

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Пермский государственный университет

В.Н. КАТАЕВ

**МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАКТИКА СРАВНИТЕЛЬНО-
ОЦЕНОЧНОГО КАРСТОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ**

Учебное пособие по спецкурсу

Пермь 2001

ББК 26.1

К29

УДК 551.44 : 624.131

К29

Катаев В.Н.

Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования: Учебное пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. - Пермь, 2001. - 85 с.

ISBN 5-7944-0197-4

Рассматривается история становления методов районирования закарстованных территорий. Анализируются преимущества и недостатки современных методов районирования и типизации территорий проявлений карстовых процессов. Предлагается использование приемов оценки устойчивости закарстованных территорий, имеющих в практике инженерной геологии и карстоведения в виде комплексного сравнительно-оценочного метода. Приводятся результаты практического использования сравнительно-оценочного районирования применительно к территориям развития карбонатного и сульфатного карста.

Предлагаемое учебное пособие окажет помощь студентам геологических и географических специальностей при изучении курсов "Общее карстоведение", "Структурное карстоведение", "Инженерная геология", "Геоморфология". Оно может представить интерес для специалистов, ведущих исследования карста в самых различных направлениях.

Табл. 9. Ил. 6. Прил. 1. Библиогр.: 44 назв.

Рецензенты: главный гидрогеолог ВерхнеКамТИСИЗа канд. геол.-минер. наук, заслуженный строитель России В.П. Костарев, зав. сектором гидрогеологии КамНИИКИГС, канд. геол.-минер. наук И.Н. Шестов

Печатается по постановлению редакционно-издательского совета Пермского государственного университета

ISBN 5-7944-0197-4

© В.Н. Катаев, 2001

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. ПРОБЛЕМЫ КАРТИРОВАНИЯ, РАЙОНИРОВАНИЯ И ТИПИЗАЦИИ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	5
1.1. Анализ нормативно-методической обеспеченности инженерного освоения закарстованных территорий.....	5
1.2. Современное состояние проблем картирования, районирования и типизации закарстованных территорий.....	9
1.3. Карстоопасность и ее оценка.....	12
1.4. Общие положения оценочно-прогностических действий.....	16
Глава 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЙОНИРОВАНИЯ И ТИПИЗАЦИИ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	23
2.1. Типы районирования и их основные характеристики.....	23
2.2. Границы таксонов.....	26
2.3. Сочетание карстующихся и некарстующихся отложений.....	28
2.4. Признаки карстологической оценки.....	29
2.5. Количественные показатели оценки закарстованных территорий.....	35
Глава 3. РАЙОНИРОВАНИЕ И ТИПИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ КАРСТООПАСНОСТИ	40
3.1. Среднемасштабное районирование закарстованных территорий (на примере юга Пермской области).....	40
3.1.1. Краткая характеристика карстовых районов.....	41
3.1.2. Районирование территории по признакам карстоопасности.....	46
3.2. Крупномасштабная карстологическая оценка «закрытых» территорий (на примере территории Чаньвинского промузла).....	52
3.3. Оценка техногенного прессинга в карстовых регионах (на примере территории Пермского Приуралья).....	60
3.3.1. Общие особенности распределения катастрофических карстопроявлений.....	60
3.3.2. Карстологическая характеристика региона.....	61
3.3.3. Карстологическая типизация территории.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
Библиографический список.....	80
Приложение.....	83

ВВЕДЕНИЕ

Многие вопросы картирования, районирования, инженерно-геологической оценки закарстованных территорий и прогноза карстовой опасности остаются еще нерешенными. Для их решения необходимо создание методологических основ построения прогнозных карт различных масштабов на различных этапах карстологических и инженерно-геологических работ.

Региональные исследования расширили традиционные представления о литологических разностях карстующихся пород, о зональности и глубинности карстопроявлений, химизме карстового процесса, его гидродинамике и механизме образования карстовых форм. Все это повлекло за собой необходимость а) систематизации терминов, понятий и категорий, используемых в карстоведении, б) углубления и расширения методологических основ данной науки, в) утверждения новых подходов к решению задач хозяйственного освоения закарстованных территорий.

Одним из наиболее важных научных направлений теоретического карстоведения является установление закономерностей пространственного распределения геолого-структурных форм массивов, сложенных закарстованными породами, и их соответствующей карстогенетической роли.

Анализ соотношения структурных форм массивов и их карстогенетической роли является основой и сугубо практических мероприятий. Например, в инженерной геологии карста основной задачей предпроектной стадии изысканий становится оценка закономерностей распространения поверхностных и подземных карстопроявлений на единицу исследуемой площади. Несомненно, что решение такой задачи объективнее, если оно основано на теории образования и эволюции структурных форм массива, локализирующих карстопроявления.

В данном учебном пособии анализируется комплекс оценочно-прогностических действий, применяемых в отношении закарстованных территорий, приведена оценка его эффективности и показано расширение возможностей районирования и типизации при использовании в качестве основы структурно-текстурных и структурно-тектонических критериев.

Глава 1

ПРОБЛЕМЫ КАРТИРОВАНИЯ, РАЙОНИРОВАНИЯ И ТИПИЗАЦИИ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Инженерное карстоведение, являясь научно-практическим симбиозом инженерной геологии и карстоведения, фокусирует проблемы теории и практики как той, так и другой науки. Для инженерной геологии в области картографирования, районирования и типизации территорий инженерного освоения актуальны следующие проблемы: 1) установление номенклатуры карт и определение их назначения, 2) определение принципов и методик составления инженерно-геологических карт, 3) определение принципов и задач инженерно-геологического районирования, 4) стандартизация условных обозначений и 5) координация всех карт по инженерно-геологическому картированию. Эти проблемы в том или ином виде формулируются и решаются начиная с 70-х гг. [22].

Для инженерного и регионального карстоведения характерны практически аналогичные проблемы. В последнее десятилетие они в основном решены для картографических работ обзорного характера, примером чему является создание в 1992 г. макета комплекта карт (масштаб 1:7 500 000) карстующихся пород территории СНГ и отдельных регионов [10]. Кроме этого, в рамках государственной научно-технической программы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» в 1993 г. составлен комплект карт опасности природных катастроф территории России (главный редактор академик В.И. Осипов). В него входит «Карта опасности карста на территории России» масштаба 1:5 000 000, выполненная коллективом авторов ПНИИИС, ВСЕГИНГЕО, Гидропроекта, Симферопольского университета, Инженерно-геологического и геоэкологического центра АН России. Вместе с тем, как отмечают авторы указанных картографических проектов, остаются необходимыми: 1) обобщение опыта картирования закарстованных территорий, 2) создание методологических основ построения разномасштабных карт прогнозного характера для различных этапов инженерно-геологических работ, 3) составление нормативно-методической документации, затрагивающей терминологические и прогнозно-оценочные аспекты карстово-суффозионного процесса на осваиваемых и освоенных территориях.

1.1. Анализ нормативно-методической обеспеченности инженерного освоения закарстованных территорий

В настоящее время в практике инженерной геологии отсутствуют единые нормы проектирования зданий и сооружений на закарстованных территориях. Различные аспекты проектирования в условиях карста кратко излагаются во многих СНиПах, как правило, в виде отдельных пунктов, что нередко затрудняет организацию комплексного подхода к

защите сооружений от негативного влияния карстового процесса на всех стадиях существования сооружений.

В 1986 г. нормативно был введен в действие специальный раздел по особенностям проектирования оснований и фундаментов на закарстованных территориях (дополнение к СНиП 2.02.01-83). С 1988 г. введены в действие СНиП 1.02.07-87, а с 1997 г. СНиП 11-02-96 "Инженерные изыскания для строительства", в которых сформулированы основные требования к инженерно-геодезическим и инженерно-геологическим изысканиям в карстовых районах.

Различные вопросы проектирования на закарстованных территориях отражаются в некоторых других действующих СНиПах. К сожалению, основные недостатки этих СНиП заключаются в использовании неточной терминологии, неучете различных аспектов карстоопасности применительно к тем или иным сооружениям, крайне слабом использовании современных результатов инженерного карстоведения. Это относится к таким существующим СНиП, как "Нагрузки и воздействия", "Железные дороги", "Автомобильные дороги", "Магистральные трубопроводы", "Генеральные планы промышленных предприятий".

Во многих главах СНиП особенности проектирования в карстовых районах вообще не отражены. К сожалению, это не сделано даже в тех СНиП, где учет карста при проектировании требует особого подхода.

Специфичность и многоаспектность вопросов строительства в карстовых районах, решение которых возможно лишь при определенной специальной подготовке работников, потребовали разработки ряда методических документов (рекомендаций) по различным аспектам инженерного карстоведения. Такого рода документы, как известно, не являются нормативными, а представляют собой изложение результатов опыта в форме, допустимой для их использования в практике.

К настоящему времени используются около двадцати таких документов, в том числе регионального и ведомственного характера (см. приложение). Рекомендации ПНИИИС имели и до настоящего времени имеют (особенно в части методики проведения инженерно-геологических изысканий) большое значение для практики. Однако догматичность изложения проблем оценки карстовой опасности и обоснования противокарстовой защиты в сочетании с недостатками практики проектирования привели к тому, что они стали тормозом к использованию других подходов к освоению закарстованных территорий, в большей степени отвечающих современным требованиям проектирования.

Следует заметить, что специальные разделы СНиП по особенностям проведения изысканий и проектирования в карстовых районах стали разрабатываться лишь в последнее время. Это объясняется тем, что проведены целенаправленные исследования и получены соответствующие результаты по ряду принципиальных вопросов строительства в карстовых районах, которые зафиксированы в качестве строительных правовых норм [39].

Так, в 1999 г. в Нижнем Новгороде вышли территориально-строительные нормы (ТСН) 22-3308-98 НН "Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях", позволяющие в определенной мере снять недостатки фрагментарного изложения в различных СНиП данного вопроса. ТСН конкретизируют отдельные требования общегосударственных СНиП и сводов правил (СП) с учетом накопленного опыта строительного освоения закарстованных территорий в Нижегородской области, а также в других регионах страны и СНГ. При подготовке ТСН учтен опыт зарубежных стран [42].

Что же касается инженерных изысканий на закарстованных территориях для целей строительства и эксплуатации зданий и сооружений, то для успешного проведения их требуются специальные знания в области инженерного карстоведения, инженерной геологии, гидрогеологии, геофизики, фундаментостроения, теории сооружений и других видов инженерно-строительной деятельности. Изыскания должны включать интерпретацию космо- и аэрофотоснимков, геофизические и лабораторные исследования, бурение скважин и т.д.

Для проведения инженерных изысканий с целью оценки (прогноза) карстовой опасности и определения способов и параметров противокарстовой защиты необходимо привлекать организации, которые имеют в своем составе соответствующих специалистов, необходимое оборудование и лицензии на проведение инженерно-геологических изысканий в сложных природных условиях (Постановление правительства РФ № 1418 от 24.12.1994 г. и № 351 от 25.03.1996 г.), разрешающие этим организациям проводить изыскания на закарстованных территориях.

При проведении изысканий на закарстованных территориях не разрешается привлекать организации и частных лиц, использующих в своих работах способы, базирующиеся на субъективных оценках развития карста (экстрасенсорика, лозоходство и т.д.) [42].

Оценка характера и степени опасности карста служит основой для решения таких вопросов, как выбор участков для застройки, необходимость проведения специальных изысканий, определение объема противокарстовой защиты, ее эффективность, условия эксплуатации сооружений и т.д.

Неправильная оценка степени карстовой опасности почти всегда ведет к экономическим потерям вследствие необоснованного отказа от той или иной территории для строительства, принятия необоснованно повышенных требований к строительным и эксплуатационным мерам безопасности или недостаточных мер по предотвращению деформаций сооружений.

Существуют следующие специфические особенности оценки карстовой опасности для инженерных сооружений:

а) разнородность деформаций (провалы, проседания, оседания земной поверхности, неравномерная сжимаемость слоев грунта в основании сооружений и т.д.);

б) преимущественно дискретный и стохастический характер карстопроявления во времени и в пространстве;

в) известная ограниченность возможностей физической аппаратуры по выявлению карстовых полостей;

г) зависимости параметров карстовых деформаций от техногенных воздействий, отдельные из которых имеют ярко выраженный детерминированный характер, другие - стохастический [40].

Карстовая опасность должна оцениваться по результатам комплекса инженерно-геологических, геоморфологических, геофизических изысканий. При этом следует учитывать:

- существующие и возможные в будущем техногенные воздействия на геологическую среду, влияющие на активизацию карстовых и карсто-во-суффозионных процессов;
- расчетный срок эксплуатации объектов;
- конструктивные особенности сооружений;
- характер реагирования сооружений на прогнозируемые карстовые деформации;
- вероятные последствия экономического, экологического и социального характера при повреждении объектов в результате карстовых деформаций [42].

В настоящее время нет общего единого критерия оценки карстовой опасности для всех видов карстовых деформаций. Наибольшую опасность для зданий и сооружений представляют провалы, поэтому их прогнозу справедливо уделяется основное внимание.

Методы и точность прогнозов карстовой опасности должны находиться в прямой зависимости от решения той или иной задачи. Например, методы оценки карстовой опасности для относительно больших по площади территорий (применяемые при решении различных инженерно-планировочных задач: генплан, проект детальной планировки, трассирование линейных сооружений и т.д.) должны отличаться от методов оценки карстоопасности для отдельных сооружений и тем более, чем меньше размеры сооружения в плане.

На сравнительно устойчивых территориях всегда имеются отдельные участки, опасные для тех или иных сооружений, а на неустойчивых территориях практически всегда можно изыскать достаточно надежный участок для размещения сооружения. Все дело в правильном учете природы карстового процесса, особенностей сооружений, характера техногенного воздействия на активизацию карстовых процессов, в наличии в изыскательских организациях соответствующей технической аппаратуры для локализации карстовых полостей [40].

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

В основе практически всех известных карт закарстованных территорий положено картографирование карстующихся пород, выходящих на поверхность. Среди них, помимо упомянутых выше, следует отметить ряд карт, получивших признание и используемых не только в карстоведении, но и в инженерной геологии и гидрогеологии.

Одной из первых, имевших важное методологическое значение, следует назвать карту карста СССР масштаба 1:5 000 000, продемонстрированную Г.А. Максимовичем в 1947г. на Пермской карстовой конференции. Позже, в 1961г., Г.А. Максимовичем на основе данной карты были показаны тектонические закономерности распределения карста на территории СССР [26, 27].

Особое положение в истории карстологического картирования занимают карты закарстованных пород и карстовых явлений масштаба 1:2 500 000, составленные под редакцией Н.В. Родионова в 1963г. под эгидой ВСЕГИНГЕО на территорию Европейской части СССР, Урала и Кавказа, а позже, в 1967г., под той же редакцией на территорию Казахстана. Данные карты, помимо того, что применялись в карстологических целях, рекомендовались к использованию и использовались при планировании различных видов строительства, при составлении программ и проектов инженерно-геологических и гидрогеологических исследований. Районирование в данных работах проведено по структурно-тектоническому принципу. Показав территориальное соотношение карстующихся и некарстующихся пород, их литологию, авторы отразили важные элементы строения массивов, способствующие общей оценке карстоопасности, а именно: наличие прослоев и линз карстующихся пород среди некарстующихся, глубины залегания карстующихся толщ под терригенными отложениями, местоположение полостей.

При построении карты территории юга средней Сибири масштаба 1:2 000 000 Р.А. Цыкин и Ж.Л. Цыкина [43] использовали схему районирования карста СССР Г.А. Максимовича. Районирование в данной работе проведено на геолого-структурной основе, что дало возможность генетической и возрастной привязки карстовых массивов, их морфоструктурной и климатической оценки. В работе карстовые области соответствуют горно-складчатым сооружениям и межгорным впадинам, карстовые районы отвечают отдельным геоблокам, слагающим карстовую область (передовой прогиб, срединный массив, антиклинорий, синклинорий, складчато-блоковые зоны), карстовые участки выделены по геологическим и карстологическим данным.

Несомненно, следует отметить карту масштаба 1:7 500 000, выполненную ПНИИИС Госстроя РФ в известных «Рекомендациях по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территории для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР» (1967);

кату карста Украины и Молдовы масштаба 1:1 500 000, выполненную Б.Н. Ивановым в 1965-1970 гг.

Карты Украины и Молдовы масштабов 1:2 500 000 и 1:1 000 000, подготовленные Г.Н. Дублянской и В.Н. Дублянским в соавторстве с большим коллективом специалистов в рамках решения IV Всесоюзного совещания по картографированию и районированию карста (Владивосток, 1986г.) и V Всесоюзного карстово-спелеологического совещания (Киев, 1987г.) по созданию карты распространения карстующихся пород СССР масштаба 1:2 500 000, занимают особое положение. Основные результаты данной работы и макет карты были представлены Г.Н. Дублянской на Международном симпозиуме «Инженерная геология карста» (Пермь, 1992), а методические подходы к картографированию, районированию и инженерно-геологической оценке закарстованных территорий с особым выделением территории Украины и Молдовы представлены авторами в монографии «Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий» (1992).

Из региональных следует выделить кату карста Пермской области масштаба 1:500 000 и пояснительную записку к ней в виде монографии «Карст и пещеры Пермской области», выполненную коллективом авторов под руководством К.А. Горбуновой (1992). В этой работе приведено описание геолого-гидрогеологических и геоморфологических особенностей развития карста с учетом характера техногенной нагрузки, дана характеристика наиболее типичных карстовых форм, проанализированы условия строительства в карстовых районах.

