца, а также от состояния породы. В монолитных межтрещинных блоках пористость относительно минимальна. Пористость пород увеличивается около трещин напластования и уменьшается (относительно средних значений) около тектонических вертикальных трещин, приближаясь по значениям к пористости образцов из центральных частей межтрещинных блоков. В зонах дробления и в стенках карстовых форм пористость максимальна. Наиболее высокие значения пористости наблюдаются в непосредственной близости от карстовых форм, находящихся на начальных стадиях развития.

2.2. Соотношение минералогического состава, структурно-текстурных неоднородностей микроуровня, макротрещин и карстовых форм

2.2.1. Минералогический состав пород, трещины и карстовые формы

Минералогическая и структурно-текстурная неоднородность пород массивов определяет характер избирательности и интенсивности выщелачивания, контролирует пространственное распределение форм растворения. Интенсивность и избирательность растворения определяется наличием генетических и диагенетических микронарушений в кристаллах породообразующих минералов. Именно состояние пород на микроуровне предопределяет их физико-механические свойства, способность к растворению. Наряду с этим наблюдается и влияние самих карстовых форм на состояние вмещающих пород.

Влияние карстовых форм на состояние вмещающих пород проявляется резко на всех уровнях от микро- до макро- и может быть использовано в качестве критерия локализации форм растворения, участков и зон трещинной раздробленности, осложненных формами выщелачивания.

Для определения состава и состояния пород на микроуровне эффективными являются методы рентгеноструктурного анализа.

Физический смысл показателей рентгеноструктурного анализа, их применимость к оценке состояния породообразующих минералов и использование результатов анализа в практике карстоведения показаны автором на примере изучения пород сульфатных и карбонатных карстовых массивов Предуралья и Западного Урала. Так, в гипс-ангидритовых массивах Предуралья интенсивность микронарушений гипса в непосредственной близости от закарстованных трещин, полостей возрастает в 1.5 раза по сравнению с монолитными участками массива. Аналогичная картина наблюдается и в карбонатных массивах, где интенсивность микронарушений, например, в кальците, в околопещерном пространстве увеличивается в 1.5-2 раза по сравнению с кальцитом, слагающим блоки пород не содержащих форм выщелачивания.

Исследования карстующихся пород на микроуровне, идентификация химико-минералогического и структурно-текстурного состава точными методами в практике карстоведения дают возможность более строгого определения литологического типа карста, глубины процессов карстообразования, возможность оценки наличия карстовой полости по керну или образцам в определенном интервале опробования.

2.2.2. Особенности деформаций элементов микроструктур при тепловом и механическом воздействиях

Деформационные особенности микроструктур карстующихся пород, возникающие под влиянием внешних воздействий, изучались методами экспериментальной физики. Метод относительного дилатометра и метод оптического компаратора позволили установить деформационные поля образцов в меняющемся температурном режиме, а метод голографической интерферометрии позволил наблюдать деформационную картину в условиях внешнего механического воздействия (сжатия) на образец.

Для поликристаллических тел с хаотичным расположением кристаллов, тепловое расширение, как правило, изотропно. Положение коренным образом меняется, если отдельные кристаллы каким-либо образом упорядочены или появляются однонаправленные структурные образования. Для геологических тел, коими являются горные породы, упорядочение минеральных зерен возникает как в процессе формирования породы, так и в процессе ее диагенетических преобразований, например перекристаллизации в условиях четко выраженного тектонического стресса, а наличие одно-

направленных, систематизированных структурных образований, например микро-трещин, является неотъемлемой особенностью любой горной породы.

Совместный анализ особенностей деформационных полей и распределения структурных элементов, обусловивших определенную конфигурацию поля, позволил автору сделать ряд выводов, подчеркивающих значение того или иного типа структурных элементов в поведении образца породы в условиях внешнего температурного воздействия.

* Наиболее активны в формировании деформаций растяжения плоскостные структурные элементы.

* Объемные элементы (мономинеральные агрегаты) в условиях теплового воздействия часто испытывают относительное сжатие.

* Максимальное влияние на формирование деформаций растяжения оказывают трещины молодых генераций, не выполненные кристаллами вторичных минералов. Подобные микротрещины (как правило, скалывания) характерны для образцов, отобранных из бортов тектонических макронарушений или в непосредственной близости от последних.

* Трещины, выполненные кристаллами вторичных минералов, практически не оказывают влияния на конфигурацию деформационного поля и часто не различимы на фоне мономинеральных агрегатов.

* Границы между агрегатами с различной крупностью зерен или кристаллитов проявляются на деформационном фоне слабо и преимущественно в диапазоне малых температур (до 50°C). При более высоких температурах границы затушевываются, уступая место локальным проявлениям деформаций от трещин.

Характер возникающих в образце деформаций в условиях механического нагружения (сжатия) установлен с помощью голографической интерференционной дефектоскопии. Голографическая интерференционная дефектоскопия подтвердила выводы, изложенные выше. Результаты исследований показали, что в поле механического воздействия (как и в тепловом поле) деформации концентрируются вдоль трещин. Деформационная активность трещин при механическом воздействии зависит от ориентировки стресса. Максимальное проявление трещины возникает в том случае, когда направление механического воздействия совпадает с ее плоскостью.

2.2.3. Структурно-текстурные особенности пород на микроуровне, их анализ

Во вводной части раздела автором приведены результаты исследований деформационных особенностей карбонатов, проведенных в США с помощью электронной микроскопии по специальным программам 1950-1960гг. и 1971-1979гг. (Барбер, Венк, 1979).

Результаты исследований позволили автору сделать следующие выводы:

* характер строения минералов и пород на микроуровне отражают деформационные и температурные условия их преобразования;

* очевиден факт зависимости реликтовых и регенерированных микро- и субмикроструктур от деформационных структур макроуровня.

В рамках рассматриваемых в данной работе вопросов карстогенетической сути структур растворимых пород, приведенные выводы важны как в теоретическом, так и практическом аспектах. Теоретически исследователь получает право предположить, что элементы микроструктур, в том числе и микроструктуры растворения, имеют в массиве анизотропное распределение. Особенности микроструктур и анизотропия их распределения обусловлена элементами макроструктур (например, макротрещинами), их генетическими особенностями. В практическом отношении интересны сами формы микрорастворения и микроразрушения пород, их морфология и морфометрия, а приуроченность тех или иных форм к различным генетическим типам трещин дает дополнительные сведения о природе избирательности карстового процесса на его начальных стадиях развития, помогает восстановить начальный механизм расширения трещин или их химической кольматации.

В качестве иллюстрации к теоретическим и практическим предпосылкам в разделе приведены результаты интерпретации исследований с помощью СЭМ кристаллических и оолитовых известняков, проведенных автором в лаборатории электронной микроскопии Школы географии Оксфордского университета.

2.3. Распределение трещин в пласте осадочных горных пород. Элементы анализа трещинной структуры

2.3.1. Трещиноватость приповерхностных зон карстовых массивов

Особенности строения приповерхностных зон карстовых, преимущественно карбонатных массивов, проанализированы автором по работам P. Williams (1983, 1985), S. Trudgill (1985), D. Ford, P. Williams (1989), А.Б. Климчука и др. (1981), А.Б. Климчука (1989).

Автор отмечает, что важнейшими функциями эпикарстовой зоны являются регулирование стока путем накопления запасов вод и их постепенного срабатывания в массив, и субгоризонтальное перераспределение стока и его локализация вдоль зон с высокой проницаемостью (эффект «бутылочного горлышка» по P. Williams).

Глубинные интервалы изменения режима и направления движения подземных вод наиболее благоприятны для развития в них форм растворения. Гидродинамический барьер, образуемый между подзоной интенсивного выветривания и блоковой подзоной определяет локализацию карстового морфогенеза.

В целях практики освоения закарстованных территорий возникает необходимость количественной оценки трещиноватости, в том числе и трещиноватости приповерхностной зоны массивов. В любом случае изучение и документация трещиноватости карстовых массивов является сложным и трудоемким процессом, в особенности в горных районах, где из-за контрастного рельефа или недостаточной обнаженности трудно, а иногда и невозможно дать количественную характеристику трещиноватости и блочности массива.

Автор отмечает, что для определения степени трещиноватости поверхностей карстующихся массивов целесообразнее всего использовать два показателя: 1) объемную суммарную площадь поверхностей трещин или объемную плотность трещиноватости - отношение суммы площадей поверхностей трещин в элементарном объеме породы и 2) объемную суммарную плотность трещин или трещинную пустотность - отношение суммарного объема трещин к единице объема массива горных пород.

Данные коэффициенты позволяют учитывать степень относительной раздробленности отдельных участков и суммарную площадь поверхности пород на этих участках, что в карстологическом отношении важно при расчете скоростей денудации, зависящих от удельных поверхностей пород, взаимодействующих с водой. По своему содержанию коэффициенты идентичны, что позволяет, зная один из них, легко рассчитать другой.

Выявление структурных закономерностей приповерхностной части массива и их связи с карстовыми явлениями - сложный процесс, трудоемкий и не всегда эффективный. Тем не менее, такие закономерности и такие связи, хоть и в скрытой форме, но существуют в природе. Их установление намного облегчает решение теоретических и практических задач карстологического прогноза. Например, различной степени раздробленности приповерхностной части массива соответствуют определенные параметры поперечных размеров карстовых форм. На рис. 2 А-Б показана графическая зависимость размеров площадей межтрещинных блоков пород (отдельностей) и размеров площадей карстовых провалов.