Все имеющиеся обзорные и региональные картографические работы применительно к территориям проявления карста имеют свое непреходящее значение и в той или иной степени учитывают предшествующий опыт. Тем не менее общими недостатками практически всех мелко- и среднемасштабных карт являются: 1) отсутствие информации о перекрывающих отложениях (возраст, мощность, литология, фильтрационные особенности), 2) нечеткость подходов к определению границ распространения карстующихся пород, 3) отсутствие информации о палеокарстовых формах, а также 4) обстановках, в которых карстующиеся породы занимают подчиненное значение или находятся под некарстующимися породами на глубинах более 20м (до глубин, где влияние техногенных факторов достаточно эффективно) [8]. Указанные недостатки частично были учтены в работе К.А. Горбуновой при составлении карты Пермской области, частично в монографии Г.Н. Дублянской и В.Н. Дублянского (1992).

В процессе работ по карстологическому картированию начала 90-х гг. были сформулированы следующие принципы картографирования:

- наличие карстующихся пород должно быть учтено при любой глубине их залегания, независимо от наличия перекрывающих отложений;
- территории должны быть закартированы по принципу выделения четырех литологических схем: а) карстующиеся породы разного состава,

б)толщи их переслаивания, в)толщи переслаивания карстующихся пород и некарстующихся, г)прослои карстующихся пород среди некарстующихся;

- при картировании, как правило, принимаются во внимание литология и возраст первой от поверхности толщи карстующихся пород в пределах выделенного стратиграфического подразделения. Более глубоко залегающие толщи показывают на геологических разрезах и стратиграфических колонках.

Не приходя к абсолютному согласию при обсуждении деталей производства картирования, районирования и карстологической оценки, все исследователи-карстологи единодушны в том, что закономерности распространения и развития карста определяются геологической, структурно-тектонической, гидрогеологической и геоморфологической обстановками. Именно комплекс этих особенностей развития закарстованных территорий послужил принципиальной основой многих схем районирования.

Геоструктурный принцип - совпадение выделяемых провинций, областей и большинства районов с основными структурами исследуемых регионов - занял главенствующее положение в первых работах по районированию, относящихся к 50-60-м гг. XX столетия. В более поздних работах этот принцип получил дальнейшее развитие, не утратил своего значения, был детализирован в литологическом аспекте, дополнен геоморфологическими и гидрогеологическими параметрами, особенно в работах, посвященных среднемасштабному районированию [44].

Очевидно, что соответственно современным представлениям о закономерностях развития карста, используемым критериям районирования и типизации, прогнозно-оценочные мероприятия относительно карстовых массивов должны содержать:

1. 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).

2. Анализ локальных геолого-структурных, геоморфологических и гидрогеологических обстановок, подчиненных тенденциям регионального уровня, а именно: 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 по-

родам); гидродинамическая зональность, условия и пространственное соотношение областей питания, транзита и разгрузки подземных вод, амплитуды сезонных колебаний уровней, химический состав, минерализация и температура подземных вод.

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

1.3. Карстоопасность и ее оценка

Практика природопользования в пределах карстовых массивов неизменно связана с потенциальным риском возникновения аварийных или катастрофических ситуаций. Практически во всех случаях в основу понятия «карстоопасность» положено представление об устойчивости закарстованных территорий.

Так, под аварийной ситуацией В.Н. Дублянский и Г.Н. Дублянская [9] понимают снижение устойчивости территории, которое создает угрозу инженерному сооружению, а в совокупности с общепринятыми понятиями «авария» и «катастрофа» определяет понятие «карстоопасность».

В определении В.В. Толмачева и Ф. Ройтера [39] «...карстоопасность – характер и степень воздействий карстовых деформаций на грунтовую толщу и сооружения, которые могут привести к затруднению освоения закарстованных территорий».

В.М. Кутепов и В.Н. Кожевникова [21] определяют причины устойчивости в комплексе физических, физико-химических и химических изменений в карстовых массивах, оказывающих влияние на свойства горных пород. Эти изменения вызываются процессами (карстово-суффозионными), развивающимися под влиянием определенных условий («пассивных компонентов геологической среды») и факторов («активных компонентов геологической среды»).

Следовательно, понятие «карстоопасность» (одно из наиболее емких в инженерном карстоведении) в зависимости от акцентов оценки может содержать сведения об интенсивности и масштабах карстопроявлений, условиях и факторах развития карстово-суффозионных процессов относительно угрозы создания аварийных и катастрофических ситуаций. В нашей интерпретации ***карстоопасность - это определенное сочетание природных и (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, катастрофы, экологические бедствия.***

В зависимости от регионального, локального или детального аспекта акценты в оценке карстоопасности в первом случае смещаются к анализу «пассивных компонентов геологической среды», во втором - к

анализу «пассивных и активных компонентов», в третьем - к анализу «активных компонентов», как правило, с резким сезонным или суточным режимом.

Пермская карстовая конференция 1947г. определила карстование как особую отрасль знаний о химическом и физическом воздействии воды на горные породы. Инженерное карстование было characterized как прикладной раздел общего карстования, включающий изучение особенностей возведения инженерных сооружений в карстовых областях и связанное с этим специальное картирование, методику и разведку карста при различных видах строительства, а также методы инженерной защиты. Выделение инженерного карстования как отдельного раздела было довольно условно, поскольку ряд практических вопросов решало общее карстование (например, определение роли карстовых явлений в различных видах строительства, особенностях водоснабжения и сельского хозяйства).

Период после конференции 1947г. характеризуется становлением методического и расчетного арсенала, накоплением различных вариантов оценок устойчивости территорий в практических отраслях карстования. Часть предлагаемых методов основывалась на геолого-гидрогеологических принципах исследований, изложенных Ф.П. Саваренским [35, 36], другая часть учитывала геологию объектов, иногда в сильно упрощенном виде. Например, С.В. Альбов [1] предпринял попытку анализа влияния горного давления в сводах подземных карстовых пустот на образование провалов. Оценивая обрушение как предельную деформацию горных пород, вызванную комплексом напряжений при нарушениях равновесия в массивах, С.В. Альбов определил возможность появления провала в зависимости от физико-механических свойств пород верхней части массива, давления надсводовой толщи и размеров полости. В данном случае работа сыграла определенную методическую роль, поскольку давала пример использования (по принципу аналогии) элементов расчета из арсенала смежных геологических наук.

Одной из первых работ, посвященных оценке карстовой опасности, является работа З.А. Макеева [25]. Ссылаясь на полевые исследования 1931г. в Приуфимском районе, автор привел схему выделения площадей по степени их пригодности для строительства. По мнению В.В. Толмачева и Ф.Ройтера [39], работа имела принципиальную важность для последующих поколений инженеров-геологов, поскольку общегеологическая основа оценки закарстованной территории была заменена практической. В то же время работа дала повод для детализации, абсолютизации и упрощения предложенной схемы из пяти категорий устойчивости территории. Справедливости ради стоит заметить, что З.А. Макеев, ссылаясь на И.В. Попова, отмечал, что в основе выделения категорий устойчивости площадей должны быть результаты изучения таких природных факторов, как характер рельефа, геологическая структура, грунтовые условия, гидрогеологические условия, современные физико-

географические процессы. Кроме того, он указывал, что **можно рекомендовать** выделение инженерно-геологических участков **только по признаку закарстованности**, но такие карты не могут считаться инженерно-геологическими без учета природных факторов в локальном и в региональном аспектах. Категоризация территории по интенсивности воронко-(провало-) образования была предложена для среднемасштабных карт и, при достаточной густоте документируемых точек (обнажения, воронки, буровые скважины, шурфы и пр.), для более крупных масштабов (1:25 000 - 1:10 000). По нашему мнению, причина доведения до абсурда (в некоторых случаях) схемы З.А. Макеева - в отходе от информативной, но чрезвычайно сложной, дорогостоящей, особенно при крупномасштабных исследованиях, общегеологической позиции в оценке закономерностей развития карста. Оценка устойчивости по признаку закарстованности не требует специальных знаний в области карстоведения, большого количества исходной информации, а следовательно, больших затрат в условиях недавней интенсификации освоения территорий и отсутствия (как правило) результатов крупномасштабных геологических (или комплексных) съемок.

Инженерная геология карста в вопросах нормативной оценки устойчивости территорий пошла по пути совершенствования методов стандартного прогнозирования провалообразования, снизив активность глубокого изучения геологических основ закономерностей развития закарстованного массива. Еще в 1964г., анализируя карстовые районы Урала и Предуралья, В.С. Лукин отметил, что метод оценки устойчивости территорий по количеству впадин на $1\text{км}^2/\text{год}$ или 100 лет хорош при мелкомасштабных исследованиях, где возможно введение среднеплощадной оценки провалообразования, но несостоятелен при крупномасштабных из-за крайней неравномерности развития карста. Здесь, отметил автор, целесообразнее всего оценить рельеф карстующихся пород, мощность покровной толщи и наличие в ней устойчивых пород, положение уровня грунтовых вод, их химизм, мощность зоны активного развития карста, местоположение подземных полостей [23]. В пределах каждого типа обстановки закономерности развития и распределения карста, а следовательно, и оценка карстоопасности обладают специфическими чертами.

В определении степени закарстованности пород, а также скорости развития карстовых процессов и отдельных карстовых форм единая методика в конце 50-х гг. XX в. отсутствовала. Вместе с тем общепринятыми показателями перспектив пространственного распределения карстовых форм в массиве были поверхностные карстопроявления и трещины, поддающиеся учету, систематизации и анализу.

В современной специальной литературе исследователь может найти следующие методические комплексы оценки закарстованности:

- в результате подсчета поверхностных карстовых форм на единицу площади исследуемой территории. Данные анализируются в

зависимости от принадлежности района (участка) к тому или иному элементу тектонической структуры или участкам с различным геологическим строением, чаще к тому или иному элементу рельефа;

- в результате подсчета объемов естественной сработки уровня водоносного горизонта. В данном случае объем пустот принимается равным объему вытекающей воды;

- по результатам исследований с применением геофизических методов, как правило, электроразведки или сейсморазведки;

- по результатам изучения керна буровых скважин, условиям проходки скважин, шлифов закарстованных пород, прямым наблюдениям в горных выработках (шахтах, скважинах большого диаметра, карьерах, спелеообъектах и т.п.);

- в результате установления зависимости между закарстованностью и водопроницаемостью;

- по результатам определения фильтрационных свойств пород массива опытными откачками и нагнетаниями;

- в результате определения степени закарстованности по разности расходов водотока до входа в карстовый массив и при выходе из него.

Все перечисленные варианты оценки прямо или косвенно отражают особенности геолого-структурного строения массивов, их гидродинамические особенности, основываются на понятиях о свойствах структуры карстового массива. В начале 70-х гг. все перечисленные положения были отражены в справочных изданиях для инженеров-геологов.

Анализ специальной литературы показывает, что в инженерно-карстологической практике сложились три типа оценки устойчивости территорий, предусматривающие различный уровень знаний о структуре исследуемых геологических объектов.

I тип, наиболее распространенный, закрепленный СНиП 1.02.07-87 [38] для целей районирования по результатам изысканий. Территория оценивается по количеству новых провальных форм в течение единицы времени (год) на единицу площади (км^2), а также по средним диаметрам провалов. Оценка по этим показателям является приближенной, в некоторой степени условной, поскольку, косвенно отражая структуру карстового массива, фактически не учитывает степень подготовки участков к провалообразованию, их внутренние, геологические особенности. Существуют и более точные модификации указанного метода, отражающие морфологические особенности провалов, зависящие от механизма провалообразования, который, в свою очередь, зависит от геологического строения участка, его гидрогеологических параметров.

II тип учитывает скорость современных карстовых процессов и степень их опасности на основе данных о водном балансе, гидродинамической зональности, интенсивности водообмена и степени минерализации

различных частей массива. Данный тип предусматривает приближенно-количественную оценку состояния элементов структуры массива.

III тип получил развитие в последние 15-20 лет и основан на применении вероятностно-статистических методов при учете связи «независимых» факторов карстообразования и карстопроявлений. Оценка территории в основном базируется на следующем принципе: интенсивность карстовых провалов пропорциональна плотности воронок и их размерам. Для эффективного применения вероятностно-статистических методов (ВСМ) необходимо основать прогноз на достаточно объективной модели карста оцениваемой территории, отражающей элементы строения массива и динамику их взаимодействия. При прогнозе опасен формальный подход, без учета, например, техногенных изменений действующих факторов, поскольку эффективность ВСМ возрастает в пределах относительно однородной среды карстопроявлений. ВСМ дают хорошие прогностические результаты при наличии данных долговременных стационарных наблюдений, особенно на уровне региональных прогнозов. К недостаткам оценки следует отнести то, что «независимые» факторы карстообразования практически не существуют [14].

Резюмируя, можно сделать следующие выводы:

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) и при использовании любой разновидности оценочных методов резко повышается при условии применения 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 50-начала 60-х гг. XX столетия и вошедшие практически во все справочники и нормативные документы.

1.4. Общие положения оценочно-прогностических действий

Основу оценочно-прогностических действий в отношении закарстованных территорий составляют положения, получившие развитие в теории инженерно-геологического прогноза. Элементы научного предвидения присутствуют во всех видах карстологических исследований - глобальных, региональных, локальных, детальных. Исследования направ-

лены на установление общих, региональных, специфических или частных обстановок (соответственно масштабу исследования), в которых реализуется карстовый процесс. Более того, наибольшая часть исследований, особенно в региональном и инженерном карстоведении, выполняются с целью прогноза масштабов, интенсивности и направленности (динамики) карстового процесса. Прогнозный характер исследований на закарстованных территориях связан с необходимостью их безопасного инженерного освоения. Карстологический прогноз развивается как в теоретическом, так и практическом аспектах, что соответствует задаче инженерной геологии в целом, как ее сформулировал И.В. Попов [33]. Он в теоретическом аспекте задачи выделил *изучение динамики земной коры в связи с инженерной деятельностью человека*, а в практическом - *прогноз взаимодействия инженерного сооружения с геологической средой*.

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. В связи с этим нельзя не согласиться с В.В. Толмачевым и Ф. Ройтером в том, что «прогнозирование карста должно быть основано на полном понимании условий карстования» [39].

Понятие «карстологический прогноз» можно сформулировать как **научно обоснованное предсказание условий и факторов состояния, последовательности и механизма развития карстового массива в целом или его отдельных элементов, включая карстовые формы**. Наличие двух форм существования объекта - «состояния» и «развития» определяется использованием в теории геосистем понятий «квазистатическая геосистема» и «динамическая геосистема» [3].

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. Данное положение соответствует концепции инженерно-геологического прогноза с точки зрения системного подхода [4]. Традиционный (практический) прогноз позволяет установить состояние и свойства элементов системы в конкретный момент времени. Прогноз динамического состояния и свойств геосистемы позволяет предсказывать особенности ее движения на период времени. В ряде случаев не-

маловажное значение, наравне с состоянием и свойствами элементов, приобретают тенденции и развития связей элементов систем.

В инженерной геологии используются прогнозы трех классов: устанавливающие, ретроспективные и перспективные. Целесообразно и применительно к карстологическому прогнозу придерживаться данного деления (табл. 1).

Устанавливающий (предположительный) прогноз применяется для выявления общих черт геологических и других условий, возможности реализации в них геологических (инженерно-геологических) процессов на основе анализа имеющегося и поступающего фактического материала. При данном прогнозе ведущим является метод аналогий.

Таблица 1

Характеристики карстологических прогнозов

Класс	Планируемый результат	Временной признак	Характер анализа	Уровень исследований	Этапы инженерных работ (масштаб)
Устанавливающий	Выявление общих черт существующих условий развития процесса	Безотносительный, бессрочный	Качественный, качественно-количественный по признакам-факторам	Глобальный, региональный, локальный	Этапы планирования и ранние стадии проектирования (1:100 000 1:200 000 и мельче)
Ретроспективный	Восстановление условий и факторов событий геологического прошлого	Бессрочный	Качественный, качественно-количественный по признакам-факторам	Глобальный, региональный, локальный	
Перспективный	Обоснование возможности возникновения геологических событий	Срочный	Количественный по ведущему фактору или группе факторов	Локальный, детальный	Проектирование и инженерно-геологические (карстологические) исследования (1:50 000-1:25 000 и крупнее)

Ретроспективный прогноз применяется при восстановлении условий и факторов возникновения и развития событий, имевших место в геологическом или историческом прошлом.

Перспективный прогноз, наиболее важный для инженерной практики, предназначен для обоснования возможности возникновения собы-

тий, не проявившихся ранее на исследуемом участке. Прогнозируется возникновение конкретных геологических и инженерно-геологических процессов или явлений в результате прямого или косвенного техногенного влияния на массив [30].

В соответствии с отношением к временному классификационному признаку прогнозы делятся на безотносительные, срочные и бессрочные [4].

Безотносительные ко времени и бессрочные (долговременные) позволяют учесть тенденции изменения факторов или свойств природной или природно-техногенной систем без указания времени достижения системой в целом определенной критической ситуации к анализируемому свойству или фактору. На ранних этапах инженерно-геологических (инженерно-карстологических) работ эти виды прогнозов, как правило, имеют качественный характер и чаще всего применяются при оценочно-прогностических мероприятиях глобального, регионального, реже локального, уровней.

Срочные прогнозы (заблаговременные - годы, годовые или сезонные; краткосрочные - месяцы, дни; экстренные - часы, минуты, по Е.П. Емельяновой [13]) позволяют получить точный результат при условии количественного контроля ведущего фактора процесса, его учета методами статистики. Срочные прогнозы возможны, если карстовый массив подвержен техногенному влиянию, но при этом должны быть использованы данные, определяющие характер и интенсивность ведущего техногенного фактора (например, величину стока бытовых или промышленных вод, его интенсивность, периодичность; механическую или химическую агрессивность вод и др.). Применительно к карстовым массивам методы срочных прогнозов практически не разработаны.

По определению В.Д. Ломтадзе [22], необходимыми методами инженерно-геологического прогноза являются естественно-исторический, экспериментальный, геологического подобия, моделирования, вероятностно-статистический и расчетно-теоретический. Методы, используемые при карстологических исследованиях, практически сопоставимы с методами инженерно-геологического прогноза.

В.М. Кутепов и В.Н. Кожевникова [21 на основе обобщения опыта карстологических исследований выделили следующие методы: 1) инженерно-геологического анализа; 2) инженерно-геологических аналогий; 3) вероятностно-статистические (аналитические); 4) моделирования; 5) стационарных режимных наблюдений. В приведенном комплексе *инженерно-геологический анализ занимает положение основы*. Он предполагает изучение условий развития карста, закономерностей распространения закарстованности, скорости карстового процесса и распределения карстовых и сопутствующих явлений, как на поверхности, так и в массиве, а также изучение основных условий и факторов развития деформационных процессов, нарушающих устойчивость территории.

Объединим методы, используемые в практике карстологического прогноза, в группы, каждая из которых призвана выполнять специфическую задачу.

Эмпирико-теоретическая группа основана на использовании (обобщении) эмпирического материала в свете теоретических представлений при установлении закономерностей развития процесса на генетическом и историко-геологическом уровнях. Материалом для прогнозирования служат результаты комплексных или специальных полевых исследований. При прогнозировании используются методы, например, таких смежных геологических наук, как тектоника, геоморфология, динамическая геология, региональная геология. Совокупность методов определяет историко-геологический прогнозный подход. Данный подход оправдывает себя при установлении закономерностей развития и проявления естественных геологических процессов, позволяя сформулировать концептуальные, базовые положения эволюции любого геологического объекта. Результат представляет собой концептуальную модель эволюции объекта. Модель при исследовании природно-техногенных систем дополняется данными, отражающими техногенное влияние на структуру объекта в целом и взаимоотношения её элементов.

Модельно-теоретическая группа базируется на использовании механико-математических теоретических моделей точных наук (механики, гидродинамики и др.). Необходимыми условиями моделирования являются тождественность модели и объекта, надежность расчетных показателей. Данные условия затрудняют применение прогноза применительно к природным процессам вследствие многофакторности последних, часто труднооценимых количественно.

Вероятностно-статистическая группа основана на применении методов математической статистики, теории информации.

Группа сравнительного прогнозирования основана на применении метода аналогий. Сходимость объектов по существенным (например, генетическим) признакам обеспечивает сходство данных объектов и по второстепенным признакам. Сравнимые признаки обеспечиваются количественными характеристиками. Так, опыт изысканий для гидротехнического строительства свидетельствует о том, что часто сравнительное прогнозирование дает более эффективные результаты, нежели новые расчеты или лабораторное моделирование, что обусловлено огромным опытом возведения сооружений данного типа [24, 30].

Среди инженеров-геологов и карстоведов нет единого мнения о том, какие факторы имеют наибольшее влияние на карстовый процесс и какое количество факторов необходимо учесть, чтобы получить достоверную картину. В результате анализируется их произвольный набор.

Несомненно, что использование сравнительных признаков-факторов (индикаторов) качественных или количественных весьма субъективно. Тем не менее, зачастую данный метод является единственным для предсказания структуры и свойств карстовых массивов.

Прогнозирование подчиняется определенным правилам, используемым в достаточно четкой последовательности [4, 30]. Эти правила, используемые в практике инженерно-геологического прогноза, обязательны к применению и при карстологическом прогнозе. Рекомендуются следующая последовательность прогнозных действий: 1) обосновываются и формулируются цели и задачи прогноза; 2) сопоставляются и накладываются различные классы, виды и группы признаков; 3) методические группы прогнозов разрабатываются исходя из особенностей массивов и степени их изученности; 4) проверяется точность, обоснованность, достоверность и заблаговременность прогнозной схемы; 5) по мере выполнения прогноз корректируется исходя из результатов обработки исходной информации, поступления новых данных о массиве и инженерном объекте.

Вследствие многофакторности не все геологические и инженерно-геологические процессы поддаются точному количественному прогнозу. На практике повсеместно используется качественная или качественно-количественная оценка как природного, так и природно-техногенного карста как процесса с массой сопутствующих явлений, часто динамичных, катастрофических.

Качественная или качественно-количественная оценка карста может быть проведена на любом этапе инженерных работ. На этапах планирования и ранних стадиях проектирования сооружений при этом используются элементы пространственного (регионального) качественного прогноза. При проектировании и изысканиях прибегают к оценке, содержащей элементы пространственно-временного (локального) качественно-количественного прогноза. Содержание самой оценки определяется видом хозяйственной деятельности, его влиянием на структуру массива, существующими и возможными геологическими и инженерно-геологическими процессами. Оценка может быть общей в случае разнообразного использования территории или специальной, предусматривающей отношение к конкретному виду деятельности [4].

Основой количественной оценки служат стационарные или режимные наблюдения. Подобные наблюдения, позволяющие устанавливать динамику развития карстового процесса на фоне структурных особенностей массива, а также механизмы образования и развития карстовых явлений (например, провалов) с использованием экспериментально-лабораторной базы организовывались практически на протяжении всей истории отечественного карстоведения. Например, в 30-х гг. с целью изучения карста в условиях разработки угля шахтным способом в интенсивно дислоцированном районе Западного Урала одной из первых была создана Кизеловская карстовая лаборатория. Кунгурский карстовый стационар был организован для изучения динамики крупного спелеообъекта - Кунгурской ледяной пещеры, карста Урала и Предуралья. Более 30 лет велись ежегодные наблюдения за переформированием закарстованных берегов Камского водохранилища, что позволило создать основу

прогноза этого процесса. Экспериментальная база Дзержинской карстовой лаборатории позволила ей занять лидирующее положение в разработке методов прогноза карстовых деформаций провального типа. Одним из последних организован инженерно-геологический полигон, созданный в рамках выполнения комплексных исследовательских работ на газопроводах предприятия «Пермтрансгаз». Полигон включает участок (1649-1653км) магистральных газопроводов Ужгородского коридора и полутораклометровую зону примыкания к нему в районе п. Красный Ясыл (Ординский район Пермской области). Цель создания полигона – отработка систем противокарстовой защиты, поиск оптимальных видов карстологического прогноза и стабилизации карстового процесса для предотвращения аварий на магистральных газопроводах. Полигон создан в 1995г. при непосредственном содействии Института карстоведения и спелеологии РГО.

Экспедиционные научные исследования специализированных организаций и лабораторий позволили выяснить многие особенности гидрологии, гидрогеологии, геологии как отдельных спелеообъектов, так и многих карстовых регионов. Среди систематических исследований подобного рода широтой охвата проблем и глубиной научного подхода выделяются работы, осуществленные под руководством Г.А. Максимовича и К.А. Горбуновой в Предуралье и на Урале, В.Н. Дублянского - в Крыму и на Кавказе, А.Б. Климчука - в Приднестровской Подолии, на Тянь-Шане, Р.А. Цыкина - в Сибири. Систематические научные исследования внесли существенный вклад в разработку теоретической базы общего и специального карстологического прогноза. Обобщающие работы по карстовым регионам, например, такие как «Гидрогеология карста Альпийской складчатой области юга СССР» [12], «Карст восточной части Алтае-Саянской складчатой области» [43], «Карст и пещеры Пермской области» [5] и десятки других, написанные отечественными и зарубежными карстоведами, имеют прогностический характер, поскольку освещают региональные пространственные, а в ряде случаев и пространственно-временные закономерности развития карста, генетические особенности развития процесса в природных и природно-техногенных обстановках. Как правило, основными результатами подобных работ являются схемы карстологического районирования, используемые в дальнейшем для более детальных и точных оценок. Практически все региональные обобщения содержат элементы устанавливающего и ретроспективного прогнозов, а по комплексу примененных методов относятся к эмпирико-теоретической группе. В развитии перспективных прогнозов с использованием вероятностно-статистического и сравнительного прогнозирования применительно к закарстованным массивам большую роль сыграли специальные инженерно-геологические службы Гидропроекта и Госстроя. Опыт этих организаций время от времени обобщается в специальных рекомендациях, нормативных документах, реже - в монографиях [24, 34, 38, 39 и др.]. Вместе с тем следует отметить, что ис-

пользование вероятностно-статистических методов локального прогноза не всегда эффективно и на сегодняшнем уровне практически не требует от исследователя знаний законов развития карста, поскольку методы обеспечивают количественный контроль не ведущего фактора процесса, а его поверхностных проявлений - воронок, провалов. Данная группа методов дает косвенную оценку динамики систем типа «карстовый массив - инженерное сооружение».

В любом случае карстологические наблюдения в соответствии с общей методикой проведения оценки способствуют выполнению задач различных этапов инженерно-геологических работ (оптимизации, планирования, проектирования, строительства, управления). При этом расчетные параметры карстового процесса, способствовавшие предсказанию возможного местоположения, скорости и ориентировочного времени опасных проявлений, получены в случаях решения частных или локальных задач. Получение универсальных показателей или параметров - дело будущего. Расчетные параметры карстового процесса для региональной оценки не разработаны, но используются количественные (площадные или объемные) показатели карста. Качественная региональная оценка по сравнению с количественной частной или локальной не теряет актуальности даже при отсутствии универсальных наборов признаков-факторов, поскольку: **1) отражает строение и свойства таких сложных неоднородных систем, как карстовые массивы, 2) способствует разделению карстового массива как неоднородной системы на квазиоднородные подсистемы, в которых карстологические параметры можно представить в виде оценки средних значений.**

Глава 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЙОНИРОВАНИЯ И ТИПИЗАЦИИ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

2.1. Типы районирования и их основные характеристики

Оценка устойчивости территории любого ранга предполагает генетико-морфологическое районирование как способ выявления закономерностей пространственного (в ряде случаев пространственно-временного) распределения (изменения) условий проявления процесса, а следовательно, условий освоения данной территории. В инженерной геологии генетико-морфологическое районирование разделено на региональное, типологическое и смешанное.

Региональное районирование, согласно схеме И.В. Попова, предполагает деление территории на соподчиненные таксонометрические единицы (регион, провинция, зона, область, район, участок). Каждая последующая таксонометрическая единица получается от деления на части предыдущей на основе определенных признаков. Так, в соответствии

с широко используемым делением регион выделяется на основе структурно-тектонических данных, область - геоморфологических, район - по сходному геологическому строению, участки - по интенсивности экзогенных геологических процессов, гидрогеологическим условиям, составу и строению пород. Провинции в пределах регионов, зоны в пределах провинций выделяются на основе класса грунтов (с жесткими связями, без жестких связей, их сочетания) и их состояния, обусловленного фазовым содержанием в них воды. При любом делении части являются территориально целостными [41].

Типологическое районирование сводится к выделению среди многообразия обстановок определенного числа их типов, характеризующихся, по определению Е.М. Сергеева [37], наиболее общими и существенными признаками инженерно-геологических условий.

Смешанное - содержит действия как регионального, так и типологического районирования.

Помимо генетико-морфологического в инженерной геологии применяется оценочное районирование, предполагающее интегральную оценку условий по системе признаков-факторов.

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

В карстоведении и инженерном карстоведении, в частности, нет единой позиции в использовании таксонов, определении их соподчиненности и границ [8]. В силу сложившихся представлений, критерием которых является практика картирования и районирования, а также установленная специфика развития карста, при карстологическом районировании чаще всего используется следующий таксонометрический ряд: страна-провинция-область-район-участок-поле. В основе карстологического районирования в качестве критериев выделения таксонов изначально, от работ И.В. Попова, М.А. Зубащенко, В.А. Варсанофьевой, Г.А. Максимовича, К.А. Горбуновой и др., приняты геологическое строение территории, состав, мощность, состояние и обводненность карстующихся пород, картирование которых позволяет выявлять неоднородность развития карста, многообразие его проявлений, а в итоге определяет прогнозные возможности карт и схем.

Карты масштабов 1:1 000 000 и мельче отражают глобальную структуру карстопроявлений, несут качественную справочно-информационную нагрузку применительно к странам, провинциям, областям и реже районам, выделяемым на фоне геоструктур первого-третьего порядков и их элементов.

Карты масштабов 1:500 000 - 1:100 000 отражают региональные закономерности развития и распределения карста на фоне областей и районов, выделяемых в пределах элементов геоструктур третьего по-

рядка и крупных структур четвертого порядка, с учетом литологических типов карстующихся пород, гидродинамической, гидрохимической и геоморфологической ситуаций. Такие карты обладают количественно-качественными критериями типизации исследованной территории.

Карты масштабов 1:25 000 - 1:50 000 содержат информацию о локальных закономерностях карстопроявлений и условиях развития процесса. Участки, выделяемые на фоне районов, локализируются в пределах мелких структур высоких порядков (от четвертого и выше) или элементов (фрагментов) крупных структур третьего-четвертого порядков и являются геоморфологически обособленными, характеризующимися гидродинамическими, гидрохимическими, геолого-литологическими показателями состояния и строения массива, а также морфолого-морфометрическими качественно-количественными показателями закарстованности в пределах карстовых полей.

Карты масштаба 1:10 000 и крупнее отражают частные закономерности карстопоявлений на фоне геолого-гидрогеологической ситуации в пределах структурных элементов массивов или их сочетаний (отдельных пластов, погребенных форм рельефа, локальных тектонических нарушений, зон дробления, литолого-минералогических неоднородностей, трещиноватости, элементов рельефа и др.). В данном случае сравнение обстановок проводится по качественно-количественным критериям горно-породного уровня с учетом морфолого-морфометрических количественных показателей карстовых полей или отдельных форм, конкретных целей инженерного освоения территории, конкретного типа инженерного сооружения.

Существует определенная последовательность операций при районировании: 1) выявление в пространстве территориальных элементов, обладающих какими-либо общими признаками, 2) установление границ территории распространения выявленных (однородных по комплексу признаков) элементов, 3) их картографирование, 4) описание.

Выявление при районировании однородных территориальных элементов непосредственно связано с типизацией обстановок развития карста. Оценка закарстованных территорий - со специальной типизацией, предполагающей анализ карстообразующих условий, являющихся в данном случае наиболее существенными для строительства и эксплуатации инженерных объектов. При типизации предлагается следующая последовательность операций: 1) определение границ объекта, 2) его изучение, 3) выбор классификационных признаков, 4) выбор степени их неразличимости (шаг деления признака), 5) иерархическое подразделение признаков (по степени значимости), 6) деление объекта по принятым признакам, 7) построение схемы типизации [41].

Как было отмечено, при оценке закарстованных территорий наиболее приемлемым является смешанный тип районирования, комплексированный с региональным и типологическим, содержащий элементы инте-

гравной оценки условий по системе признаков (сравнительно-оценочное районирование).

Помимо качественного интегральная оценка условий имеет количественный характер (по результатам использования метода «взвешенных баллов»). Суть метода состоит в том, что показатель комплексной оценки $C_{(z)}$ Z-й элементарной территориальной единицы (ЭТЕ) определяется по совокупности признаков следующим образом:

$$C_{(z)} = \sum_{i=1}^n k_i t_i(z),$$

где $t_i(z)$ - значение i-го признака в пределах Z-й ЭТЕ, k_i - вес i-го признака.

Значение i-го признака в ЭТЕ определяется на основе балльных оценочных шкал. Построение балльных шкал - процесс, зависящий полностью от компетентности исследователя. Вопрос о «весе» частных признаков решается с помощью корреляционного, множественного регрессионного, факторного анализов.

Основным недостатком всех способов взвешивания является то, что равноценность условий в различных точках не может зависеть от закономерностей сочетания показателей на всей этой территории.

Г.Н. Дублянская и В.Н. Дублянский, подчеркивая необходимость поиска более корректных подходов к инженерно-геологической оценке карста, развивают, несомненно, перспективную идею использования балльных шкал. Сравнительно-оценочное районирование, применяемое авторами, не избавлено от недостатков, отмеченных выше, поскольку, как и в инженерной геологии в целом, в инженерном карстоведении в частности, отсутствует согласованность: 1) в количестве и типах оценочных факторов, 2) в выборе типа (конфигурации площади) ЭТЕ (или ОТЕ - «операционно-территориальная единица»), 3) в методических приемах построения балльных оценочных шкал. Вместе с тем в работе этих авторов дана твердая и объективная методологическая основа инженерно-геологической оценки закарстованных территорий, а именно: **четыре основных условия развития карста** и наборы (20 формулировок) оценочных критериев-факторов, благодаря которым эти условия реализуются [8].

Принимая во внимание вышеизложенное, очевидно, что при отсутствии единых методологических подходов при построении карт (картографировании), районировании и типизации закарстованных территорий наиболее сложным является установление 1) критериев проведения границ таксонов, 2) объективно необходимого числа оценочных признаков, а также 3) границ использования конкретного признака.

2.2. Границы таксонов

Объективной основой районирования закарстованных территорий на разных уровнях исследований (от обзорного до крупномасштабного)

для различных целей является геоструктурно-геоморфологическая принадлежность выделяемых таксонов.

Разноуровненные геоструктурно-геоморфологические ситуации определяют различия в обстановках карстообразования: распространении, залегании, литологическом составе, обнаженности и водопроницаемости пород; характере подземного и поверхностного стоков, а зачастую и в зонально-климатических особенностях территориальных единиц.