Помимо частных числовых параметров представленные графические зависимости содержат и наиболее общие закономерности, применимость которых при анализе эпикарстовых зон, допускается практически на любых участках с аналогичными карстопроявлениями. Подтверждением этому являются закономерности, представленные на рис. 2 В.

Общая же закономерность выражается тем, что размеры всех исследованных карстовых форм увеличиваются к участкам массива, характеризующимися значениями раздробленности в средних интервалах и уменьшаются на участках слабого и интенсивного дробления.

В связи с интенсивной нарушенностью эпикарстовой зоны, выявление структурных закономерностей и их обоснование необходимо проводить с учетом следующего принципа: *структурные элементы эпикарстовой зоны массива иерархичны, что означает их пространственную и морфологическую соподчиненность - форма и ориентировка сообщества элементов определенного ранга часто обусловлена структурным элементом, находящимся на более высокой ступени иерархии.*

В качестве иллюстрации к сформулированному принципу автор приводит результаты собственных исследований ориентировки и морфологии поверхностных карстовых форм - карров от элементов дизъюнктивной структуры в юго-западной части карстового массива Инглбороу (национальный парк Долины графства Йорк, северо-запад Англии).

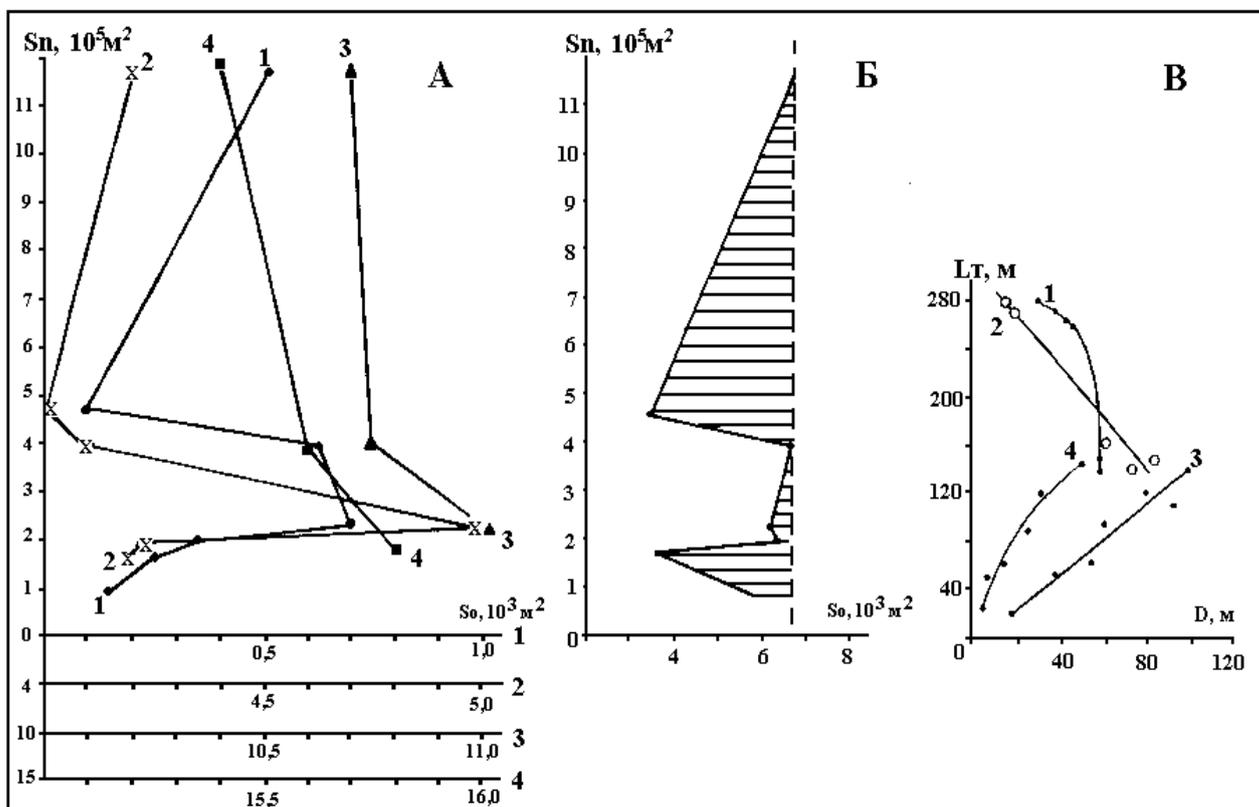


Рис. 2. Зависимость размеров карстовых провалов и полостей от раздробленности приповерхностной части массивов: А-Б в карбонатных массивах Паланкарес и Каньяда дель Ойо (Испания, Пиренеи): А - графики поинтервального соотношения площадей межтрещинных блоков-отдельностей горных пород (S_o) и площадей провалов (S_n), Б - диаграмма соотношения средних поинтервальных значений S_o и S_n . Штриховой линией показано положение среднего значения общего параметрического интервала площадей отдельностей. В - в сульфатно-карбонатном массиве Ледяная гора (Кунгур, Предуралье). Кривые изменения: 1- диаметров коррозионно-обвальных полостей, 2- диаметров карстовых провалов, 3- длины и ширины коррозионных полостей в зависимости от линейной плотности трещин L_t ($m/500m^2$)

2.3.2. Распределение трещин в горизонтально залегающих пластах

Первые исследования, посвященные данному вопросу, были проведены А.С. Новиковой (1947), А.А. Богдановым (1947), И.В. Кирилловой (1949), Г.А. Смирновым (1949). Результаты исследований, свидетельствуют о том, что литологический фактор определяет степень раздробленности пластов; отношение между толщиной пласта и расстоянием между трещинами в нем выражается линейной зависимостью.

Исходя из обобщений Ф. Ладейры и Н. Прайса (Ladeira & Price, 1981), по материалам исследований трещин (без указания на их генетический тип) в граувакках и известняках Португалии, Ирана, Великобритании, очевидны следующие выводы: 1) расстояния между трещинами в практически любых по литологии слоях имеет линейную зависимость от толщины данного слоя, если она не превышает 1.0-1.5м; 2) расстояния между трещинами приближаются к постоянной величине в однородных по литологии слоях, превышающих по мощности 1.5-2.0м (рис. 3); 3) существование двух типов линейных отношений расстояний между трещинами и толщиной слоев, в которых они развиты, определяются различными механизмами образования трещин.

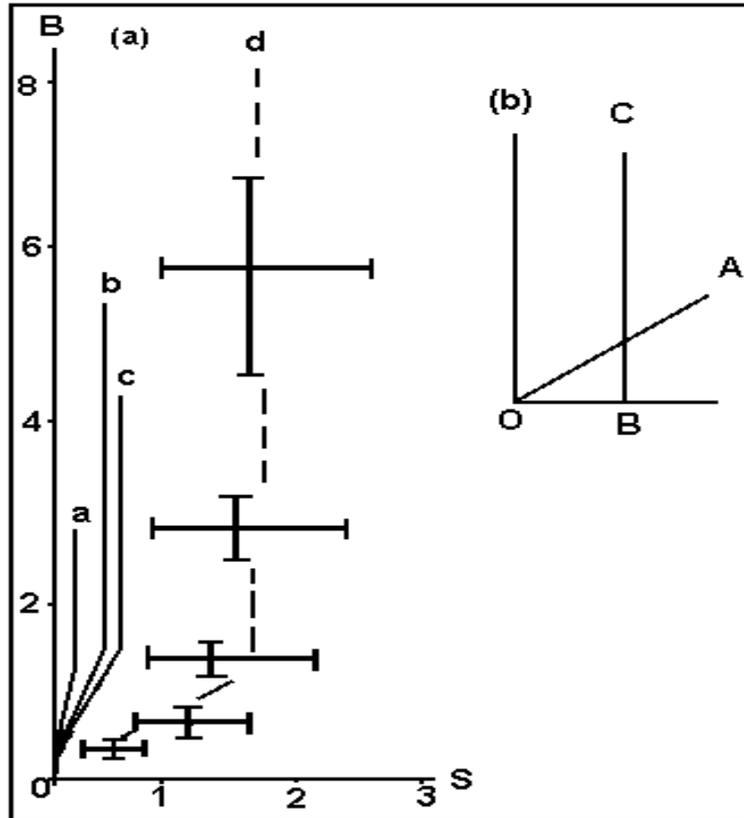


Рис. 3. (а) Сравнительные диаграммы соотношения расстояний между трещинами (S) и толщиной слоя (B) в метрах: а, b, с по данным, представленным на рис.1; d-для известняков по данным Mc Quillan (1973). (b) Обобщенная схема типов линейных соотношений S и B . Отрезки на диаграмме d-спектры вариаций S и B в пунктах фиксации трещин

Первый тип отношений (показан на диаграмме рис. 3 (b), линия OA) отражает линейную зависимость, установленную исследованиями, результаты которых опубликованы в работах упомянутых выше авторов.