При районировании карста неизменно возникает проблема определения критериев установления и проведения границ таксонов (высшего ранга - страна, провинция; среднего - область, район; низшего - участок, поле). Анализ опыта районирования указывает на существование следующих критериев выделения границ карстовых районов как базовой единицы: по долинам рек, по водоразделам, по контакту «осадочный чехол-фундамент», по поднятию фундамента, по контакту карстующихся и некарстующихся пород, по внешним и внутренним контурам карстующихся пород, по заданной мощности некарстующихся пород, по контуру тектонических складчатых структур, по крупным тектоническим нарушениям дизъюнктивного характера [7].

При карстологическом районировании используется не один, а комплекс критериев. В любом случае проведение границ достаточно условно, поскольку границы между таксонами не укладываются в линию (учитывая масштаб районирования), а представляют линейные зоны, ширина которых зависит от изученности территории, особенно в случаях переходных литологических разностей (сульфатно-карбонатных, сульфатно-терригенных, карбонатно-терригенных и др.).

Внутри границ одноранговых таксонов должен соблюдаться принцип однородности структурно-тектонических либо геолого-геоморфологических, либо гидрогеологических условий, либо генетической обусловленности карстовых форм и активности карстообразования. В идеальном случае - однородность всех перечисленных составляющих.

Необходимо отметить, что при оконтуривании территорий высшего и среднего рангов границы между таксонометрическими единицами далеко не однородны. Они, как правило, содержат комплекс таксонов низшего ранга, выделение границ которых в данных условиях крайне затруднительно 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. На наш взгляд, один из альтернативных вариантов «площадного» карстологического районирования - выделение деструктивных разномасштабных «контактных зон» интенсивного развития карста - зон эндо- и экзоэнергетической разгрузки.

2.3. Сочетание карстующихся и некарстующихся отложений

Анализ принципиального строения массивов, содержащих растворимые породы, позволяет выделить в их составе типичные литологические комплексы, пространственное сочетание которых часто определяет степень устойчивости закарстованной территории.

Типичные комплексы отложений:

а) **покровные**: рыхлые несвязные, мягкие связные и их сочетания - отложения аллювиального, элювиально-делювиального, обвального карстового генезиса, перекрывающие с поверхности коренные породы;

б) **некарстующиеся**: твердые скальные или относительно твердые полускальные и их сочетания - породы осадочного, вулканогенного, магматического, метаморфического генезиса;

в) **фрагментарно карстующиеся**: твердые скальные и относительно твердые полускальные породы осадочного, вулканогенного, магматического, метаморфического генезиса и их сочетания с подчиненными прослоями, линзами или прожилками карстующихся пород; включениями отдельных кристаллов или агрегатов относительно легко растворимых минералов (как правило, класса карбонатов);

г) **карстующиеся**: твердые скальные и твердые полускальные породы осадочного или метаморфического генезиса - карбонатные (известняки, доломиты, мергели, мраморы, мел), сульфатные (гипс, ангидрит), галоидные (каменные и калийные соли), их переходные разновидности и литологические сочетания. Некоторые исследователи к этому комплексу относят конгломераты с карбонатным цементом, силикатно-карбонатные породы с проявлениями брадикарста и карстовую брекчию [11, 44].

В зависимости от геоструктурной обстановки изменяется степень дислоцированности выделенных комплексов.

Сочетание комплексов в геологическом разрезе определяет тип обстановок карстообразования или тип карста в зависимости от литологии и сочетания отложений, перекрывающих карстующиеся породы (табл. 2). Необходимо отметить, что тип обстановок, в которых проводятся изыскания, а также комплекс пород, в которых ведутся исследования, будут определяться глубиной изучения разреза, которая, в свою очередь, обусловлена глубиной возможного влияния (динамического или статического) элементов техногенной нагрузки. В некоторых случаях обстановка определяется только одним из выделенных комплексов.

Приведенные в табл. 2 типы сочетания отложений сопоставимы с основными типами карста, предлагаемыми для практики инженерно-геологических изысканий [8]: I - открытый, II - покрыто-перекрытый, III - перекрытый, IV - покрытый.

Любой из выделенных типов в зависимости от специфики инженерного сооружения может быть оценен как «относительно опасный». Учитывая современные представления о критериях карстоопасности (наличие и образование провальных форм больших поперечных разме-

Сочетание комплексов отложений закарстованных массивов

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

ров), закрепленных в нормативных документах, наиболее опасны с позиции развития внезапных провалов ситуации, когда на карстующихся породах залегают осадочные полускальные слои (II и III типы) или когда карстующиеся толщи выходят на поверхность и представлены пере-слаиванием отложений разной интенсивности растворения (карбонатно-сульфатный, сульфатно-карбонатный и другие типы). В этом случае (один из вариантов I типа) трещиноватая кровля способствует избирательному выщелачиванию с формированием арок или плоских перекрытий, создающих предпосылки для катастрофического обрушения. Особенно возрастает карстоопасность в пределах территорий с активным проявлением неотектоники.

2.4. Признаки карстологической оценки

Выбор тех или иных признаков определяется целью районирования. При оценке 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 какого-либо процесса, используют те его факторы, определенное сочетание которых обуславливает степень активности и частоту проявлений процесса на единице площади или объема исследуемого массива.

Результаты научных исследований, выполненных в 1991 г. большим коллективом карстоведов в рамках государственной научно-технической программы «Безопасность», позволили разделить факторы на три группы:

- **группа глобальных факторов** - поля космического и земного происхождения, а также общие направления изменения природной среды и климата Земного шара;

- **группа региональных факторов** - геотектоническая обстановка, вертикальные геотектонические движения, климат и палеоклимат,

предшествующие континентальные этапы развития анализируемой территории;

• **группа локальных факторов** - геоморфологические, структурно-геоморфологические, геолого-структурные и гидрогеологические признаки, а именно - уклон земной поверхности, глубина вреза современных долин в растворимые породы, тип речных террас, ориентировка речной долины (по отношению к структурам напластования, тектоническим нарушениям, складчатым структурам), элементы древнего рельефа (древние долины и эрозионные врезы, наличие излучин), литологический состав пород (величина растворимости, содержание и состав нерастворимых примесей), генезис и фациальный состав растворимых пород, их мощность и структурно-текстурные особенности (величина первичной пористости, тип цемента и характер слоистости), мощность, состав и сплошность покрова нерастворимых пород и разделяющих пластов, пространственное положение контактов пород разной растворимости, контактов растворимых и нерастворимых пород, тектонические нарушения (порядок, мощность зон повышенной трещиноватости, интенсивность трещиноватости, пространственная ориентировка трещин), положительные складчатые структуры (порядок, величина, ориентировка), трещиноватость (интенсивность, раскрытость, прерывистость трещинной решетки, наличие протяженных трещин), условия питания и разгрузки, характер движения и уровенный режим подземных вод в растворимых породах в сфере дренирующего влияния речной долины и в перекрывающих отложениях (величина инфильтрационного питания, уклоны уровня подземных вод, амплитуды сезонных колебаний уровня, длина путей фильтрации, направления движения, минерализация, химический состав и температура подземных вод, наличие органических кислот).

В приведенном перечне учтены только естественные признаки-факторы. Очевидно, что в каждом конкретном случае он может быть дополнен факторами, обусловленными техногенной спецификой района. Тем не менее, перечень содержит объективный набор факторов, анализ которых должен быть положен в основу карстологических исследований в пределах любой закарстованной территории.

Оценка карстоопасности может быть проведена с достаточной степенью надежности на качественной основе с выделением участков трех категорий: *весьма активного развития современных процессов, активного развития процессов и тех, где развитие процессов исключается* [21]. Такое деление эффективно в случае однофакторной оценки, например, по техногенному влиянию на активизацию процесса. Непременными условиями при этом должны быть небольшая площадь и высокая степень изученности территории.

В случае больших площадей исследований и (или) средней (низкой) степени изученности карста, гидрогеологической и литологической неоднородности карстующихся и перекрывающих отложений возникает необходимость оценки по комплексу качественных признаков-факторов

Признаки качественной оценки карстоопасности

Уровни организации карстовых массивов (ранг таксонов)	Вероятность карстопоявлений			
	низкая (I)	средняя (II)	высокая (III)	очень высокая (IV)
А ГЛОБАЛЬНЫЙ (высший: страна, провинция)	1. Геоструктурные			
	а) выступы фундамента	а) платформенные структуры I порядка б) крылья синеклиз и антеклиз	а) зоны складчатости б) внешние зоны антиклинориев в) блоковые зоны сочленения структур I порядка (платформ и прогибов) г) зоны глубинных разломов	а) сеймотектонические пояса б) пересечения глубинных разломов
	2. Литологические			
	а) карбонаты платформенных (современных морских и континентальных обстановок)		а) сульфаты и галоиды переходных, карбонаты геосинклинальных обстановок	
Б РЕГИОНАЛЬНЫЙ (средний: область, район)	1. Геоструктурные			
	а) внутренние антиклинории	а) синклиналильные зоны б) депрессии в) своды г) крылья крупных отрицательных структур II порядка	а) валы б) зоны сочленения структур II-III и IV порядков в) зоны региональных разломов	а) внешние антиклинории б) межгорные впадины в) пересечения региональных разломов г) зоны надвиговых нарушений д) сейсмоактивные разломы

Уровни организации карстовых массивов (ранг таксонов)	Вероятность карстопроявлений			
	низкая (I)	средняя (II)	высокая (III)	очень высокая (IV)
	2. Тектонического режима			
	а) устойчивое опускание территории	а) нейтральный тектонический режим	а) чередование режимов поднятия и опускания территории	а) устойчивое поднятие территории
	3. Литологические			
	Литология карстующихся отложений			
	а) прослои и линзы карбонатных, сульфатных, галоидных пород среди некарстующихся	а) карбонаты, их переслаивание с некарстующимися породами	а) сульфаты, переслаивание сульфатов и карбонатов	а) галоиды, переслаивание галоидов и сульфатов
	Мощность и макротекстуры карстующихся отложений			
	а) маломощные, тонкослоистые, плитчатые		а) средней мощности, среднеслоистые	а) мощные, толсто-слоистые
	Литология и тип перекрывающих отложений			
	а) водоупорные, плотные глины, массивные скальные не трещиноватые породы	а) глинистые и суглинистые с поровой проницаемостью рыхлого сложения	а) выветрелые коренные скальные, полускальные с трещинной проницаемостью б) обвально-карстовые	а) песчанистые, слабосвязные и несвязные с поровой проницаемостью, почвы
	Мощность перекрывающих отложений			
	а) мощные – более 50м	а) относительно мощные – 31-50м	а) маломощные – 11-30м	а) тонкие покровы – 1-10м или их отсутствие
	Тип сочетания карстующихся и перекрывающих отложений, их контакты			
	а) покрыто-перекрытый	а) перекрытый	а) покрытый б) приповерхностные зоны контактов карстующихся и некарстующихся пород	а) открытый
			в) зоны фациальных замещений карстующихся пород	

Признаки качественной оценки карстоопасности

Уровни организации карстовых массивов (ранг таксонов)	Вероятность карстопоявлений			
	низкая (I)	средняя (II)	высокая (III)	очень высокая (IV)
	4. Гидродинамические			
	а) область транзита карстовых вод б) зона глубинной циркуляции карстовых вод	б) зона горизонтальной циркуляции карстовых вод	а) область питания карстовых вод б) зона вертикальной нисходящей циркуляции карстовых вод	а) область разгрузки карстовых вод б) зона сифонной циркуляции карстовых вод в) зона колебаний уровней карстовых вод
В. ЛОКАЛЬНО-БЛОКОВЫЙ (низший: участок, поле)	1. Геоструктурные			
	а) осевые зоны синклиналей б) центральные части межразломных и межтрещинных блоков	а) крылья синклинальных и антиклинальных складок б) фрагменты региональных разломов в) периклинали и центриклинали мелких, осложняющих (вторичных) складок г) зоны дробления	а) сводовые части неотектонических поднятий б) осевые зоны линейных антиклиналей в) локальные активизированные разломы г) участки сейсмоактивных разломов	а) периферийные зоны межразломных и межтрещинных блоков б) пересечения локальных активизированных разломов в) трещины бортового отпора г) зоны трещиноватости
	2. Литологические			
	Вещественные разности карстующихся пород			
а) песчанистые	а) кремнистые, глинистые (глина, двуокись кремния до 30%)	а) чистые	а) очень чистые	

Признаки качественной оценки карстоопасности

Уровни организации карстовых массивов (ранг таксонов)	Вероятность карстопроявлений			
	низкая (I)	средняя (II)	высокая (III)	очень высокая (IV)
	Структурно-текстурные особенности карстующихся пород			
	а) микрозернистые, мелкозернистые, плотные	а) среднезернистые, пористые, слаботрещиноватые	а) крупнозернистые, пористо-кавернозные, трещиноватые	а) грубозернистые, пористо-кавернозные, сильнотрещиноватые
	3. Геоморфологические			
	а) древние водоразделы	а) русла рек	а) переуглубленные долины	а) лога
	б) высокие террасы	б) низкие террасы	б) склоны речных террас	б) суходолы
	Макрорельеф кровли карстующихся пород			
а) вершины останцов	а) склоны останцов	а) межостанцовые седловины	а) линейно вытянутые понижения (лога)	
4. Гидродинамические				
а) глубокое залегание горизонта карстовых вод	а) участки гидродинамической связи поверхностных и подземных вод	а) интенсивная вертикальная фильтрация из горизонта грунтовых вод в карстовые	а) участки динамического изменения уровней подземных вод б) вертикальные и латеральные зоны локализации подземного стока	

и количественных показателей закарстованности. Каждый из признаков оценивается в пределах элементарной территориальной единицы.

Признаки качественной оценки в инженерно-геологическом районировании делятся на две группы: региональные и зонально-геологические [41]. В методическом аспекте более рационально деление признаков-факторов карстообразования на группы по их принадлежности к условиям развития карста [18].

Из четырех общепринятых условий, необходимых для развития карста, два определяются как геоструктурно-литологические (наличие карстующихся пород и их проницаемость), два - как гидрогеологические (наличие движущихся вод и их способность к растворению).

Признаки качественной оценки карстоопасности в соответствии с логикой организации карстующихся массивов разделим на три класса: **А. ГЛОБАЛЬНЫЕ, Б. РЕГИОНАЛЬНЫЕ и В. ЛОКАЛЬНО-БЛОКОВЫЕ.** Классы признаков согласуются с принятыми рангами таксонометрического деления: высшим, средним, низшим. В пределах каждого класса целесообразно выделение групп 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) карстопоявлений: 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.

Многообразие обстановок развития карста затрудняет создание всеобъемлющего и объективного комплекса признаков, характерных для любых ситуаций. Вместе с тем, основываясь на принципиальных различиях обстановок, исключая не повторяющиеся от массива к массиву признаки, можно создать схемы качественной идентификации степени карстоопасности. Одна из таких схем, где основу каждого класса составляют геоструктурные признаки, представлена в табл. 3. Схема была использована автором при региональной оценке карстоопасности северной части Уфимского плато.

2.5. Количественные показатели оценки закарстованных территорий

Количественные показатели закарстованности, несмотря на их недостаточную унифицированность и разработанность, дают возможность (при условии их комплексирования с показателями качественной оценки) репрезентативного планирования детальных исследований и рационального освоения закарстованных территорий.

Таблица 4

Количественные показатели, используемые при инженерно-геологической оценке карста (по В.П. Костареву, 1979)

№	Показатель	Способ определения	Размерность	Область применения		
				Р	Л	Д
1	Плотность карстовых воронок	$\rho = \frac{N}{S}$	шт/км ² шт/1000км ²	**	****	***
2	Площадной коэффициент закарстованности	$K_S = \frac{S_B}{S} \cdot 100$	%	**	****	***
3	Интенсивность провалообразования	$P = \frac{n}{S \cdot t}$	шт./км ² год	**	****	**
4	Периодичность образования провалов	$T = \frac{S \cdot t}{n}$	км ² год/шт.	**	****	**
5	Среднегодовая поражаемость площади карстовыми провалами	$B = \frac{S_{np}}{S \cdot t} \cdot 100$	%/год	*	***	**
6	Условный возраст карстовых воронок	$T_B = \frac{p}{P}$	годы	*	***	**
7	Объемный показатель поверхностной закарстованности	$K_{VS} = \frac{V_B}{S}$	м	*	****	***
8	Среднегодовой прирост объема карстовых воронок	$v_B = \frac{V_B}{S \cdot t}$	м ³ /км ² год	*	****	**
9	Линейный коэффициент поверхностной закарстованности карстующихся пород	$K_m = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100$	%	**	****	***
10	Показатель поверхностной закарстованности карстующихся пород	$\Pi_m = \frac{K_m}{K_l}$	доли ед., ед.	**	****	***
11	Показатель глубинности карстовой воронки	$\Pi_h = \frac{h}{d}$	доли ед., ед.	**	****	****
12	Показатель формы карстовой впадины	$\Pi_\phi = \frac{h_{cp}}{S_0}$	доли ед., ед.	*	***	***
13	Обобщающий радиус гнезд и полей карстовых воронок (R)	Спец. методы	м	*	****	***
14	Радиус удаленности точек территории от карстовых воронок, провалов (R _v)	Спец. методы	м	*	****	***
15	Объемный коэффициент закарстованности	$K_V = \frac{V_n}{V} \cdot 100$	%	*	***	***

Количественные показатели, используемые при инженерно-геологической оценке карста (по В.П. Костареву, 1979)

№	Показатель	Способ определения	Размерность	Область применения		
				Р	Л	Д
Линейные коэффициенты закарстованности						
16	Внутренней	$K_l = \frac{\sum h_n}{\sum l} \cdot 100$	%	*	****	****
17	Открытой	$K_{lo} = \frac{\sum h_{оп}}{\sum l} \cdot 100$	%	**	****	****
18	Общей	$K = \frac{\sum h_n + \sum (m_0 - l)}{Cm_0} \cdot 100$	%	**	***	***
19	Коэффициент аномальности	$K_a = \frac{C_a}{C}$	доли ед.	***	***	***
Показатели плотности карстовых полостей						
20	Линейной	$\Pi_l = \frac{n_n}{0,01 \cdot l}$	шт./100 м	*	****	****
21	Площадной	$\Pi_s = \frac{n_n}{10^{-4} S}$	шт./10 ⁴ м ²	*	****	***
22	Объемной	$\Pi_v = \frac{n_n}{10^{-6} V}$	шт./10 ⁶ м ³	*	***	***
23	Показатель линейной плотности карстовых провалов	$\Pi_l = \frac{n_n}{L}$	шт./100 м	*	****	****
24	Коэффициент зональности	$K_z = \frac{Z}{C}$	доли ед., ед.	***	***	***
25	Коэффициент поглощения промывочной жидкости	$K_i = \frac{i}{C}$	доли ед., ед.	***	***	**
26	Интенсивность поглощения промывочной жидкости	-	м ³ /час м	***	***	**
27	Модуль подземного стока (M_u)	По общепринятой методике	л/с км ²	****	***	*
28	Показатель подземного стока	$\Pi_u = \frac{M_u}{M_s}$	доли ед., ед.	****	**	*
29	Коэффициент концентрации подземного стока	$K_k = \frac{Q_{cp}}{Q_{mod.}}$	ед., доли ед.	****	**	*
30	Модуль поверхностного стока (M_s)	По общепринятой методике	л/с км ²	****	**	*

Количественные показатели, используемые при инженерно-геологической оценке карста (по В.П. Костареву, 1979)

№	Показатель	Способ определения	Размерность	Область применения		
				Р	Л	Д
31	Удельный линейный водоприток в дрены (q_l)	Гидрологические методы	л/с·км	****	**	*
32	Коэффициент фильтрации	Откачки, наливов	м/сут	**	****	***
33	Скорость движения карстовых вод (V_w)	Геофизические и гидрохимические методы	м/сут	****	***	**
34	Коэффициент колебания дебитов карстовых источников	$R_Q = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$	единицы	***	***	*
35	Подземная химическая (карстовая) денудация (D)	Формулы Корбеля, Уильямса, Пулины и др.	м ³ /км ² год мкм/год	****	***	*
36	Активность современного карста	$A = \frac{V_p}{V} \cdot 100$	% за 1000 лет	****	**	*
37	Дефицит насыщения (X CaSO ₄)	По методике Зверева и др.	мг/л, %	****	****	****
38	Произведения активностей ионов Ca ²⁺ и CO ₃ ²⁻ ; Ca ²⁺ и SO ₄ ²⁻	Формулы фазового равновесия	n·10 ⁻⁵ – n·10 ⁻⁹	****	****	****
39	Коэффициент колебания минерализации карстовых вод	$K_M = \frac{M_{\max}}{M_{\min}}$	единицы	****	****	**
40	Градиент выщелачивания	$q_m = \frac{M_L - M_O}{0,01L}$	мг/л·100м	****	***	**
41	Коэффициент геохимической неоднородности	$K_g = \frac{\sum g}{C}$	единицы	**	**	**
42	Содержание элементов-индикаторов Na, K и др. в карстующихся породах	Химический и спектральный анализы	%	**	*	*
43	Показатель пустотности Корбеля	$\Pi_K = L_c JH$	n·10 ⁶ м ³	**	**	*
44	Плотность пещер	$f_c = \frac{N_c}{0,001 \cdot S}$	шт./1000км ²	****	*	*
45	Густота пещерных ходов	$D_c = \frac{\sum L_c}{S}$	м/км ²	****	**	*
46	Удельный объем карстовых полостей (пещер)	$v_c = \frac{V_c}{L_c}$	м ³ /м	****	**	**

Примечания:

N – количество карстовых воронок; S – закарстованная площадь; S_B – площадь карстовой воронки; n – количество карстовых провалов; t – время образования n провалов; $S_{ПР}$ – площадь карстовых провалов; V_B – объем карстовых воронок; m_0 – полная мощность карстующихся пород; m_1 – средняя зафиксированная мощность карстующихся пород; h – глубина карстовой воронки; d – диаметр карстовой воронки; $h_{ср}$ – средняя глубина карстовой воронки; S_0 – глубина положения центра тяжести карстовой впадины; $V_{П}$ – объем карстовых полостей; V – объем карстующихся пород; $h_{П}$ – вертикальный размер карстовой полости; l – длина образующей керна или мощность закарстованной породы, принятая в расчет; $h_{оп}$ – вертикальный размер незаполненной карстовой полости; C_a – количество скважин, вскрывших карстовые полости; C – общее количество скважин; Q – дебит карстового источника; V_P – объем растворенной породы, выносимой подземными водами из массива за 1000 лет; M_0 – начальная минерализация; M_L – конечная минерализация на отрезке L ; g – количество геохимических аномалий; L_C – длина пещерной системы; J – расстояние между двумя наиболее удаленными точками по перпендикуляру к основной оси; H – разница отметок между высокой и низкой точками пещерной системы; N_C – количество пещер; V_C – объем пещеры.

Области применения показателей:

Р - при региональных мелко- и среднемасштабных исследованиях; **Л** – при локальных исследованиях, крупномасштабном картировании и районировании; **Д** – при детальном крупномасштабном картировании, при изысканиях под отдельные здания и сооружения.

Использование:

*- редкое; ** - ограниченное; *** - значительное; **** - широкое.

Наличие более 50 показателей карста [20] не снижает субъективности количественной оценки, поскольку зачастую авторы не приводят их терминологических определений, 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 при региональном, локальном и детальном районировании, но находят применение практически все (табл. 4).

При региональных исследованиях наиболее часто употребляются 46% приведенных в табл. 4 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. Практически все они могут быть определены по результатам и в процессе комплексных геолого-гидрогеологических исследований различных масштабов.

Широкое использование количественных показателей, несомненно, повышает объективность выделения разнородных в карстологическом отношении территорий, но вместе с тем не снимает проблем субъективности в оценке карстоопасности, поскольку значения показателей зависят от эффективности буровых работ, характеризуют достаточно об-

ширные территории, как правило, без четких границ и зависят от спелеоизученности площадей.

Помимо общих проблем использования количественных показателей, отмеченных выше, существуют проблемы, связанные с объективностью ряда традиционных показателей, применяемых достаточно широко [8].

Следовательно, в каждом конкретном случае очевидна необходимость анализа применимости показателей с учетом современных знаний о карстовом процессе, требований объективности районирования, типизации, картирования. Является необходимым и уточнение базовых понятий, используемых при картировании, районировании, типизации закарстованных территорий.

Глава 3

РАЙОНИРОВАНИЕ И ТИПИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ КАРСТООПАСНОСТИ

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

В разделе дан пример анализа литологии закарстованных пород, характера и мощности покровных отложений, приуроченности районов к деструктивным зонам и др., сочетающимся с изменением региональных уровней подземных вод и влиянием динамических антропогенных нагрузок (транспорт, колебание уровней грунтовых вод, городская застройка и др.). При районировании использована схема качественной оценки карстоопасности, представленная в табл. 3.

Анализ карстоопасности проведен для северной оконечности Уфимского плато и прилегающих к ней территорий. Данная площадь характеризуется интенсивным развитием сульфатного, карбонатно-сульфатного, карбонатного и спорадически распространенного карста каменных солей. В административном отношении территория относится к южным районам Пермской области, а в геоструктурном - захватывает восточную окраину Русской платформы (с запада) и западную окраину Предуральского прогиба, иными словами, относится к зоне сочленения геоструктур I порядка. В карстологическом отношении, согласно районированию Г.А. Максимовича [26], территория принадлежит двум провинциям: восточной Приуральской части Русской платформы (докембрийская платформа) и Предуральского краевого прогиба (палеозойская складчатость).

При районировании карста в масштабе 1:500 000 К.А. Горбуновой и др.[5] здесь выделено пять районов на основе их приуроченности к «крупным или средним структурам ..., где развиты карстующиеся породы». Для выделенных районов, в соответствии с литологией карстующихся отложений характерна различная активность карста (А, % за ты-

сячелетие). Так, для карбонатного карста Уфимского вала А составляет 0,022, для сульфатно-карбонатного карста Иренского района (западное крыло вала) и территории г.Кунгура – 0,5, а для сульфатного и карбонатно-сульфатного карста Кишертско-Суксунского района (восточное крыло вала) – 0,9 [29]. Активность карстового процесса проявилась и в плотности карстопроявлений (рис. 1).

3.1.1. Краткая характеристика карстовых районов

Характеристика карстовых районов приведена по результатам исследований кафедры гидрогеологии и динамической геологии Пермского университета (ПГУ), гидрогеологической лаборатории Л.А. Шимановского (ПГУ), треста ВерхнеКамТИСИЗ, Кунгурского карстового стационара, а также по материалам инициативных исследований автора.

Западная часть территории принадлежит **Иренскому району** преимущественно сульфатного (гипсового) и карбонатно-сульфатного карста. Район занимает западное пологое крыло Уфимского вала (Уфимской макробрахиантиклинали). Интенсивно карстуются гипс-ангидриты с прослоями известняков и доломитов кунгурского яруса. Эти породы находятся в зоне активного водообмена, а подстилаются плитчатыми доломитами филипповского горизонта кунгурского яруса. К западу гипс-ангидриты перекрываются известняками, мергелями и песчаниками соликамского горизонта уфимского яруса, с востока ограничены зоной карстовых брекчий.

В карстующихся породах развиты разобщенные водотоки и водоносные горизонты (дебиты родников составляют 0,1-40 л/с, иногда до 100 л/с, состав воды сульфатно-кальциевый, минерализация 2-3 г/дм³). Воды соликамского горизонта и карстовых брекчий имеют спорадическое распространение. На закарстованных участках осуществляется скрытый перелив вод из перекрывающих отложений и подток из пограничных пород в горизонты карстующихся гипс-ангидритов.

Карст относится к открытому, закрытому, участками перекрытому типам. Формы его проявления весьма разнообразны и многочисленны: карры на обнаженных склонах долин рек, сложенных гипсом; поноры, колодцы, шахты в гипсах, воронки, провалы, пещеры, ниши, каверны и полости. На участках закрытого карста повсеместно под покровом аллювиально-делювиальных образований залегают обвальное-карстовые отложения. Мощность обвальное-карстовых отложений увеличивается от магистральных рек к водоразделам. Она также связана с составом коренных пород: в пределах распространения соликамских отложений - от 5 до 110м, иренской свиты - от 5 до 117м, филипповского горизонта - до 34м. С увеличением мощности обвальное-карстовых отложений до 40-50м и более плотность карстовых воронок резко уменьшается. Они полностью исчезают на водоразделах.

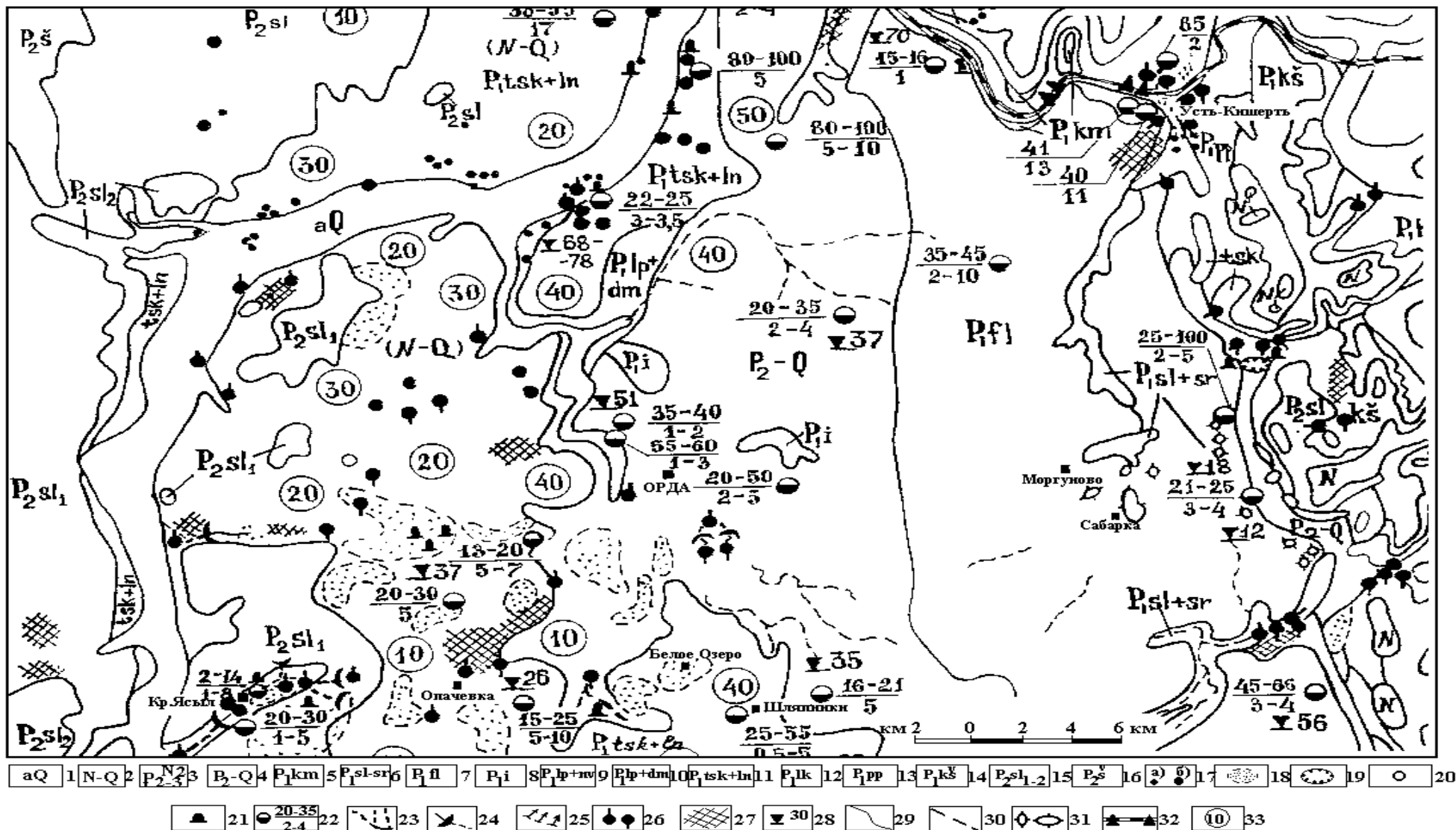


Рис. 1. Фрагмент карты закарстованности северной части Уфимского плато

Условные обозначения к рис. 1:

Покровные отложения: 1-плейстоцен-голоценовый аллювиальный комплекс речных террас (суглинки, супеси, пески, галечники) мощностью от 5 до 30м; 2-неоген-четвертичные глинисто-обломочные покровы водоразделов и их склонов (глыбы, щебень, дресва известняка и доломита с глинистым заполнителем элювиально-делювиального и обвального-карстового генезиса) на сульфатно-карбонатных толщах мощностью до 60м; 3-эоцен-плиоценовый заполнитель озерных котловин и карстовых депрессий (огнеупорные глины, кварцевые пески, куски песчаника и конгломерата) мощностью до 35м; 4-ольховская карстовая брекчия (глыбы известняка, цементированные известковистой глиной) мощностью до 40м.

Карстующиеся карбонатные породы: 5-кремневые и глинистые слоистые известняки камайской свиты саргинского горизонта артинского яруса нижней перми мощностью 40-80м; 6-сылвинские водорослевые рифы и саргинские мшанковые рифы мощностью до 150м; 7-доломиты, доломитизированные известняки, известняки филипповской свиты филипповского горизонта кунгурского яруса нижней перми мощностью до 60м.

Карстующиеся сульфатно-карбонатные породы: 8-гипсы и ангидриты с пачками карбонатных пород иренского горизонта кунгурского яруса нижней перми мощностью 110-150м; 9-гипс-ангидриты ледяно-пещерской и глинистые доломиты неволинской пачек иренского горизонта кунгурского яруса мощностью 30-50м; 10-гипс-ангидриты ледяно-пещерской и демидковской пачек иренского горизонта мощностью 55-65м; 11-кристаллические известняки туюской и гипсы лунежской пачек иренского горизонта мощностью 80-85м.

Терригенные толщи с прослоями карстующихся пород: 12-алевролиты с прослоями известняка, песчаники, глины лекской свиты филипповского горизонта кунгурского яруса нижней перми мощностью 55-85м; 13-тонкоплитчатые мергели, глины, глинистые известняки, линзы гипса и песчаника поповской свиты иренского горизонта кунгурского яруса мощностью до 70-80м, в основании свиты прослойки каменной соли; 14-песчаники, аргиллиты, алевролиты кошелевской свиты иренского горизонта. В основании свиты прослойки каменной соли; 15-плитчатые мергели, доломиты, песчаники с прослоями гипса и селенита соликамского горизонта уфимского яруса верхней перми мощностью от 20 до 100м; 16-песчаники, алевролиты и глины с прожилками селенита и кристаллами гипса шешминского горизонта уфимского яруса верхней перми.