Второй тип отношений определяется литологией и не зависит от толщины слоя (рис. 3 (b), линия BC).

Автор подчеркивает, что общие закономерности распределения внутрислойной трещиноватости (линейные отношения расстояний между трещинами и толщиной пласта), установленные в конце 40-х гг. и подтвержденные в 60-70-х гг. отечественными и зарубежными учеными, применимы для фоновой (планетарной) трещиноватости. В пределах складчатых структур (особенно локального уровня) распределение тектонических трещин в породах зонально и контролируется степенью их деформированности относительно элементов складки (крыльев, периклиналей, осевых зон и т.д.).

2.3.3. Распределение тектонических трещин в деформированном пласте горных пород

Основываясь на известном в математической статистике методе оценки спектральной плотности дисперсии первичного ряда наблюдений, а так же на методических принципах, во многом разработанных В.Ф. Мягковым (1984) для решения геологоразведочных задач методами математической статистики автором обработаны данные полевых замеров тектонических трещин на участках развития карбонатного карста «Ладейный суходол», «Верхняя Губаха» (береговой обрыв р.Косьва, Средний Урал) и Большая Велсовская пещера» (береговой обрыв р.Велс, Северный Урал).

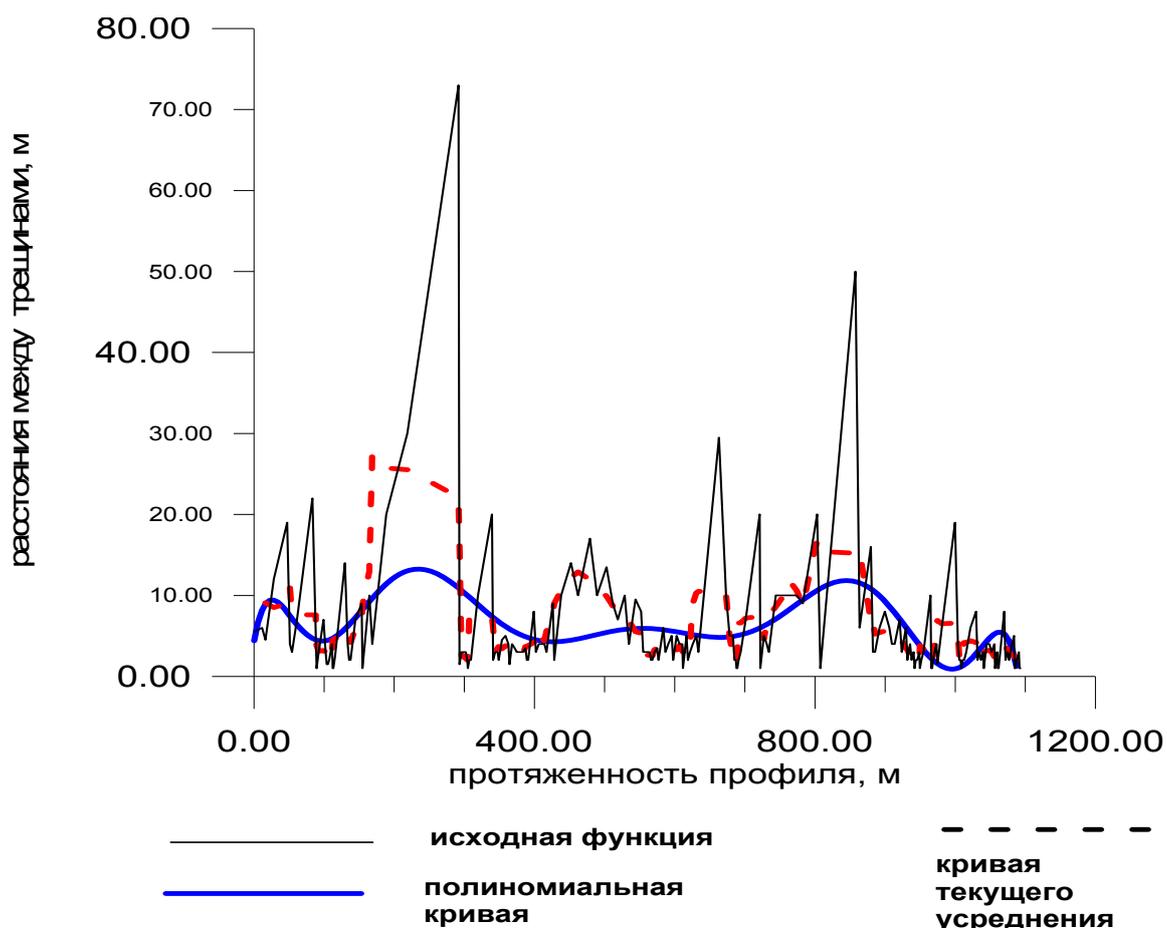


Рис. 4. Графики осреднения первичных данных по профилю на участке Большая Велсовская пещера

В качестве примера в разделе приведены результаты анализа распределения тектонических трещин и соответствующего распределения карстовых, карстово-эрозионных форм на участке «Большая Велсовская пещера» (рис. 4).

Наибольшее развитие формы карста получили в интервале фоновых значений плотностей трещин, в интервале колебаний распределения исходной функции с периодом 0.8-1.7м, что соответствует участкам с зафиксированными расстояниями между трещинами 4-7м - средними значениями спектра распределения.

2.3.4. Трещины бортового отпора и закарстованность

Наряду с трещинами тектонического генезиса гидрогеологические и карстологические особенности участков массивов могут быть обусловлены так называемыми трещинами разгрузки. Чаще всего карстовые формы приурочены к модификациям трещин разгрузки, известным, как трещины бортового отпора.

Сочетание трещин бортового отпора и карстовых форм характерно для многих карстовых районов. Их описание можно встретить в работах Д.Н. Сабурова (1974) и О.В. Бузунова (1974), посвященных Пинего-Северодвинской карстовой области, В.С. Лукина (1966) и К.А. Горбуновой (1979) по карстовым районам Предуралья, в обзорных работах А.В. Ступишина (1967) и Д.С. Соколова (1962).

При карстологическом анализе участков массивов, где развиты трещины бортового отпора, необходимо принимать в расчет то, что данные дизъюнктивные образования играют роль не только зон снятия избыточных напряжений, но и функции локализации подземных вод и, как следствие, карстовых полостей. Определение карстологической и гидрогеологической роли той или иной трещины бортового отпора, ее влияния на безопасное освоение территории может быть проведено только комплексом полевых и лабораторных методов. В каждом случае исследовательский комплекс методов определяется конкретными условиями проведения карстологического анализа.

В качестве примера в разделе приведены результаты изучения участка закарстованного карбонатного массива, расположенного в приосевой части Уфимского вала (Предуралья) и характеризующегося комплексным влиянием тектонических трещин и трещин бортового отпора, получивших развитие в левом борту каньонообразной долины р.Сылвы.

Глава 3. СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАРСТОВЫХ МАССИВОВ

3.1. Анализ соотношения полей напряжений, тектонической трещиноватости и закарстованности в породах складчатых структур

3.1.1. Карст и складчатые дислокации – особенности латеральной зональности

Распределение карстовых форм специфично вследствие разницы в физико-механических свойствах пород, включая и растворимость, неоднозначной гидрогеологической ситуации от складки к складке и т.д. Тем не менее, полевыми исследованиями выявлены общие закономерности пространственного соотношения на складках трещинных зон и зон закарстованности, которые могут быть использованы в качестве всеобщих критериев при оценке закарстованных территорий.

В разделе дано описание общих пространственных закономерностей распределения зон, наиболее полно отвечающих условиям развития карста (карстовых зон). Схема составлена по материалам полевых исследований трещиноватости и закарстованности в пределах складчатых дислокаций Западного Урала и Предуралья, Кавказа, Приднестровской Подолии, Беломоро-Кулойского плато, анализа опубликованных материалов и результатов математического моделирования напряжений, возникающих в породах складок на начальном этапе их формирования. Схема отражает наиболее общие рисунки распределения карстовых зон и может быть использована для получения общего представления о соотношении структурного плана, закарстованности и трещиноватости.

Практика изучения трещиноватости и закарстованности массивов в пределах пликативных дислокаций позволяет автору утверждать, что: 1) *карстовые явления в растворимых породах, слагающих антиклинальные структуры, распределены неравномерно, но и не хаотично. Распределение полостей определяется местоположением зон повышенной густоты 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.*

3.1.2. Аспекты анализа соотношения структурного плана территории, трещиноватости и закарстованности

Для получения схемы распределения плотности трещин по исследуемой территории используются результаты их полевого изучения и картирования. Как показывает практика, карстологическую значимость имеют результаты исследования тектонических трещин, наиболее выдержанных по простиранию и падению, наиболее системных, часто раскрытых и гидрогеологически активных.

Для характеристики раздробленности массива тектоническими трещинами предлагается использовать два показателя: количество пересечений трещин (Кт) и

суммарную длину трещин или линейную плотность трещин (L_t) на единицу площади поверхности карстующегося пласта - площадь одного квадрата сетки.

Показатель K_t рекомендуется использовать при прогнозе местоположения отдельных полостей, при изысканиях на ограниченных площадях, а также для прогноза мест интенсивного водопоглощения или областей питания на картах обзорного типа. Показатель L_t наиболее эффективен при выявлении распределения закарстованных зон.