Карстовые формы и водопроявления: 17-провалы с поперечником а) до 3м, б) 3-10м и более; 18-поля карстовых воронок; 19-карстовые депрессии; 20-отдельные карстовые воронки с поперечником более 5м; 21-пещеры; 22-местоположение карстовых полостей, вскрытых буровыми скважинами: в числителе интервал, в котором встречены полости (м, от устья скважины), в знаменателе вертикальные размеры полостей(м); 23-суходолы; 24-места полного поглощения поверхностных водотоков; 25-участки частичного поглощения поверхностных водотоков; 26-источники с дебитом более 50л/с; 27-обводненные трещинные зоны; 28-глубина залегания уровня трещинно-карстовых вод (м, от устья скважины).

Прочие обозначения: 29-стратиграфические границы; 30-предполагаемые разрывные нарушения; 31-рифогенные структуры; 32-местоположение крупных железнодорожных аварий; 33-мощность покровных отложений, м

При мощности обвального-карстовых отложений до 10-25м плотность карстовых воронок на склонах речных долин и в оврагах достигает 160-220 шт/км². Аналогичная плотность воронок наблюдается на участках выходов гипс-ангидритов на поверхность.

Для территории района характерны эрозионно-карстовые и карстовые лога, карстовые котловины вдоль выходов гипсовых пачек, карстовые депрессии по границам карбонатов и гипс-ангидритов. Характерны карстовые реки, имеющие мешкообразные долины и фрагменты подземного течения. Часть поверхностного стока этих рек переходит в подземный за счет поглощения в трещинах и понорах. В районе известно более 60 пещер в гипсах и ангидритах, реже - доломитах. Большинство пещер имеет протяженность менее 100м.

Северная часть оцениваемой площади представлена территорией г.Кунгура и его окрестностей, входящих в **Нижнесылвенский карстовый район**. Здесь геологические условия аналогичны Иренскому району, но к востоку иренский горизонт фациально замещается мергелями, песчаниками, известняками с линзами и прослоями гипса и каменной соли поповской свиты. Меньшее распространение имеет ольховская брекчия.

Гидрогеологические условия характеризуются четвертичным и со-ликамским водоносными комплексами неравномерной водообильности. На участках, где отсутствует карст, воды залегают на глубинах 7-28м. Источники с дебитами 0,1-0,5л/с приурочены к песчаникам. На закарстованных участках породы обезвожены. Воды гидрокарбонатно-кальциевые (в загипсованных породах сульфатно-гидрокарбонатные) с минерализацией менее 0,5г/дм³. Иренские отложения обводнены спорадически, к ним приурочены трещинные и карстовые воды. Зоны локальной водообильности разгружаются в виде источников, дебит которых достигает 100л/с.

Кунгурский участок расположен в месте слияния рек Сылвы, Ирени, Шаквы, Бабки. Здесь в сульфатных породах зафиксировано более 4050 карстовых форм (воронки и котловины). Участок характеризуется интенсивной техногенной нагрузкой, что приводит к более интенсивному провалообразованию. Карстовые деформации (часто до 2-3м в поперечнике, или категории Г по СНиП 1.02.07-87) на поверхности III террасы в г.Кунгуре обусловлены наличием зоны вертикальной нисходящей циркуляции в карстующихся сульфатных породах. В районе известно 76 пещер в гипсах и ангидритах. Наиболее крупная и известная - Кунгурская ледяная.

Центральная часть оцениваемой площади соответствует **району карбонатного карста осевой части Уфимского плато**. Зона активного водообмена в районе представлена известняками и доломитами верхов артинского яруса и нижней части кунгурского яруса. Коренные породы перекрыты делювиальным, элювиальным и аллювиальным комплексами отложений. Встречаются глинисто-песчанистые отложения

озерных котловин и карстовых депрессий неоген-палеогенового возраста.

Подземные воды района залегают на глубинах 70-100м. Они питаются за счет атмосферных осадков и перехода части локализованного поверхностного стока в подземный через трещины, поноры. Ось подземного водораздела проходит по восточной границе зоны распространения обвального-карстовых отложений, а разгрузка вод происходит в зонах фациального замещения карбонатов на терригенные породы восточного крыла вала, в долине р.Сылвы на севере района и в гипс-ангидритах Иренского района на западном крыле вала. В очагах разгрузки суммарные дебиты родников достигают 500л/с.

Карст района относится к открытому и закрытому типам. Суходолы, карстовые лога, овраги, воронки, полости, пещеры и гроты являются наиболее типичными формами проявления карста. Средняя плотность воронок 15шт/км².

Район карбонатного карста Уфимского плато с востока граничит с ***Кишертским (Кишертско-Суксунским) районом преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста.*** Он соответствует узкой контактной зоне карбонатов Уфимского плато и терригенных пород с прослоями и линзами известняка, гипса, каменной соли лекской, поповской, кошелевской свит филипповского и иренского горизонтов кунгурского яруса. Участками в разрезе присутствуют обвального-карстовые сцементированные отложения, мощность которых достигает 45м. Для него характерны сылвенско-саргинские рифогенные постройки артинского яруса.

Район является местом разгрузки карстовых вод Уфимского вала. Воды локализованы вдоль трещинных и закарстованных зон, литологических контактов. Пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды зоны горизонтальной циркуляции плато разгружаются в аллювий, брекчию или выветрелые гипсы, где преобразуются в сульфатно-кальциевые с минерализацией до 2,6г/дм³. Общий расход воды всех сульфатных источников Кишертского района более 800л/с, а гидрокарбонатных - более 1700л/с.

В районе преобладают закрытый (подальювиальный) и перекрытый типы карста, характеризующиеся крупными провалами, воронками, котловинами, депрессиями, карстовыми реками, озерами. Полости, целиком заполненные глиной и щебнем, частично и незаполненные, вскрытые при бурении, достигают 15м и более по вертикали. Образование провалов больших размеров (свыше 20м в поперечнике или категории А по классификации СНиП 1.02.07-87) нередко вызвано наличием зоны сифонной циркуляции с пресными, весьма агрессивными к сульфатным породам карстовыми водами, поступающими в массив гипс-ангидритов с Уфимского плато.

Восточная часть оцениваемой территории приурочена к Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба. Здесь карбонаты ар-

тинского яруса погружены под карбонатно-терригенные и терригенные породы, в основании которых залегают линзы гипсов и каменной соли.

К зоне активного водообмена приурочены воды аллювиальных, элювиально-делювиальных отложений, а также трещинно-грунтовые, трещинно-пластовые воды кунгурского терригенного комплекса. Водообильность определяется степенью трещиноватости и закарстованности карбонатных, сульфатных соляных линз и прослоев. Характерна приуроченность зон водообильности к трещинным зонам валлообразных структур, по которым происходит подток солоноватых и соленых вод к поверхности. Крупные родники (до 50л/с) выходят на поверхность в зонах контактов мергелей, известняков и гипсов. Родники с дебитами более 100л/с приурочены к конгломератам и конгломерато-брекчиям. Химический состав вод меняется от пресных ($0,5\text{г/дм}^3$) гидрокарбонатно-кальциевых до слабосоленых сульфатно-кальциевых (до 3г/дм^3) и хлоридно-натриевых при наличии в разрезе гипсов и солей.

Осинцевский карстовый район, расположенный в пределах восточной части территории, приурочен к своду Тулумбасско-Тисовского вала. Здесь карстуются линзы гипса и соли под толщей терригенных отложений. Воронки, провалы и котловины прослеживаются узкой полосой с севера на юг.

3.1.2. Районирование территории по признакам карстоопасности

В пределах оцениваемой территории выделено пять районов, расположение которых соответствует ориентировке геоструктурных границ первого порядка и простирацию литологически разнородных зон (рис.2).

Для территории характерно меридиональное чередование районов с меняющейся степенью вероятности карстопроявлений от очень низкой до очень высокой.

Б-1. Район низкой степени карстоопасности. Ограничивает территорию с запада, приурочен к западному погружению пород Пермско-Башкирского свода и Верхнекамской мегавпадины (структуры II порядка). В литологическом отношении территория района представлена чередующимися пачками доломитов, алевролитов, гипс-ангидритов, глин с прослоями известняков соликамского горизонта уфимского яруса верхней перми. Местами в подошве горизонта залегают прослои карбонатной брекчии (обломки доломита и известняка), что соответствует локальному растворению верхней лунежской пачки гипсов подстилающего иренского горизонта. Соликамские отложения фрагментарно перекрыты слабозагипсованными песчаниками, алевролитами и глинами шешминского горизонта. Карстовый процесс обусловлен влиянием карстовых вод иренского горизонта.

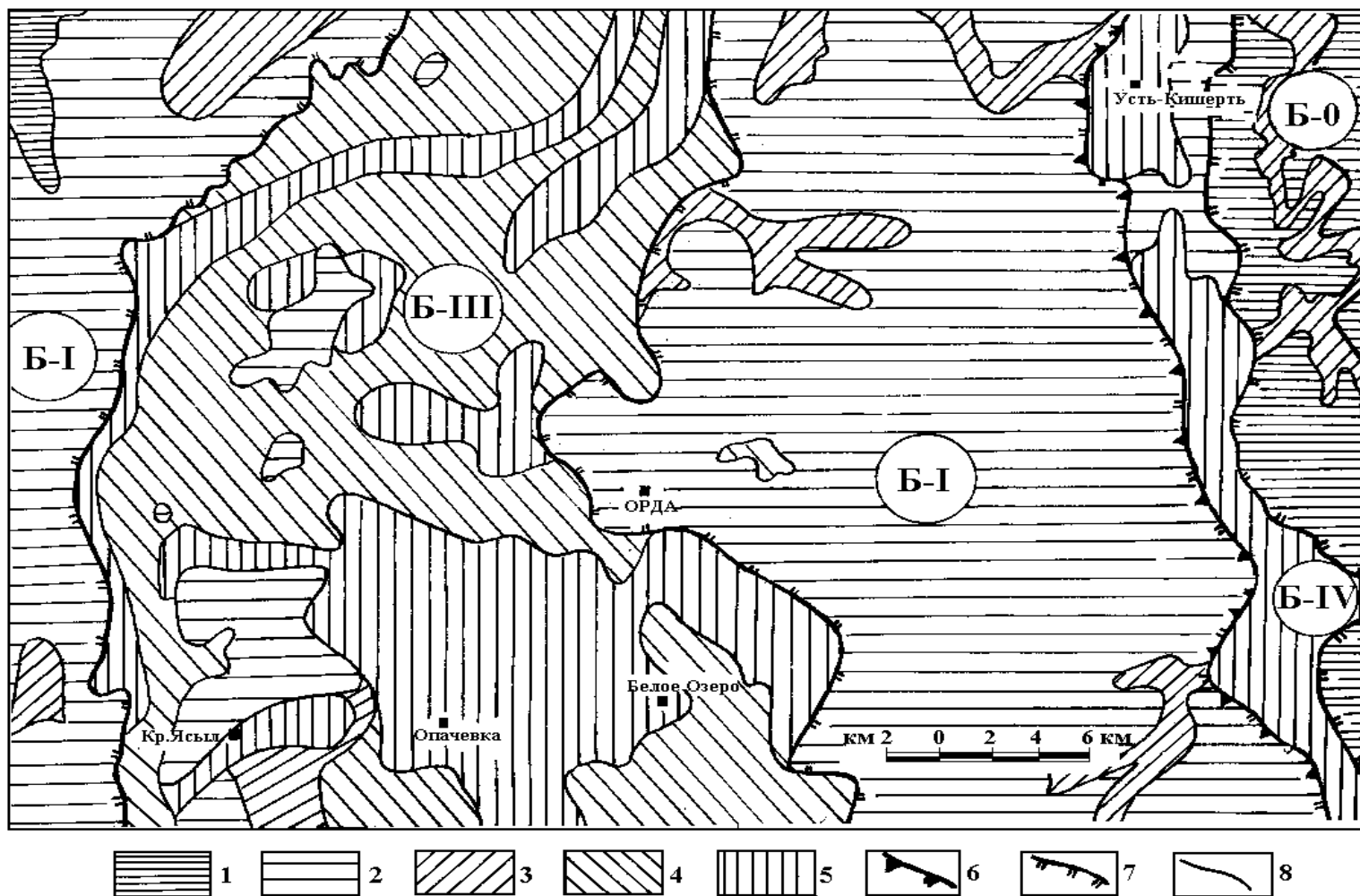


Рис.2. Фрагмент карты районирования территории северной части Уфимского плато по признакам карстоопасности. **Участки и районы с различной степенью карстоопасности:** 1 - очень низкой (0), 2 - низкой (I), 3 - средней (II), 4 - высокой (III), 5 - очень высокой (IV). **Границы таксонов:** 6 - высшего ранга (А) - провинций, 7 - среднего ранга (Б) - районов, 8 - низшего ранга (В) - участков. Пояснения в тексте

В пределах района выделены участки безопасные (очень низкая степень), с низкой и средней степенью карстоопасности.

В-0. *Практически безопасные участки*, соответствующие площадям распространения некарстующихся шешминских отложений.

В-I. *Участки низкой степени карстоопасности* соответствуют распространению соликамских отложений вне зависимости от их геоморфологической принадлежности.

В-II. Выделено три разновидности участков со *средней степенью карстоопасности*: 1) участки разгрузки трещинных и карстовых вод соликамского горизонта (склоны речных долин); 2) площади зон водообильности (присклоновые участки); 3) участки, где мощность неоген-четвертичных покровов составляет 10м. В их пределах зафиксированы провальные явления (водораздельные и присклоновые участки). Восточной границей района является линия литологического замещения верхнепермских пород соликамского горизонта на нижнепермские иренского горизонта.

В-III. *Район высокой степени карстоопасности* приурочен к западному крылу Уфимского вала. Его площадь ограничена выходами переслаивающихся сульфатно-карбонатных пород иренского горизонта кунгурского яруса нижней перми, покрытых элювиально-делювиальными, аллювиальными и обвальными-карстовыми отложениями переменной мощности.

В пределах района выделены участки с низкой, средней, высокой и очень высокой степенью карстоопасности. Карст района обусловлен деятельностью трещинно-карстовых вод иренского горизонта.

В-I. *Участки с низкой степенью карстоопасности* приурочены к площадям спорадического распространения соликамских отложений. В пределах участков данного типа карстопроявления не зафиксированы.

В-II. *Участок средней степени карстоопасности* приурочен к периферийной части площади соликамских отложений (присклоновая зона) с интенсивным воронкообразованием.

В-III. *Участки высокой степени карстоопасности*, как правило, приурочены к пачкам карбонатов, подстилаемых гипс-ангидритовыми пачками в пределах высоких террас и присклоновых зон при мощности покровов от 10 до 30м. К восточной границе района, которая проведена по выходам карбонатной карстовой брекчии, мощность покровов увеличивается до 40-50м. Плотность поверхностных карстопоявлений низкая. Опасность представляет локальное растворение кровли подстилающих гипс-ангидритов, что фиксируется по отдельным воронкам больших диаметров (до 12-20м) и полостям различной степени заполнения на глубинах 25-55м с вертикальными размерами до 5м в центральных частях водоразделов и более 5м в присклоновых зонах водоразделов. Большинство полостей расположено над уровнем подземных вод, который залегает на глубинах 60-70м.

В-IV. Участки очень высокой степени карстоопасности в литологическом отношении представлены гипсами и гипс-ангидритами, обнажающимися на склонах речных долин, покрытых рыхлыми отложениями мощностью до 10м.

Карст обусловлен деятельностью трещинно-карстовых вод, циркулирующих на относительных водоупорах – подстилающих карбонатных пачках.

Большее количество участков приурочено к склонам и присклоновым зонам речных долин. Участки на водораздельных пространствах соответствуют площадям резкого уменьшения толщины покровов (10м и менее). В пределах участков сконцентрированы все деформационные поверхностные карстопроявления, точки разгрузки подземных вод и зоны водообильности. Подземные формы карста с вертикальными размерами от 1 до 10м вскрываются при бурении на глубинах 15-30м от поверхности, а их положение соответствует интервалу изменений глубин залегания установившихся уровней подземных вод (20-40м).

На севере района очень высокая степень карстоопасности обусловлена не только природными, но и антропогенными факторами. Здесь, в зоне примыкания к железнодорожному полотну и на полотне, наблюдается провалообразование, возникающее в результате динамических нагрузок, а в пределах г.Кунгура и поселков-спутников плотное провалообразование обусловлено не только динамическими и статическими нагрузками, но и резким колебанием уровней грунтовых вод в связи с бытовыми и промышленными утечками.

Подземные полости района расположены не только в интервале 15-55м от поверхности земли. В присклоновых зонах его северной части вскрыты полости с вертикальными размерами до 5м на глубинах 80-100м, что соответствует контакту сульфатно-карбонатных пород иренского горизонта и подстилающих доломитов филипповского горизонта. На этом же уровне (80м) зафиксирован и горизонт трещинно-карстовых вод. Полости зоны регионального транзита подземных вод не представляют опасности для наземных сооружений, но, как правило, обвальное карстовое образования в сводах полостей способствуют гидродинамической связи разноуровневых подземных вод и, как следствие, активизации приповерхностного карстообразования.

Необходимо отметить, что район расположен в зоне трансрегиональной тектонической нарушенности, выделенной по данным глубинного сейсмозондирования. Ширина зоны около 10км, а ее восточная граница проходит по меридиану г.Кунгура. На уровне фундамента и пород нижнего палеозоя зона интерпретируется как разлом, отделяющий на краю древней платформы блок, лежащий в основании Предуральяского прогиба. На северном продолжении трансрегиональной зоны зафиксированы эпицентры землетрясений.

К востоку меняется литологический тип карста с сульфатного и сульфатно-карбонатного на карбонатный.

Б-I. Район низкой степени карстоопасности приосевой части Уфимского вала. В границах района карстовые явления связаны с карбонатами филипповского горизонта кунгурского яруса и зоной карбонатных карстовых брекчий, формирование которых продолжается от позднепермской эпохи. В геоморфологическом отношении район занимает площадь Уфимского плато с абсолютными отметками рельефа 250-300м, испытавшего поднятие с позднего палеогена.

В пределах района выделены участки с очень низкой, низкой и средней степенью карстоопасности.

В-0. Участки с очень низкой степенью карстоопасности приурочены к понижениям, заполненным верхнеэоценовыми песчано-глинистыми отложениями мощностью до 30-35м.

В-I. Участки с низкой степенью карстоопасности составляют основной фон территории. Поверхностные карстопроявления практически отсутствуют. Подземные формы карста – полости различной степени заполнения, имеющие вертикальные размеры от 1 до 10м (чаще 2-4м), которые фиксируются при бурении на глубинах от 30 до 50м, а в некоторых случаях - от 15 до 60-100м. Подземные воды залегают на глубинах 50-70м. В ряде случаев воды оказываются подвешенными, что обуславливает относительно неглубокое положение полостей.

Неглубоко расположенные полости (15-16м) малых размеров (до 1м) приурочены к присклоновым зонам водоразделов. Большая часть вскрытых полостей тяготеет к западной границе района - контакту брекчий с сульфатно-карбонатными породами иренского горизонта. Территория распространения ольховской брекчии, являясь, по сути, переходной зоной от карбонатного карста к сульфатному, формируется разбросанными и подвешенными карстовыми водами. Процесс формирования брекчий не закончен, что и определяет концентрацию полостей в этой зоне.

В-II. Участки средней степени карстоопасности приурочены к долинам рек и суходолам, где концентрация водотоков определяется трещинными зонами. Для них характерны поверхностные проявления карста в виде карстовых логов с цепочками воронок в тальвегах, небольших полей воронок в присклоновых зонах и на склонах, небольшие пещеры в трещинах бортового отпора. Поверхностный сток временных или постоянных водотоков частично или полностью поглощается и переходит в подземный локализованный поток.

Б-IV. Район очень высокой степени карстоопасности территориально приурочен к зоне сочленения Уфимского вала (Русская платформа) и Юрюзано-Сылвенской депрессии (Предуральский прогиб). Район вытянут узкой полосой вдоль границы плато, выраженного в рельефе. Замещение карбонатно-сульфатных пород вала терригенными породами прогиба создает условия для напорной разгрузки пресных с высокой сульфатной емкостью гидрокарбонатных вод, сопровождающейся смешиванием с сульфатными водами, перемещающимися вдоль

уступа плато. Большую часть территории занимают участки с очень высокой степенью карстоопасности. Участки высокой, средней и низкой степени имеют подчиненное значение.

В-I. *Участки низкой степени карстоопасности* соответствуют выходам под покровные отложения терригенных толщ поповской свиты иренского горизонта с подчиненными прослоями и линзами гипсов, ангидритов, известняков, залегающих на глубинах от 60м и более.

В-II. *Участки средней степени карстоопасности* приурочены к выходам под покровные отложения кавернозных известняков туйской пачки, ниже которых возможно нахождение гипс-ангидритов нижней части сульфатно-карбонатного разреза иренского горизонта.

В-III. *Участок высокой степени карстоопасности* приурочен к зонам предполагаемых локальных разломов южной части района. Участок является резкой литологической границей карбонатного (рифогенного) типа разреза плато и терригенного разреза депрессии.

В-IV. *Участки очень высокой степени карстоопасности* обладают большой плотностью карстопроявлений, среди которых провальные формы имеют значительные размеры. Опасность представляют интенсивно карстующиеся слои и линзы гипс-ангидритов иренского горизонта, залегающие на глубинах 20-50м от поверхности под рыхлыми неоген-четвертичными отложениями или слоями мергелей. Для участков, помимо полей карстовых воронок и карстовых депрессий, характерны зоны водообильности, точки их разгрузки, подземные полости, вскрываемые при бурении в интервалах глубин от 20 до 100м. Для южных участков, кроме того, характерно пересечение локальных разрывных нарушений.

Б-0. *Район очень низкой степени карстоопасности* ограничивает с востока оцениваемую территорию и территориально приурочен к Юрюзано-Сылвенской депрессии, выполненной терригенными породами.

В-II. *Участки средней степени карстоопасности* условно делятся на западные и восточные.

Западные участки приурочены к выходам туйских известняков в склонах речных долин. Они находятся в зоне замещения сульфатов поповской свиты на терригенные слои. К осевой части района замещение завершается.

Восточные участки приурочены к сводовой части Тулумбасско-Тисовского вала, где под терригенной толщей в результате деятельности трещинных вод кунгурского терригенного водоносного комплекса карстуются линзы гипсоангидритов и каменных солей. В пределах участков поверхностные формы карста (воронки, депрессии) приурочены к зонам водообильности.

3.2. Крупномасштабная карстологическая оценка «закрытых» территорий (на примере территории Чаньвинского промузла)

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. Для специалистов, не знакомых с закономерностями распределения форм карста, спецификой карстового процесса, вся территория участка представляется провалоопасной и непригодной для освоения. В свою очередь, для специалистов-карстоведов трудность решения такой задачи заключена именно в площадной ограниченности территории, где приблизительно одинаковые горно-породные и гидрогеологические условия, геоморфологическая невыраженность поверхности, отсутствие выходов карстующихся пород на поверхность требуют применения нетрадиционного анализа, нетрадиционных подходов. В такой ситуации очень сложно выбрать доминирующие признаки-факторы оценки.

Решение будет полностью зависеть от объема фактического материала, представленного по результатам буровых и геофизических работ, при этом необязательно проведенных именно с целью карстологической оценки.

Картографической основой оценочно-прогностических построений служит карта фактического материала проведенных инженерно-геологических работ с территориальной привязкой карстопроявлений. Она должна сопровождаться геолого-литологическими разрезами, данными послойной документации отложений и пород, встреченных при бурении или проходке шурфов. В качестве индикаторов степени карстоопасности исследователь имеет возможность проанализировать и сравнить по участкам: 1) неоднородность литологического состава отложений, перекрывающих карстующиеся породы, 2) их водопроницаемость и 3) неравномерность мощностей, 4) структурно-текстурную неоднородность (по латерали и глубине залегания) карстующихся пород, 5) элементы рельефа кровли карстующихся пород, 6) элементы наземного рельефа, 7) пространственное соответствие 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 [2, 31].

Морфологические особенности поверхностного или закрытого (палео-) карстового макрорельефа в основном обусловлены двумя видами неоднородности строения массива: литологическим (структурно-

текстурным) и структурно-тектоническим (чаще трещинным). В результате пересечения слаботрещиноватых зон и зон повышенной трещиноватости на поверхности карстовых массивов образуются три типа участков: сильнораздробленные, среднераздробленные и слабораздробленные. Морфологически сильнораздробленным участкам соответствуют депрессии, среднераздробленным - межостанцовые седловины, слабораздробленным - останцы [2].

Очевидно, что в преобладающем количестве случаев рельеф кровли карстующихся пород является отражением трещинной структуры массива, дифференцирующей степень водопроницаемости, локализующей поверхностные и подземные воды, что в конечном итоге определяет интенсивность растворения и локализацию полостей в пласте и воронок в перекрывающих отложениях.

Следует отметить, что крупномасштабное карстологическое районирование с использованием особенностей погребенного карстового рельефа в качестве базового признака равнозначно эффективно как для массивов сульфатного, сульфатно-карбонатного, так и карбонатного состава. Особенности распределения форм карста, определяющие неоднородность устойчивости территорий относительно элементов погребенного карстового макрорельефа, практически едины для перечисленных литологических типов. Наибольшей плотностью полостей характеризуются склоны останцов и депрессии (особенно линейного типа), на вершинах останцов, как правило, полости отсутствуют.

Для территорий, сложенных гипс-ангидритами, перекрытыми мергелями и обвальными карстовыми отложениями, соотношение элементов погребенного карстового рельефа, полостей и воронок достаточно ярко показано А.И. Печеркиным (1986). Данное соотношение положено в основу крупномасштабного геолого-карстологического районирования, выполненного им на примере микрорайона 1-2 в пос. Полазна (побережье Камского водохранилища) [31].

В качестве иллюстрации к тезису о закономерностях соотношения элементов погребенного рельефа, полостей и воронок в перекрывающих отложениях рассмотрим результаты анализа условий развития карста и закономерностей распределения его форм на территории промышленной зоны Чаньвинского месторождения известняков.

Участок промзоны приурочен к западному крылу Центральной Кизеловской антиклинали Западноуральской зоны складчатости.

Непосредственно через месторождение проходит зона Басковского надвига. С востока территория месторождения ограничена Журавлинским надвигом. По данным дешифрирования аэрофотоснимков в региональном плане месторождение расположено в пределах тектонического блока, простирающегося с юго-запада на северо-восток. В гипсометрическом отношении блок опущен относительно соседнего северного блока.

В пределах промзоны интенсивно закарстованы карбонатные породы турнейского яруса каменноугольной системы, представленные частично окремненными известняками от серого до черного цвета, от скрыто- до крупнокристаллической структуры, в различной степени трещиноватыми. Трещины заполнены глинистым материалом или кальцитом. Участками поверхность известняков представлена выветрелыми и сильновыветрелыми разностями (рухляками). В пределах зоны известняки полностью покрыты делювиально-элювиальными грунтами четвертичного возраста. Их литологический состав территориально изменчив и представлен глыбово-щебенистыми и дресвяными грунтами с глинистым, суглинистым или доломитовомучнистым заполнителем.

Учитывая гипсометрическое положение тектонических блоков, закономерно допустить, что в региональном плане существует переток подземных трещинно-карстовых вод с северо-запада на юго-восток, перпендикулярно простиранию блоков. В локальном плане переток происходит по зонам трещин, сопровождающих внутриблоковые разломы, что приводит к расширению приразломных трещин и формированию карсто-суффозионных воронок и карсто-эрозионных логов в четвертичных отложениях. Верхняя часть пород месторождения до 90м в глубину не имеет постоянного водного уровня и относится к гидродинамической зоне вертикальной нисходящей циркуляции с рассеянным инфильтрационным и сосредоточенным (через поноры) инфилюационным сезонным питанием. Относительно постоянный уровень трещинно-карстовых вод устанавливался в различные годы на глубинах от 50 до 90м, что соответствует абсолютным отметкам 140-180м. Севернее и северо-восточнее промышленной зоны установившийся уровень подземных вод соответствует отметкам 160-200 м.

Затрудненная инфильтрация атмосферных осадков через четвертичные отложения обуславливает появление верховодки на глубинах 0.5-4.0 м в периоды интенсивного снеготаяния или продолжительных дождей.

Кизеловский район карбонатного карста, к которому относится участок, в целом характеризуется широким развитием поверхностных и подземных карстовых форм: воронок с понорами, логов, полостей и пещер. Междуречье рек Костанок и Капюшка (левые притоки р.Чаньвы), на котором расположена промзона, в карстологическом отношении не является исключением.

Последовательное, геологически длительное развитие структурно-тектонических элементов массива отразилось на особенностях рельефа кровли турнейских известняков, а также на особенностях распределения делювиально-элювиальных отложений и закарстованности относительно форм диссонантного рельефа (рис. 3).

Интенсивное развитие поверхностных форм - карсто-суффозионных воронок численностью 54 штуки на 0,5км² территории промзоны генетически связано с процессом вымывания глинистого и суг-

линистого материала в межглыбовое пространство рухляковой зоны и в порово-каверно-трещинное пространство известняков. В отдельных случаях установлено, что воронки являются результатом заполнения карстовых полостей. Согласно морфометрическому показателю (отношение глубины воронки к ее диаметру) из 54 воронок 13 (24%) относительно свежие ($h/d=0,3$). Все они расположены над склонами останцов и линейными депрессиями кровли известняков.

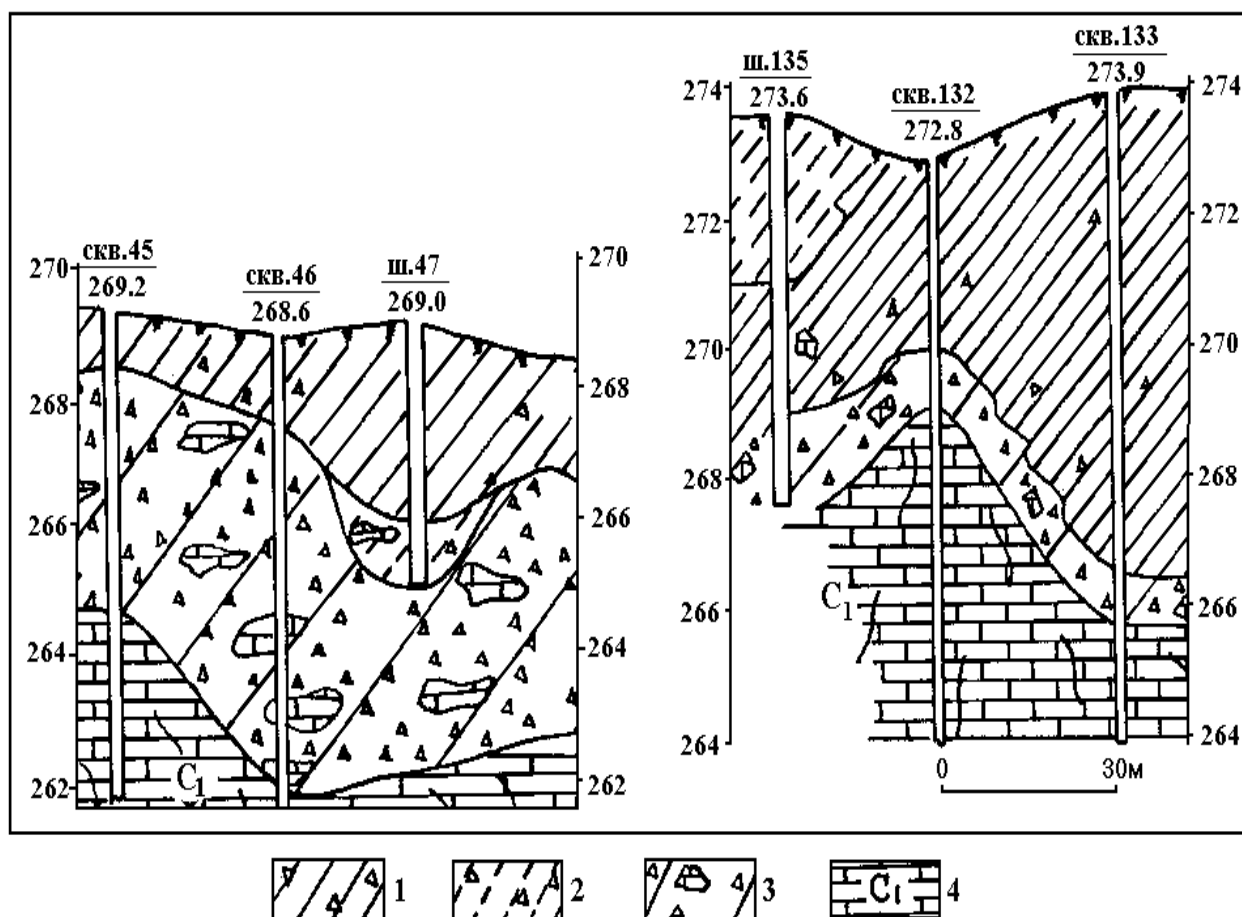


Рис.3. Геолого-литологические разрезы территории промзоны Чанвинского месторождения известняков (Зап. Урал): 1 - глина со щебнем известняков, 2 - суглинок со щебнем известняков, 3 - делювиально-элювиальные отложения (deQ), 4 - известняк трещиноватый

Фактический материал по проведенным проходческим работам, территориальная привязка карстопроявлений и нанесенная на карту фактического материала кровля известняков в изолиниях высотных отметок, дают представление о соотношении карстовых форм и элементов погребенного рельефа (рис.4). Поля воронок развиты в четвертичных отложениях над понижениями рельефа кровли известняков. Относительно максимальные диаметры (от 10-12 до 23м) зафиксированы у тех воронок, которые расположены над интенсивно выветрелыми известняками. *Мощность четвертичных отложений контролирует интенсивность воронкообразования: с уменьшением мощности интенсивность*

поверхностных карстопоявлений возрастает, но не повсеместно, а только над линейными отрицательными формами рельефа вне зависимости от литологии покрова.

В покровах, расположенных над рельефом кровли известняков выше отметки 267м (над вершинами останцов), воронки не образовались, хотя именно над останцами толщина покрова минимальна.

Подземные карстовые полости вскрыты скважинами 112, 45, 16 и 9 в интервале глубин от 11.0 до 46.0м. Полости заполнены плотной глиной со щебнем и дресвой, аргиллитоподобной глиной, песком. Вертикальные размеры встреченных полостей изменяются от 0.10 до 2.0м. Практически все полости, встреченные при бурении, расположены в линейных меридионально ориентированных коррозионно-эрозионных депрессиях погребенного рельефа.