В разделе положения и возможности анализа проиллюстрированы результатами исследований трещиноватости и закарстованности, проведенных автором в районах различного структурно-тектонического строения, а именно в междуречье Днестра, Ничлавы и Серета – район развития пещер Озерная, Оптимистическая (Приднестровская Подолия); на юго-востоке Беломоро-Кулойского плато; в пределах Журавлинской антиклинали (Западно-Уральская зона складчатости); в пределах антиклинали Алек (складчатая система южного склона Большого Кавказа).

3.1.3. Напряжения и трещиноватость в породах складок поперечного изгиба

Для расчета составляющих поля напряжений, возникающих в пласте горных пород при формировании структур поперечного изгиба, автором использовано решение пространственной задачи по расчету напряжений при изгибе тонких пластин, закрепленных по контуру. Получаемые значения напряжений позволили построить схемы их распределения по площади массива в виде изолиний. Сравнение схем распределения напряжений и трещиноватости, в свою очередь, позволило подойти к установлению пространственной взаимосвязи величин напряжений и степени раздробленности пород моделируемого пласта.

В разделе приведены расчетные схемы напряжений, возникающих при формировании складок поперечного изгиба и продольного сжатия, дан алгоритм расчета полей нормальных и касательных напряжений в пластах горных пород, слагающих структуры поперечного изгиба. Приведены примеры моделирования полей напряжений и их интерпретации (выявление закономерностей соотношения полей напряжений, трещиноватости и закарстованности) применительно к пласту гипс-ангидритов Полазненской локальной структуры (Предуралье); пласту доломитизированных известняков брахиструктуры в верховьях р. Паланкасо (Пиренеи, Испания); пласту гипс-ангидритов брахиструктуры в бассейне р. Сотки (юго-восток Беломоро-Кулойского плато).

Основываясь на результатах моделирования, полевого изучения трещиноватости и закарстованности автором выделено три этапа принципиального развития тектонической трещиноватости в пределах глыбовых складок, дана их характеристика.

3.1.4. Напряжения и трещиноватость в породах складок продольного сжатия

Основываясь на положениях тектоники и тектонофизики о механизме формирования структур полной складчатости, а также на результатах собственных полевых исследований трещиноватости в породах линейных складок Западно-Уральской зоны складчатости и Западного Кавказа, автор выделяет два условных этапа развития данного типа структур (действие тангенциального сжатия и действие вертикального воздымания).

Моделирование напряжений, возникающих на этапах формирования складок, проведено автором с помощью типового решения задачи по расчету напряжений в шарнирно-опертой пластине, сжатой в одном направлении. В разделе приведен алгоритм расчета полей напряжений, а результаты моделирования проиллюстрированы на примере сопоставления полей напряжений, трещиноватости и закарстованности в известняках антиклиналей Ахштырь и Воронцовская (Западный Кавказ).

Моделирование общего поля напряжений в пластах, слагающих складки продольного сжатия, применительно к выделенным этапам деформаций изгиба показало, что пространственное соотношение напряжений, трещиноватости и карста в ее принципиальном виде типично для структур подобного механизма образования. Тем не менее, сохранившееся принципиальное соответствие значений напряжений и показателей трещиноватости не означает полной тождественности моделируемых полей напряжений и выявленного распределения трещин на разных складках. В каждом конкретном случае, от складки к складке, соотношение напряжений, трещин и карста специфично и не может быть механически перенесено с одного объекта на другой,

даже находящийся в сходных структурно-тектонических, геологических и гидрогеологических условиях.

3.2. Структурно-кинематический анализ карстовых массивов

3.2.1. Общие положения анализа

Структурно-тектоническая история развития районов может быть разделена на периоды «сжатия» (фазы инверсии) и периоды «растяжения» (фазы формирования бассейна). Первым соответствует воздымание территории, часто сопровождающееся складкообразованием и, как правило, в итоге континентальным режимом осадконакопления. Вторым – опускание территории и накопление, в основном, морских отложений. Между периодами регионального тектонического сжатия и растяжения выделяются периоды, характеризующиеся флуктуацией интенсивности и направлений тектонического стресса. Эти динамичные в тектоническом отношении периоды названы автором периодами «дестабилизации» или в зависимости от времени их проявления «прединверсионными» или «постинверсионными фазами».

Во время *прединверсионных фаз* тектонические блоки испытывают динамичные стрессовые воздействия со стороны региональных разломов, ограничивающих их. Относительно короткие по времени и динамичные стадии «нагрузки» и «разгрузки» выводят блок из состояния статического равновесия. Последовательное увеличение продолжительности стадий «нагрузки» обеспечивает накопление в блоке напряжений, определяющих в дальнейшем возникновение и рост трещин.

Инверсионные фазы характеризуются постоянным подъемом тектонических блоков. Во время этих фаз тектонические блоки испытывают региональное сжатие и одновременно локальное растяжение.

В инверсионные фазы трещины получают системное распределение, отражающее преобладающее направление тектонического стресса. Часть из них в силу своего структурного положения становятся гидрогеологически активными и видоизменяются водными потоками, другие заполняются обломочным материалом в результате процессов выветривания и гравитационного обрушения стенок.

Постинверсионные фазы принципиально отличаются от прединверсионных тем, что в период их господства происходит последовательное увеличение продолжительности стадий динамичной «разгрузки», в результате чего трещины периодически открываются и заполняются обломочным или хемогенным материалом.

Фазы формирования бассейна характеризуются постепенным растяжением, опусканием тектонических блоков и перекрытием их осадками. Растяжение усложняет рисунок трещин, увеличивает геометрические параметры существовавших трещин. В определенный геологический момент растяжение стабилизируется, достигнув кульминации, предшествующей прединверсионной фазе.

Цикл замыкается и повторяется, но с иной интенсивностью тектонических движений, а иногда и иной ориентировкой вектора стресса.

3.2.2. Анализ трещинно-карстовой структуры карбонатных массивов (на примере юго-восточной части поднятия Мендип, Англия)

В разделе рассмотрены возможности структурно-кинематического анализа на примере одного из районов классического развития карста северной Англии.

Район является пунктом сочленения крупных тектонических структур с севера – Бристольской угленосной территории, с запада и юго-запада суббассейна Восточно-Бристольского канала, с востока и юго-востока суббассейна Велд. В карстологическом отношении Мендип Хиллс, благодаря постоянным упоминаниям в литературе, давно стал классическим районом сочетания сложного тектонического строения, палеокарста и современных карстовых форм.

В разделе представлены результаты детального анализа динамичного развития трещинной структуры массива, характеризующейся трещинами различных генераций, различным заполнителем и различной ориентировкой в зависимости от ее принадлежности к какой-либо из тектонических фаз. Помимо анализа трещинной структуры, определены временные этапы возникновения и развития тех или иных карстовых форм.

Автор отмечает, что карстовые формы располагаются не в центральных частях трещинных зон (зон расширения), а на границах с относительно монолитными блока-

ми, на участках характеризующихся средними значениями показателей трещиноватости. Карстовые формы образуются и развиваются на участках, характеризующихся барьерной ситуацией проницаемости на границах «монокристаллический блок-раздробленный блок». В процессе развития степень модификации формы зависит от ее местоположения относительно активных элементов массива (в данном случае зон расширения) и от расстояния до кровли карстующегося пласта.

Все встреченные карстовые формы в массиве по их принадлежности к дизъюнктивным элементам массива разделены автором на три группы: *межпластовых фреатических полостей, приразломных полостей, регенерированных полостей*. Даны морфологические характеристики формам каждой группы.

3.2.3. Анализ трещинно-карстовой структуры сульфатно-карбонатных массивов (на примере массива Ледяная гора, Предуралье)

Автор отмечает, что структурно-кинематический анализ дизъюнктивов применим не только для массивов, сложенных мощными, толстослоистыми карбонатными породами, но и для массивов, сложенных любыми литологическими разновидностями карстующихся пород, в том числе и их переслаиванием. В качестве примера в разделе рассмотрены структурно-тектонические условия формирования Кунгурской ледяной пещеры (Предуралье).

Анализ структурно-тектонического строения района расположения пещеры показывает фундаментальную роль дизъюнктивов в истории формирования этого спелеообъекта.

В разделе помимо характеристики пликативных, дизъюнктивных и карстовых элементов структуры массива выделены основные этапы их развития на фоне структурно-тектонической эволюции массива.

Применение кинематического анализа карстовых массивов позволило автору сформулировать следующие выводы:

- современные типы трещинно-карстовых структур массивов - результат последовательного изменения тектонической ситуации в течение геологической эволюции конкретной территории;
- индикатором изменений направления и характера тектонического стресса являются направления разломов и тектонических трещин;
- условия формирования трещин могут быть определены исходя из литологических особенностей их заполнителя;
- трещины сгруппированы в системы, ориентировка которых свидетельствует о глобальных или региональных изменениях направлений векторов стресса;
- распределение трещин в массивах не является равномерным, а имеет зональный характер;
- рисунок зонального распределения трещин одной генерации соответствует определенной тектонической фазе - инверсии (сжатия) или формирования бассейна осадконакопления (растяжения);
- между основными региональными фазами выделяются промежуточные до- и послеинверсионные, подготавливающие массив к формированию трещин за счет его дестабилизации и накопления напряжений;
- промежуточные тектонические фазы не являются плавными, а характеризуются относительно кратковременными (пульсационными) этапами внутрифазного сжатия или растяжения, как правило, локального характера, не формирующими новых систем трещин, но моделирующими существующие за счет изменения морфометрических параметров систем и отдельных трещин. При этом возможны изменения заполнителя трещин (например, брекчирование, измельчение и др.);
- в массивах, разделенных на блоки тектоническими разломами, относительно опущенные блоки наиболее раздроблены. Зоны трещиноватости (зоны растяжения) очень часто являются индикаторами опущенных блоков;
- пространственно карстовые формы тяготеют к пограничным участкам между относительно раздробленными и монокристаллическими блоками или соответственно, между опущенными и приподнятыми блоками со смещением в сторону приподнятого;
- пространственная миграция зон трещиноватости, изменение (увеличение) их геометрических параметров от одной активной фазы тектонической эволюции массива

ва к другой накладывает модифицирующий отпечаток на карстовые формы, образованные в массиве во время предыдущих тектонических фаз.

Глава 4. КАРСТОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

4.1. Проблемы картирования, районирования и типизации закарстованных территорий

4.1.1. Современное состояние проблем картирования, районирования и типизации закарстованных территорий

Рассматривая проблемы картирования, районирования и типизации закарстованных территорий в целях прогнозно-оценочных действий, автор отмечает отсутствие общепринятых научно обоснованных методических руководств и, как следствие, эмпиричность (субъективность) этих действий.

Наряду с рассмотрением достоинств, практической значимости и принципов создания известного в карстоведении картографического материала, автором выделены общие проблемы картирования, районирования и типизации закарстованных территорий, указаны общие недостатки мелко- и среднемасштабных карт.

Автор отмечает, что в традициях современных представлений о закономерностях развития карста, используемых критериев районирования и типизации, прогнозно-оценочные мероприятия относительно карстовых массивов должны содержать: 1. Анализ глобальной и региональной геолого-структурной обстановки. 2. Анализ локальных геолого-структурных, геоморфологических и гидрогеологических обстановок, подчиненных тенденциям регионального уровня. 3. Анализ пространственного распределения карстовых форм (генетический тип, морфология, морфометрия) с учетом обстановок карстообразования и типа техногенной нагрузки.

4.1.2. Степень карстоопасности и ее оценка

В разделе приведен анализ публикаций, посвященных оценке карстовой опасности от ранних работ 30-40-х гг. до современной справочной литературы. Приведены наиболее общие варианты оценки закарстованности и типы оценки устойчивости территории, предусматривающие различный уровень знаний о структуре исследуемых геологических объектов.

Резюмируя обзор, автор формулирует следующее:

1. В практике карстологических прогнозов устойчивости территорий отсутствуют оценки, изначально базирующиеся на особенностях структуры карстовых массивов. Отсутствие таких методов оценки определяется: во-первых, сложностью и неоднозначностью установления пространственного распределения структурных неоднородностей, благоприятных для развития карста, особенно на «закрытых» территориях и, во-вторых, доступностью и простотой регистрации форм поверхностного карста, анализа их морфологии и морфометрии.

2. Эффективность прогноза карстопроявлений на любом уровне (глобальном, региональном, локальном, детальном), при использовании любой разновидности оценочных методов резко повышается при условии использования критериев структурно-тектонической однородности массивов или их структурных элементов.

3. При предварительном прогнозе карстопроявлений и установлении структурно-тектонических условий и факторов развития карста (особенно на региональном уровне) используются общие закономерности, сформулированные еще в работах конца 50х-начала 60-х годов нашего столетия и вошедшие практически во все справочники и нормативные документы.

4.1.3. Общие положения оценочно-прогностических действий

Прогноз, являясь практическим завершением изучения условий и факторов протекания процесса, основывается на максимально достоверных сведениях о комплексе особенностей изучаемой территории. Прогнозирование карста, его катастрофических проявлений, основано на установлении генетических особенностей пород, слагающих карстующийся массив, определении поведения массива в целом и его отдельных частей (элементов) под влиянием внешних и внутренних физико-химических воздействий.

Понятие «карстологический прогноз» автор формулирует как *научно обоснованное предсказание условий и факторов состояния, последовательности и ме-*

ханизма развития карстового массива в целом или его отдельных элементов, включая карстовые формы.

Разработка карстологического прогноза требует от исследователя знаний законов пространственно-временной эволюции карстового массива, в том числе и под воздействием различных типов деятельности человека. Пространственно-временная эволюция подразумевает изменение всех элементов массива, включая карстовые формы. Именно изучение динамики карстового массива, динамики природно-техногенных систем должно быть взято за основу разработок теории карстологического прогноза.

В разделе приведены краткие характеристики классов карстологических прогнозов (устанавливающего, ретроспективного, перспективного). Рассматривая арсенал методов, используемых в практике карстологического прогноза, автор при характеристике методов объединяет их в четыре группы: эмпирико-теоретическую, модельно-теоретическую, вероятностно-статистическую и сравнительного прогнозирования.

4.2. Методические аспекты карстологического районирования и типизации

Карстологическое районирование не укладывается абсолютно в существующие схемы какого-либо из типов районирования но, тяготея к сравнительно-оценочному, оно вобрало черты генетико-морфологического, смешанного районирования и, по сути, представляет собой особый тип прогнозно-оценочных действий.

4.2.1. Границы таксонов

Объективной основой районирования закарстованных территорий на разных уровнях исследований (от обзорного до крупномасштабного), для различных целей является геоструктурно-геоморфологическая принадлежность выделяемых таксонов.

Автор отмечает, что при оконтуривании территорий высшего и среднего рангов, границы между таксонометрическими единицами далеко не однородны и, как правило, содержат комплекс таксонов низшего ранга, выделение границ которых в данных условиях крайне трудно и на сегодняшний день не разработано в силу сложной структуры (а равно гидродинамики и гидрохимии) зон контактов геологических тел. Вместе с тем, именно зоны контактов характеризуются интенсивным развитием экзогеодинамических процессов. По мнению автора один из альтернативных вариантов «площадного» карстологического районирования - выделение деструктивных разномасштабных «контактных зон» интенсивного развития карста - зон эндо- и экзоэнергетической разгрузки.

4.2.2. Типы сочетаний карстующихся и перекрывающих отложений

Сочетание комплексов отложений в геологическом разрезе определяет тип обстановок карстообразования или тип карста, в зависимости от литологии и сочетания отложений, перекрывающихся карстующиеся породы (табл. 4). Необходимо отметить, что тип обстановок, в которых проводятся изыскания, а также комплекс пород, в которых ведутся исследования будет определяться глубиной изучения разреза, которая в свою очередь определяется глубиной возможного влияния (динамического или статического) элементов техногенной нагрузки. В некоторых случаях обстановка определяется только одним из выделенных комплексов.

Приведенные в табл. 4 типы сочетания отложений сопоставимы с основными типами карста, предлагаемыми для практики инженерно-геологических изысканий (Дублянская, Дублянский, 1992): I тип - открытый, II тип - покрыто-перекрытый, III тип - перекрытый, IV тип - покрытый. Любой из выделенных типов в зависимости от специфики инженерного сооружения может быть оценен как «относительно опасный».

Таблица 4

Сочетание комплексов отложений закарстованных массивов

Комплексы отложений	Типы обстановок			
	I	II	III	IV
а) покровные	-	-	-	+
б) некарстующиеся	-	-	+	-
в) условно некарстующиеся	-	+	-	-
г) карстующиеся	+	+	+	+

4.2.3. Признаки карстологической оценки

Выбор тех или иных признаков определяется целью районирования. В случае оценки карстоопасности районирование обусловлено необходимостью установления пространственных закономерностей в распределении территориальных единиц, в пределах которых реально существует различная по степени вероятность возникновения деформаций поверхности массива в результате карстового и сопутствующих ему процессов (например, суффозии). В качестве признаков, позволяющих оценить активность и опасность, используют факторы процесса, определенное сочетание которых обуславливает степень активности и частоту проявлений процесса на единице площади или объема исследуемого массива.

Признаки качественной оценки карстоопасности в соответствии с логикой организации карстующихся массивов разделены автором на три класса: **А. ГЛОБАЛЬНЫЙ**, **Б. РЕГИОНАЛЬНЫЙ** и **В. ЛОКАЛЬНО-БЛОКОВЫЙ**. Классы признаков согласуются с принятыми рангами таксонометрического деления: высшим, средним, низшим. В пределах каждого класса выделены группы признаков по генетико-морфологической принадлежности, определяющей те или иные условия: геоструктурные, тектонического режима, литологические, гидродинамические, геоморфологические, антропогенные (техногенные). Признаки каждой группы обуславливают неоднозначную степень (потенциальную возможность) карстопроявлений: низкую (I), среднюю (II), высокую (III), очень высокую (IV). Выделение подгрупп признаков качественной идентификации степени карстоопасности или включение признаков в ту или иную подгруппу определяется на основе практики исследования конкретной территории.

В разделе приведена одна из схем качественной идентификации степени карстоопасности, созданная автором применительно к оценке карстоопасности северной части Уфимского плато в рамках ГНТП «Безопасность», где основу каждого класса составляют геоструктурные признаки.

4.2.4. Количественные показатели оценки закарстованных территорий

Количественные показатели закарстованности, используемые в инженерной геологии, несмотря на их недостаточную разработанность и унифицированность, дают возможность (при условии их комплексирования с показателями качественной оценки) репрезентативного планирования детальных исследований и рационального освоения закарстованных территорий, особенно на локально-блоковом уровне. Автором в табличном виде даны количественные показатели карста, используемые в современном карстоведении.

Наличие более 50 показателей карста (Костарев, 1979) не снижает субъективности количественной оценки, поскольку зачастую авторы не приводят терминологических определений показателей, вкладывают в одни и те же показатели разный смысл, а отсутствие общепринятых обозначений обуславливает дублирование одних и тех же параметров в разных редакциях. Не все показатели используются в одинаковой степени, но практически все используются при региональном, локальном и детальном районировании. Наиболее часто при региональных исследованиях используется 46% от приведенных в разделе показателей. Они имеют «значительное» и «широкое» применение. При этом используются показатели, получаемые по результатам и в результате 1) буровых работ, 2) гидрогеологических и гидрохимических исследований (большая часть показателей), 3) спелеоисследований.

4.3. Районирование и типизация территорий по степени карстоопасности

В интерпретации автора *карстоопасность это определенное сочетание природных или природно-техногенных условий и факторов развития карстовых и сопутствующих процессов, способное вызвать динамические явления в основаниях инженерных сооружений на поверхности или внутри карстового массива, в результате которых могут возникнуть аварии и катастрофы.*

4.3.1. Среднемасштабное районирование закарстованных территорий (на примере юга Пермской области)

В разделе предпринята попытка анализа пассивных компонентов: литологии закарстованных пород, характера и мощности покровных отложений, приуроченности районов к деструктивным зонам и др., сочетающихся с относительно активными, на-

пример, изменением региональных уровней подземных вод и активными - влиянием динамичных антропогенных нагрузок (транспорт, колебание уровней грунтовых вод, городская застройка и др.). При районировании использована схема качественной оценки карстоопасности, построенная на разработанных автором принципах, формулировка которых изложена в предыдущих разделах главы. Приведены фрагменты карт закарстованности и карстоопасности, выполненные автором в масштабе 1:200 000.

4.3.2. Крупномасштабная карстологическая оценка «закрытых» территорий (на примере территории Чаньвинского промузла, Западный Урал)

В практике карстологической оценки достаточно часто возникают ситуации, когда необходимо дать обоснование устойчивости ограниченной площади в пределах участка с плотным проявлением поверхностных и подземных карстовых форм. Подобные ситуации типичны в случаях дополнительного освоения действующих промышленных зон или участков городской застройки.

Среди индикаторов степени карстоопасности, как правило, имеется возможность выбора для сравнительного анализа 1) неоднородности литологического состава перекрывающих карстующиеся породы отложений, 2) их водопроницаемости и 3) неравномерности мощностей, 4) структурно-текстурной неоднородности (по латерали и разрезу) карстующихся пород, 5) элементов рельефа кровли карстующихся пород, 6) элементов наземного рельефа, 7) пространственного соответствия признаков или их совокупностей местоположению форм подземного и поверхностного карста. Практика показывает, что базовым признаком на «закрытых» участках в условиях невыраженности элементов наземного рельефа является рельеф «подземный» - рельеф кровли карстующихся пород, вернее его элементы: останцы (склоны и вершины), линейные и плоские депрессии, межостанцовые седловины.

В разделе, в качестве иллюстрации к тезису о закономерностях соотношения элементов подземного рельефа, полостей и воронок в перекрывающих отложениях рассмотрены результаты анализа условий развития карста и закономерностей распределения его форм на территории промышленной зоны Чаньвинского месторождения известняков (западное крыло Центральной Кизеловской антиклинали, Западноуральская зона складчатости).

4.3.3. Карстологическая оценка территории по степени трещиноватости (на примере территории полей пещер Воронцовская и Долгая, Западный Кавказ)

Карстологическая оценка территории может быть проведена и по одному из наиболее представительных признаков, имеющих какое-либо количественное выражение. Из разряда геоструктурных к таким относится трещиноватость, выраженная например, через *линейную плотность длин зафиксированных тектонических трещин на единице площади поверхности карстового массива*. Оценке предшествует фондовое и полевое уточнение геолого-структурных особенностей территории, полевое изучение трещин массива, сопровождающееся массовыми замерами их элементов залегания.

Единственным и неперемнным условием для проведения подобного районирования является хорошая обнаженность карстующихся пород или возможность изучения и картирования трещин в спелеоусловиях - пещерных ходах и гротах.

Результаты оценки используются в природоохранных целях, например, для уточнения геологических аспектов охраны спелеообъектов, как памятников природы, в целях перспективного и рационального природопользования, безопасного инженерного освоения карстовых массивов и др.

В качестве примера в разделе приведены результаты оценочного районирования территории полей пещер Воронцовской и Долгой, расположенной в пределах Воронцовской антиклинали (Западный Кавказ).

4.3.4. Общая оценка техногенного прессинга в карстовых регионах (на примере территории Пермского Приуралья)

Раздел предваряет анализ причин катастрофических карстопроявлений в различных регионах России. Анализ показал, что 70% катастрофических ситуаций связано с сульфатным карстом, 25-30% с карбонатным единичные, но наиболее масштабные по разрушениям с соляным. На территориях современных городов, промышленных комплексов и интенсивной сельскохозяйственной деятельности возник-

новение провальных явлений в результате естественных причин крайне редко и (по подсчетам автора) составляет 2-3%.

В любом случае распределение катастрофических карстопроявлений происходит соответственно геолого-структурным особенностям массивов, но интенсивность и скорость протекания процесса в каждом случае обусловлена типом и интенсивностью техногенных изменений природной среды.

Основной текст раздела посвящен общей характеристике закарстованных территории Пермского Приуралья с позиции их структурно-тектонического строения и хозяйственного освоения. Представлены выборки по аварийности на железных дорогах, проходящих через закарстованные территории и в шахтах Кизеловского угольного бассейна.

Типизация территории выполнена с использованием метода сопоставления одномасштабных карт и схем (геологических, лесохозяйственных, землепользования, коммуникационных и др.). В качестве основы оценочной схемы использование геолого-структурной карты территории.

Используя данные по основным общественным фондам существующего спектра промышленных предприятий и применив один из вариантов бальной оценки, опыт применения которой известен в карстоведении по работам В.В. Толмачева (1981); В.Н. Дублянского и др., (1990); В.Н. Дублянского и Г.Н. Дублянской (1992) и многих других, автор выделил типы территорий Пермской области с различной степенью хозяйственного освоения.

В разделе представлена схема типов природно-техногенных условий на закарстованных территориях Пермского региона, составленная автором в масштабе 1: 1 000 000 и сопровождаемая табличными приложениями.

Автор отмечает, что приведенные данные по антропогенной нагрузке, методика ее оценки и представленная схема не обладают абсолютной объективностью, но в сочетании с серией одномасштабных схем, отражающих различные факторы экологического состояния региона, позволили в рамках ГНТП №16 «Безопасность» (1994 г) отразить степень безопасности населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теория и практика карстоведения нуждается в переосмыслении концептуальных положений с позиций современных представлений о механизме, условиях и факторах развития карстового процесса, с неперемным учетом новых данных, получаемых различными направлениями карстоведения. Переосмысление концептуальных положений карстоведения призвано расширить и углубить существующие в данной науке понятия, привлечь внимание исследователей к совершенствованию методической базы науки, поиску новых нетрадиционных методов анализа.

2. В ряду теоретических аспектов карстоведения понятие «карстосфера» является базовым, поскольку оно в наиболее общем виде включает обстановки образования и развития всех генетических типов карста, а также в силу своей структуры определяет пространственно-временные закономерности и границы распределения карстовых явлений. Карстосфера - теоретический понятийный объем, заполнение которого означает процесс построения концептуальной модели карста - основы для решения теоретических и прикладных вопросов общего, регионального, инженерного карстоведения.

3. В карстоведении пока не сложилось общепризнанное мнение о структуре карстосферы, ее вертикальной гидродинамической зональности, глубинных интервалах выделяемых зон. Связано это 1) с относительно слабой изученностью глубоких (глубже 2500м) горизонтов земной коры по сравнению с ее приповерхностной частью, где концентрация многоаспектной деятельности человека имеет наибольшую степень; 2) существованием различных мнений о карстогенетической сути выделяемых гидродинамических зон.

Одним из важнейших проблемных вопросов карстоведения остается глубинность явлений растворения, процессов переноса и отложения вещества в результате взаимодействия природных водных растворов с горными породами.

4. Практика регионального карстоведения показывает, что структуры, литолого-минералогические особенности карстовых массивов и характер физико-химических взаимодействий их элементов зависят: а) в региональном аспекте - от

принадлежности массива к определенной геотектонической обстановке (платформа, переходная краевых прогибов, геосинклинальная), б) в локальном аспекте - от сочетания геоструктурных, литолого-фациальных, гидрогеологических условий.

Типы сочетания карстогенетических обстановок локального уровня на фоне региональной геотектонической обстановки являются основой, фундаментом для модельных построений. Принципиальные обстановки развития карста - одна из граней теоретической модели, важная составляющая понятия «карстосфера».

5. 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. Наиболее эффективно анализ развития массива осуществляется в том случае, если этапы его эволюции сопоставляются с циклами воздымающих, опускающих, сжимающих, растягивающих или стабилизированных тектонических движений.

6. Вещественный состав растворимых пород в первую очередь влияет на характер их взаимодействия с водными растворами, определяя не только интенсивность химического взаимодействия, но и оказывая влияние на такие свойства как упругость, сопротивление одноосному сжатию, разрыву и сдвигу. Физико-механические свойства пород оказывают прямое влияние на их состояние, а изменения этих свойств способствуют возникновению и развитию геологических процессов.

7. Исходя из базового положения карстоведения о последовательном развитии процесса растворения от микро- до макроформ на фоне интегрального влияния на пространственную избирательность карста элементов дизъюнктивной структуры массива всех иерархических уровней, роль микроструктурных элементов в химическом разрушении пород должна быть четко определена.

Наибольший интерес для целей карстоведения представляют водопроводящие микроэлементы - поры и трещины, являющиеся не только проводниками водных растворов, но и индикаторами водно-химических преобразований пород.

8. Проблема установления критериев избирательного растворения имеет теоретическое и практическое значение и в карстоведении окончательно не решена. В рамках решения данной проблемы, с целью установления микроформ растворения и их положения относительно элементов микроструктур пород, целесообразно наряду с традиционными методами изучения пород применять методы лабораторного определения интегральных физических свойств объектов, а также методы, позволяющие охарактеризовать элементы строения вещества и их свойства на микроуровне за пределами разрешающей способности оптической микроскопии.

9. Структурно-тектоническое строение массивов играет первостепенную роль в распределении карстовых форм, образовании их морфологических особенностей наряду с такими условиями и факторами как вещественный состав карстующихся пород, рельеф местности или климат.

Исследования закарстованных территорий на антиклинальных структурах свидетельствуют о строгой приуроченности форм подземного карста к разрывам, рассекающим различные пачки слоев, т.е. к разрывам, обусловленным ведущим механизмом формирования складки. Следовательно, в целях карстологического прогноза целесообразным является построение схем расположения главных разрывов складки.

10. 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.

11. Ставя перед собой цель сопоставления предполагаемых изменений тектонической ситуации и пространственного распределения структурных элементов массива карстующихся горных пород, исследователю необходимо решить ряд задач, а именно:

- * определить геологические периоды формирования трещин в общей структурно-тектонической эволюции района;
- * установить рисунок пространственного распределения зон ослабления массива, образованных трещинами различных возрастных генераций (зон растяжения) и основные кинематические этапы развития этих зон;
- * установить соотношение в пространстве зон трещиноватости и карстовых форм.

Решение этих задач является стержнем предложенного структурно-кинематического анализа карстовых массивов.

12. Анализ современного состояния карстологической оценки территорий свидетельствует о том, что, а) в практике карстологических прогнозов устойчивости территорий отсутствуют оценки, изначально базирующиеся на особенностях структуры карстовых массивов; б) эффективность прогноза карстопоявлений на любом уровне (глобальном, региональном, локальном, детальном), при использовании любой разновидности оценочных методов резко повышается при условии использования критериев структурно-тектонической однородности массивов или их структурных элементов.

13. В традициях современных представлений о закономерностях развития карста, используемых критериев районирования и типизации, прогнозно-оценочные мероприятия относительно карстовых массивов должны содержать:

- анализ глобальной и региональной геолого-структурной обстановки - принадлежность территории к дизъюнктивной или пликативной геотектонической структуре первого порядка, ее элементу или контактной зоне между структурами; наличие структур второго-третьего порядков и характер их границ (резкий дизъюнктивный или плавный пликативный и литологических замещений); направленность и режим взаимных перемещений крупных геоблоков (древних, неотектонических, современных, включая анализ эндогенных проявлений типа сейсмичности);

- анализ локальных геолого-структурных, геоморфологических и гидрогеологических обстановок, подчиненных тенденциям регионального уровня - соотношение структурного плана (складок и разрывных нарушений), глубин и ориентировок эрозионных врезов, элементов древнего рельефа, деструктивных зон; характер соотношения растворимых в разной степени и нерастворимых пород массива (тип контактов, характер переслаивания, мощность, состав, сплошность, сохранность, элементы залегания, включения, растворение которых повышает агрессивность подземных вод по отношению к вмещающим породам); гидродинамическая зональность, условия и пространственное соотношение областей питания, транзита и разгрузки подземных вод, амплитуды сезонных колебаний уровней, химический состав, минерализация и температура подземных вод;

- анализ пространственного распределения карстовых форм (генетический тип, морфология, морфометрия) с учетом обстановок карстообразования и типа техногенной нагрузки.

14. На любом уровне оценки карстоопасности (глобальном, региональном или локально-блоковом), практически для любых целей инженерной практики в основу анализа закономерностей распределения возможных деформаций поверхности карстовых массивов должен быть заложен процесс установления структурно-тектонического каркаса массива, его геологической эволюции и гидрогеологической активности дизъюнктивных элементов данного каркаса.

15. Развитие и практическая реализация представленных положений и идей, связанных с комплексным изучением структурно-текстуальных и структурно-тектонических параметров карстовых массивов является основой самостоятельного направления в карстоведении – структурного карстоведения, науки об условиях и факторах локализации карстовых процессов в геологическом пространстве и времени.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Печеркин А.И., Печеркин И.А., Катаев В.Н. К расчету устойчивости кровли карстовой полости // Карст Дальнего Востока: научное и практическое значение карстологических исследований: Тез. докл. Научн.-практич. конф. Владивосток, 1981. С.46-47.

Соискателем выполнен расчет устойчивости кровли ряда гротов Кунгурской Ледяной пещеры.

2. Катаев В.Н. К вопросу о соотношении изменения ширины трещин и закарстованности с глубиной // Перспективы развития исследований по естественным наукам на Западном Урале: Тез. докл. науч.-практич. конф. Пермь, 1981. С.150-151.

3. Печеркин И.А., Катаев В.Н., Печеркин А.И., Михалев В.В., Печеркина Л.В. К вопросу о выявлении зон водопритоков в горные выработки на закарстованных участках брахиантиклиналей // Влияние горнодобывающей промышленности на геологическую среду и ее охрана: Тез. докл. науч.-технич. совещ. Пермь, 1981. С.34-35.

Соискателем представлены особенности распределения карстовых форм на брахиантиклиналях.

4. Печеркин А.И., Катаев В.Н. Вопросы изучения тектонической трещиноватости закарстованных массивов // Гидрогеология и карстоведение / Перм.ун-т. Пермь, 1981. С.76-82.

Соискателем определены и методически обоснованы этапы изучения тектонической трещиноватости.

5. Печеркин А.И., Катаев В.Н., Печеркина Л.В. Изменение прочности сульфатных горных пород в зависимости от степени их гидратированности // Инженерная геология Западного Урала / Тез. докл. научно-технич. Собрания. Пермь, 1982. С.83-84.

Соискателем исследованы и представлены результаты исследования прочностных свойств гипс-ангидритов.

6. Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Катаев В.Н. Использование данных рентгеноструктурного анализа пород при изучении сульфатного карста // Инженерная геология Западного Урала: Тез. докл. науч.-технич. совещ. Пермь, 1982. С.94-95.

Соискателем дано описание методики проведения исследований, характеристик и применимость анализа.

7. Печеркин А.И., Болотов Г.Б., Катаев В.Н., Маклашин А.В. Опыт изучения тектонической трещиноватости гипсовых массивов для карстологических целей / Рукопись депонирована в ВИНТИ. N 2142-82 Деп. Пермь, 1982. 138с.

Соискателем дано описание методов моделирования формирования трещин складчатых структур, предложены и опробированы методы математического моделирования полей напряжений в породах брахискладок и методы рентгеноструктурного анализа карстующихся пород.

8. Катаев В.Н., Печеркин А.И. К вопросу о влиянии тектонического фактора на распределение карстовых форм // Состояние, задачи и методы изучения глубинного карста СССР. Тез. докл. III Всесоюзного карстово-спелеологического совещания. М., 1982. С.22-23.

Соискателем теоретически обосновано влияние тектоники на карст, подобраны и описаны примеры.

9. Pechorkin I.A., Pechorkin A.I., Kataev V.N. On siting tunnels by calculation of natural stresses. // Proceedings 4th Intern. Congress Internat. Association of Engineering Geology. India-New Delhi, 1982. P.69-78.

Соискателем приведены расчеты тектонических напряжений в пределах Полазненской локальной структуры.

10. Pechorkin A.I., Pechorkin I.A., Kataev V.N. Experimental study of sulphate calcium solubility and hydration of anhydrite // Estratto da: Atti del Simposio Internazionale sulla «Utilizzazione delle aree carsiche». Bari-Castellana Grotte, 1982. P.243-253.

Соискателем приведены данные экспериментов по растворимости гипс-ангидритов.

11. Pechorkin I.A., Pechorkin A.I., Kataev V.N. The problems of karst massif tectonic jointing investigation for hydrotechnical construction // Estratto da: Atti del Simposio Internazionale sulla «Utilizzazione delle aree carsiche». Bari-Castellana Grotte, 1982. P/270-277/

Соискателем дана методика картирования тектонических трещин и охарактеризованы применяемые показатели трещиноватости.

12. Катаев В.Н., Печеркин А.И., Печеркин И.А. Моделирование полей напряжений при образовании и развитии локальных структур платформенного типа // Моделирование в гидрогеологии и инженерной геологии. Новочеркасск. 1983. С.89-93.

Соискателем произведены расчеты полей напряжений, представлен алгоритм вычисления.

13. Печеркин А.И., Катаев В.Н. К расчету напряжений, возникающих при формировании платформенных брахиантиклиналей // Инженерная геология. 1983. N5. С.75-93.

Соискателем обоснован алгоритм расчета полей напряжений в породах брахиантиклиналей, результаты представлены на конкретных примерах.

14. Печеркин А.И., Печеркин И.А., Закоптелов В.Е., Катаев В.Н., Болотов Г.Б., Печеркина Л.В., Симонов В.П., Маклашин А.В. Карстологическое районирование Полазненского полуострова.- Пермь, 1983. 8с. Рукопись представлена Пермским ун-ом. Деп. в ВИНТИ 3 янв. 1983, №16083 Деп.

Соискатель принял участие в разработке принципов районирования.

15. Шувалов В.М., Печеркин А.И., Катаев В.Н., Болотов Г.Б., Симонов В.П. Трещиноватость и закарстованность Гальянского месторождения флюсовых известняков.-Пермь, 1983, 20с. Рукопись представлена Пермским ун-ом. Деп. в ВИНТИ 6 июля 1983, №3696-83 Деп.

Соискателем проведен анализ интенсивности карстопроявлений с глубиной.

16. Катаев В.Н. Тектоническая трещиноватость и закарстованность карбонатных массивов.- Пермь, 1983, 18с. Рукопись представлена Пермским ун-ом. Деп. в ВИНТИ, № 3696-83 Деп.

17. Катаев В.Н. Общие закономерности распределения карста на фоне антиклинальных структур // Проблемы инженерной геологии Урала: Тез. докл. семин. Пермь, 1984. С.19-21.

18. Печеркин А.И., Катаев В.Н., Андрейчук В.Н. Влияние тектонической трещиноватости на развитие пещер Золушка и Буковинка // Проблемы инженерной геологии Урала: Тез. докл. Семинара, Пермь, 1984. -С.21-22.

Соискателем предложен вариант интерпретации карт показателей трещиноватости.

19. 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.

Соискателем представлены математические модели напряженного состояния пород платформенных структур, дана методика и представлены результаты рентгеноструктурного анализа карстующихся пород.

20. Печеркин А.И., Катаев В.Н., Маклашин А.В., Печеркина Л.В. Распределение гипса и ангидрита на участке штольни, вскрывающей грот «Вышка» Кунгурской ледяной пещеры // Пещеры: Межвуз.сб.научн. тр. / Перм. ун-т. Пермь, 1984. С.66-69.

Соискателем даны характеристики микросостояния пород в непосредственной близости от тектонических трещин и крупных полостей.

21. Печеркин А.И., Катаев В.Н. О взаимосвязи распределения карстовых провалов Паланкареса и Каньяда дель Ойо (Испания) с трещиноватостью и напряженным состоянием массива // Изв.ВУЗ. Геология и разведка. 1985. №1. С.55-60.

Соискателем проведено сопоставление полей напряжений, трещиноватости и закарстованности в пределах карстового района Паланкарес.

22. Катаев В.Н., Печеркин А.И., Махорин А.А. Изучение закарстованных и трещиноватых зон в инженерном карстоведении (на примере горно-складчатых областей): Учебное пособие по спецкурсу / Перм.ун-т. Пермь, 1987. 88с.

Соискателем обоснованы на конкретных примерах особенности соотношения закарстованности и трещиноватости в горно-складчатых областях. Даны примеры моделирования полей напряжений на складках продольного сжатия, складках совместного механизма поперечного изгиба и продольного сжатия.

23. Катаев В.Н. Минеральный состав нижнепермских сульфатов в зоне гипергенеза // Тез.докл.Международного конгресса «Пермская система Земного шара».Свердловск, 1991.С.157.

24. Kataev V.N. Mineral composition of Lower Permian Sulfate Rocks in the Zone of Hypergenesis, Sylva and Kama River, Central Urals // Contribution to Eurasian Geology. Papers presented at the International Congress on the Permian System of the World. Perm, Russia, 1991. Part 2. Occasional Publication ESRI, New Series, N 9B. P.65-69.

25. Катаев В.Н. Геологическая блоковая модель развития карста района Гуилин (Южный Китай) // Гидрогеология и карстоведение: Межвуз. сборник научных трудов / Пермский ун-т, Пермь, 1992. С.109-122.

26. Катаев В.Н., Горбунова К.А. О необходимости создания теоретической модели горного карста // Геология и минеральные ресурсы Западного Урала: Тез.конф., Пермь, 1993. -С.58.

Соискателем представлены наиболее общие характеристики обстановок развития горного карста.

27. Матвеев Б.К., Савелов Р.П., Горбунова К.А., Катаев В.Н. Физико-геологические модели карстовых образований // Построение физико-геологической модели и системный подход при истолковании результатов геофизических исследований: Тез.конф., Пермь, 1993. -С.9.

Соискателем сформулированы литологические и структурно-тектонические принципы построения концептуальной модели карста.

28. Катаев В.Н. Структурно-тектонические условия формирования Кунгурской пещеры // Пещеры. Итоги исследований: Межвуз.сб. науч.тр. / Перм.ун-т. Пермь, 1993. С.121-130.

29. Катаев В.Н. Разработка методики региональной оценки опасности карста и составление макета карты масштаба 1:200000 / Науч. б-ка Инжен.- геолог. и геоэкол. центра РАН. Москва, 1993. -52с.

30. Kataev V.N. The methodological aspects of karst massif investigation // Proceedings Intern. Symp. «Engineering Geology of Karst». Perm, 1993. V.1. P.108-114.

31. Kataev V.N. Analysis of the karst massif structural elements development for Engineering Karstology // Engineering Geology of Karst: Proceedings Intern. Symp., Perm, 1993. V1. P.54-60.

32. Kataev V.N., Gorbunova K.A. Structural elements of karst massif // Proceedings Intern. Symp. «Engineering geology of karst», Perm, 1993. V1. P.47-53.

Соискателем представлена иерархия структурных элементов карстовых массивов.

33. Катаев В.Н. Системный подход в анализе устойчивости карстовых массивов // Вестник Пермского университета. Геология, 1994. Вып.3. -С.127-144.

34. Катаев В.Н. Катастрофические карстопоявления: закономерности распределения // Карстовые провалы: Тез. докл. юбил. конф., Екатеринбург / УИФ Наука, 1994. -С.20-22.
35. Катаев В.Н. Структурно-тектонические обстановки провалообразования в Приуралья // Карстовые провалы: Тез. докл. юбил. конф., Екатеринбург / УИФ Наука, 1994. -С.63-65.
36. Катаев В.Н. Гидрохимический анализ в инженерном карстоведении // Тез.докл. IV Всеуральского совещания по подземным водам Урала и сопредельных территорий. Пермь, 1994. С.78-79.
37. Kataev V.N., Maximovich N.G. Geocological peculiarities of West Ural Karst Regions // Abstracts.IV Internat. Congress of Ecology, Manchester, UK, 1994. P.602.
- Соискателем представлены особенности карстопоявлений на территории Пермской области.
38. Катаев В.Н. Системный подход в анализе устойчивости карстовых массивов // Вестник Пермского университета. Геология. Вып.3, Пермь, 1994. С.127-144.
39. Катаев В.Н. Геологическое строение и типы дислокаций пещерного массива // Кунгурская ледяная пещера / Пермский ун-т. Пермь, 1995. С.8-26.
40. Катаев В.Н., Максимович Н.Г., Блинов С.М. Загрязнение карстовых вод Кизеловского угольного бассейна // География и природные ресурсы. –1995. -N 1. -С.57-60.
- Соискателем обоснована специфика развития карста в условиях горно-шахтной разработки угля в бассейне.
41. Катаев В.Н. Опыт оценочного районирования карстоопасных территорий // Современные проблемы геологии Западного Урала: Тез. докл. науч. конф., Пермь, 1995. -С.136-137.
42. Катаев В.Н. Методологические аспекты сравнительно-оценочного карстологического районирования // Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1997. -С.131-153.
43. Катаев В.Н., Горбунова К.А. Геологические основы моделей карстовых массивов // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 1997. Вып.4. -С.137-147.
- Соискателем представлены литолого-структурно-тектонические характеристики развития карста в геосинклинальных, платформенных и переходных геоструктурных обстановках.
44. Катаев В.Н. Общая оценка техногенного прессинга в карстовых регионах (на примере территории Пермского Приуралья) // Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охраны окружающей среды: Материалы международной научно практической конференции. Пермь, 1997. С.167-170