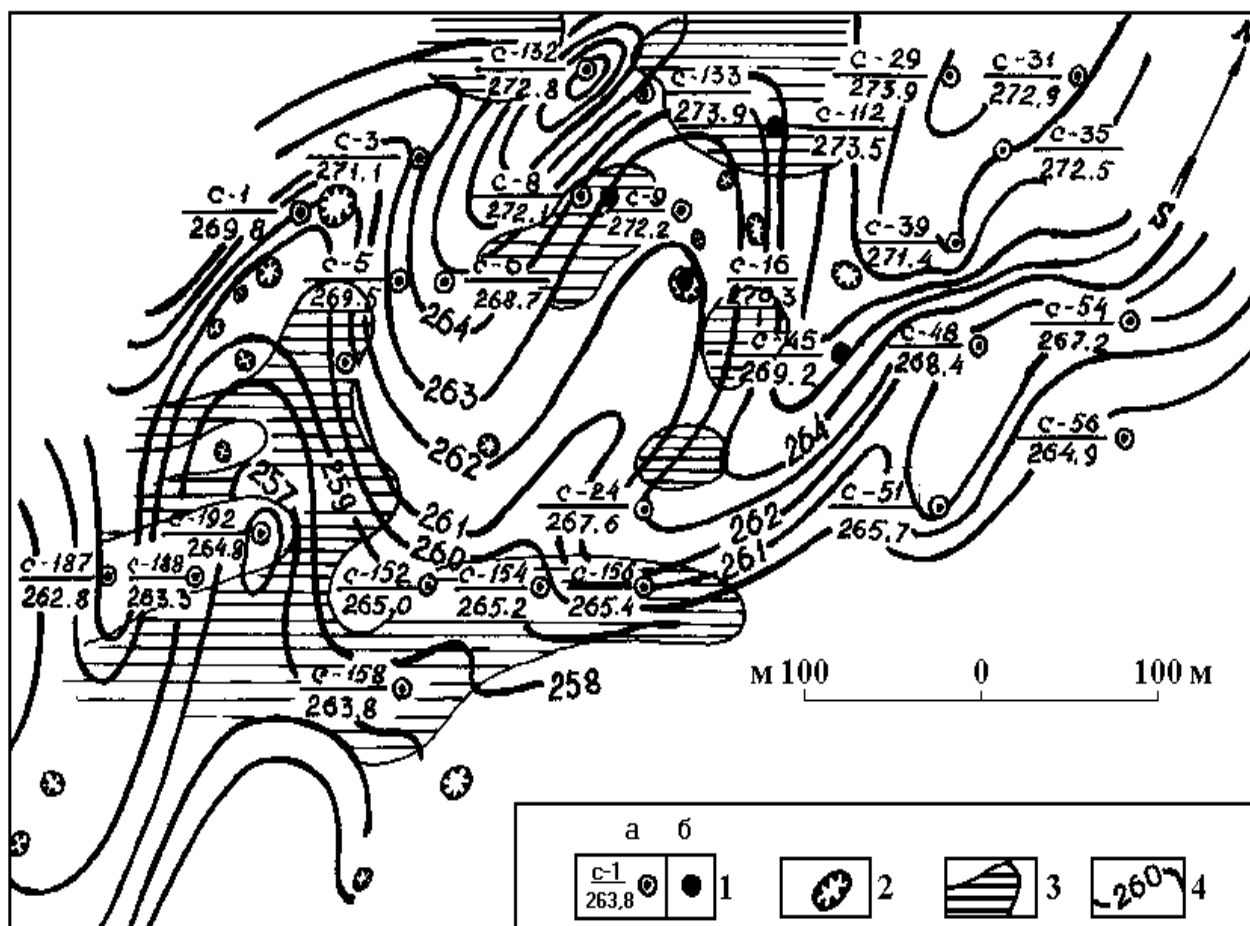


Рис. 4. Пространственное соотношение элементов погребенного рельефа турнейских известняков, полостей, вскрытых буровыми скважинами, и карстово-суффозионных воронок на территории промзоны Чаньвинского месторождения (Зап. Урал): 1 - буровые скважины с обозначением номера и высотной отметки устья (а) и скважины, вскрывшие карстовые полости (б); 2 - карстово-суффозионные воронки; 3 - суглинки; 4 - изогипсы погребенного рельефа кровли известняков

Относительно максимальные по вертикали размеры (скв.16, инт.11.0-13.0м и скв.112, инт.18-19м) характерны для полостей, расположенных в осевых частях линейных депрессий. На склонах депрессий вертикальные размеры полостей уменьшаются до 0.2-0.4м (скв.45, инт.19.0-19.2м; 37.0-37.4; скв.9, инт.17.3-17.5 м).

Структурно-текстурное сложение коренных пород неравномерно по распределению и оказывает контролирующее влияние на заложение, развитие и распределение карстовых форм. Осевые зоны линейных понижений кровли известняков сложены средне- и крупнокристаллическими, кавернозными, сильнотрещиноватыми разностями. Заполнителем трещин является кальцит и глина (линия скважин 16-112).

Структурно-текстурные особенности известняков, характерные только для осевых частей линейных депрессий, дают основание предполагать унаследованную гидрогеологическую активность данных понижений. Здесь, в интервалах глубин от 13 до 18м и от 21 до 27м, развиты прослои интенсивно кавернозного, трещиноватого известняка (незаполненные каверны диаметром от 0.01 до 0.05м). Кавернозные прослои залегают над закарстованными и могут служить индикаторами на полости.

Вершины останцов сложены крепкими или средней крепости окремненными, скрыто- и мелкокристаллическими, слаботрещиноватыми породами. Заполнитель трещин – кальцит.

Склоны останцов сложены мелкокристаллическими, трещиноватыми породами, трещины которых также заполнены кальцитом.

Систематизируем имеющиеся признаки-факторы, определяющие в пределах оцениваемого участка карстогенетическую неоднородность. В качестве основы построения оценочной схемы применим общую схему признаков-факторов (табл. 3), опустив высший таксонометрический ряд.

Методологически необходимым в данном случае является проведение локальной оценки с предварительным установлением регионального фона развития карста. Региональный фон определен несколькими группами признаков-факторов.

Геоструктурные и тектонического режима. Территория складчато-блокового строения, осложненного нарушениями надвигового типа. Расположение блоков - ступенчатое с поблочным погружением с северо-запада на юго-восток (IV).

Литологические. Мощные пласты известняков без переслаивания с другими литологическими типами карстующихся пород, покрытые маломощными и тонкими покровами щебня известняков с глинистым и суглинистым заполнителем (III).

Гидродинамические. Зона вертикальной нисходящей циркуляции, сочетающаяся с зонально локализованными, действующими сезонно, потоками субгоризонтальной циркуляции на фоне глубоко расположенной зоны регионального транзита трещинных вод (III).

В скобках дана усредненная степень вероятности карстопроявлений согласно табл. 3.

Региональный карстогенетический фон по комплексу показателей в среднем соответствует III (высокой) степени карстоопасности.

Целесообразно в итоговой оценочной схеме сгруппировать признаки-факторы локальной оценки таким образом, чтобы их комплексы характеризовали квазиоднородные, типичные по геолого-карстологическим показателям фрагменты массива.

Таблица 5

Карстогенетические типы территории промзоны Чаньвинского месторождения известняков

Индекс типа (степень карстоопасности)	Элементы рельефа кровли известняков	Характеристики		
		литологические		гидродинамические, закарстованности
		известняков	покровов	
В-I (низкая)	Вершины останцов	Крепкие, окремненные, скрыто- и мелкокристаллические, слабо-трещиноватые. Заполнитель трещин - кальцит	Щебень с глинистым заполнителем мощностью 4-5м. Первый картируемый слой – глина	Затрудненная инфильтрация, рассеянный сток. Воронки и полости не выявлены
В-II (средняя)	Склоны останцов	Средней крепости, мелкокристаллические, трещиноватые. Заполнитель трещин – кальцит	Щебень с глинистым и суглинистым заполнителем мощностью 5-17м. Первый картируемый слой – глина, очагами – суглинков	Затрудненная инфильтрация, рассеянный сток. Суффозионные воронки вмывания суглинистого и глинистого покровного материала в межглыбовое пространство
В-III (высокая)	Межостанцовые депрессии незамкнутого линейного типа	Слабые, средние- и крупнокристаллические, кавернозные, сильно трещиноватые. Заполнитель трещин – кальцит и глина	Щебень с суглинистым и глинистым заполнителем мощностью 5-8м. Первый картируемый слой – глина с очаговым распространением суглинков	Относительно свободная инфильтрация и инфлюация поверхностного стока. Локализованный субгоризонтальный подземный сток. Суффозионно-коррозионные воронки. Полости, заполненные глиной, щебнем, песком, иногда без заполнителя

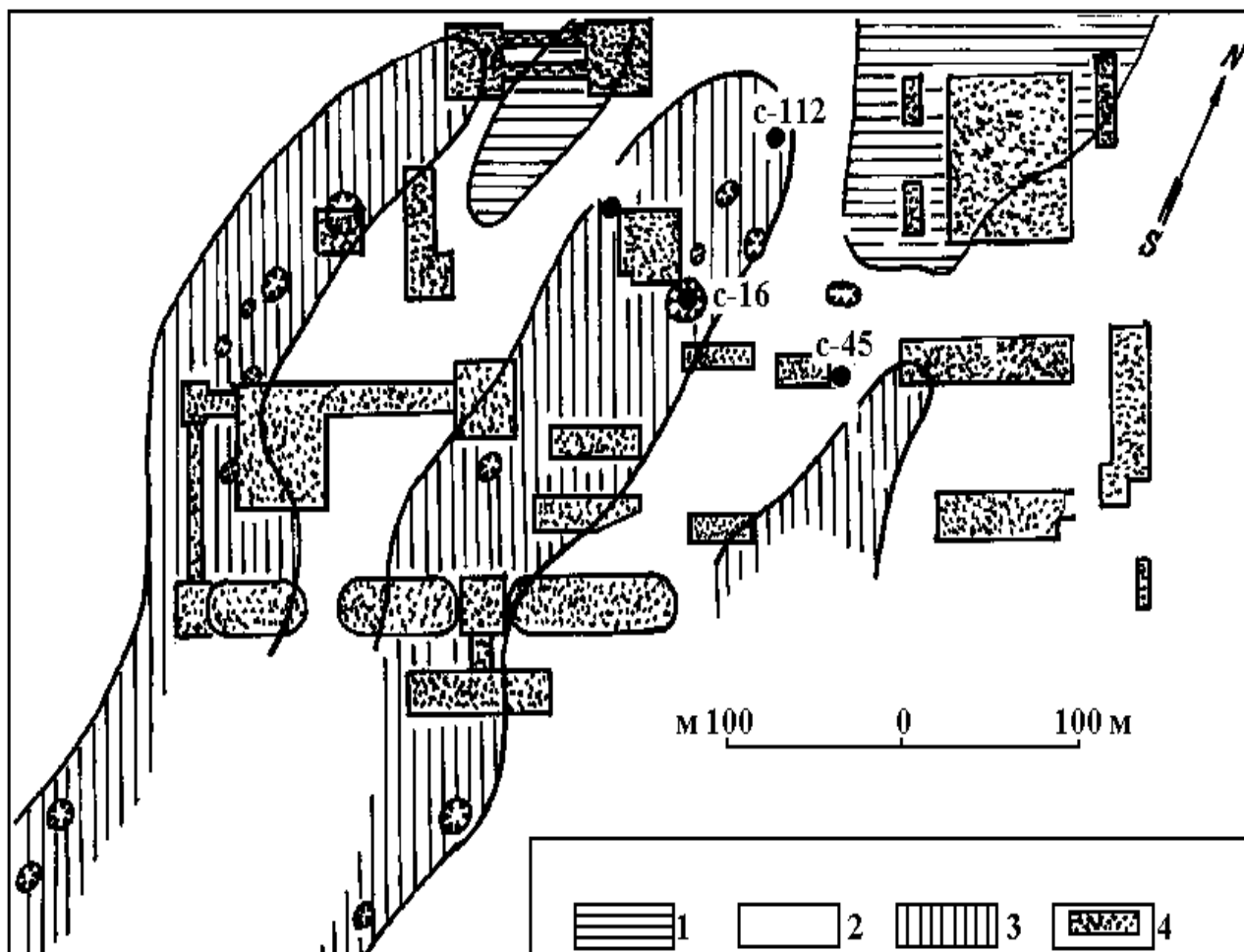


Рис. 5. Схема типизации территории Чаньвинского месторождения известняков по степени карстоопасности: 1 - низкая, 2 - средняя, 3 - высокая (характеристики участков даны в тексте); 4 - здания и сооружения промзоны

Группировка признаков локального уровня применительно к территории промзоны Чаньвинского месторождения известняков приведена в табл. 5, которая содержит не только информацию, но и является табличной схемой типизации оцениваемой территории – основой сравнительно-оценочного районирования. Согласно схеме на территории промзоны выделяются три типа территориальных фрагментов (рис.5).

Территории первого типа сравнительно безопасны для инженерного освоения. Территории второго типа характеризуются средней степенью карстоопасности, при их освоении необходимо применение конструктивных противокарстовых мероприятий. На территориях третьего типа возведение строительных объектов бытового или промышленного назначения должно быть исключено.

3.3. Оценка техногенного прессинга в карстовых регионах (на примере территории Пермского Приуралья)

Оценка интенсивности карстопроявлений является одной из основных задач при обосновании противокарстовой защиты наземных или подземных инженерных сооружений. Анализ катастрофических карстопроявлений, проведенный по литературным и фондовым материалам, свидетельствует о принадлежности их к геоструктурным элементам различных масштабов [16].

3.3.1. Общие особенности распределения катастрофических карстопроявлений

Катастрофические явления природно-техногенного характера приурочены к различным структурно-тектоническим обстановкам, а именно: зонам сочленения тектонических структур I и II порядков (например, Украинского щита и Волыно-Подольской плиты; Русской платформы и Предуральского краевого прогиба); склонам предгорных прогибов (Предуральского, Предкарпатского); локальным структурам в пределах тектонических валов и их периферийным зонам (Краснокамско-Полазненский вал, Тулумбасовско-Тисовский вал, Уфимский вал); куполовидным структурам соляной тектоники; склонам тектонических депрессий (Юрюзано-Айская); осевым зонам линейных складок (Западноуральская зона складчатости); дизъюнктивным нарушениям со смещением (особенно надвигового типа: Луньевский надвиг, Журавлинский надвиг Западноуральской зоны складчатости); зонам трещиноватости вне зависимости от элементов и масштабов тектонических структур.

Анализ показал, что 70% катастрофических ситуаций связано с сульфатным карстом, 25-30% - с карбонатным, единичные, но наиболее масштабные по разрушениям - с соляным. В сульфатном и соляном карсте катастрофические явления встречаются, как правило, в виде провалов (районы Кунгура, Дзержинска, соляные месторождения республики Коми и Пермской области). В карбонатном карсте провальные явления редки, чаще возникают просадки.

На территориях современных городов, промышленных комплексов и интенсивной сельскохозяйственной деятельности возникновение провальных явлений в результате естественных причин крайне редко и (по нашим подсчетам) составляет 2-3%. В большинстве случаев карстопропасть была обусловлена следующими причинами:

- динамическим воздействием на массив (нагрузки от подвижного железнодорожного транспорта, автотранспорта, взрывов в карьерах и при шахтной проходке);

- быстрым изменением гидрогеологической ситуации (осушение карьеров, создание водохранилищ, откачка шахтных водопритоков,

утечки из водопровода и канализации, откачки для целей водоснабжения);

-интенсивной добычей полезных ископаемых, таких как нефть и газ;

-чрезмерной статической нагрузкой на поверхность массива в случаях концентрации промышленных и гражданских сооружений и игнорирования инженерно-геологической ситуации при планировании городской застройки;

-изменением гидрохимической ситуации при интенсивном внесении химических удобрений (особенно в районах сульфатного карста) и сбросах промышленных вод в карстовые полости;

-комплексом перечисленных причин.

В любом случае распределение катастрофических карстопроявлений происходит соответственно геолого-структурным особенностям массивов, но интенсивность и скорость протекания процесса в каждом случае обусловлены типом и интенсивностью техногенных изменений природной среды. Не исключено, что при отсутствии техногенного воздействия провалы поверхности проявились бы в масштабе геологического времени.

3.3.2. Карстологическая характеристика региона

Западноуральский регион, являясь одним из крупнейших промышленных центров России, занимает особое положение в экономической инфраструктуре страны. Здесь расположены предприятия практически всех отраслей хозяйства, из которых важнейшие представлены машиностроением, нефтехимией, энергетикой, металлургией, целлюлознобумажной и горнодобывающей промышленностью.

Выделяется ряд направлений деятельности человека, связанных с использованием природных ресурсов и природной среды карстовых районов. Виды деятельности соответствуют видам воздействия на карстовые массивы:

-*горнопромышленная* (приповерхностная разработка и эксплуатация месторождений посредством скважин, сейсмозрывов, добыча полезных ископаемых с помощью горизонтальных выработок, шахтным способом, формирование искусственных месторождений, их рекультивация);

-*гидротехническая* (сооружение плотин и создание искусственных водоемов, спрямление русел рек, строительство каналов и водных путей, сооружение береговых дамб и берегозащитных сооружений);

-*сельскохозяйственная* (орошаемое и неорошаемое земледелие, пастбищное скотоводство);

-*мелиоративная* (внесение химических удобрений в почвы, распашка почв, агроирригация, осушение территорий);

-*лесохозяйственная* (вырубка лесов и их восстановление);

-селитебная и промышленная (строительство жилых, административных, промышленных, бытовых и других сооружений, их эксплуатация, сопровождающаяся сбросом сточных вод в реки и водоемы, жидких отходов в водоносные горизонты, созданием подземных резервуаров и накопителей, выбросом в атмосферу газовых отходов производства, забороном поверхностных и подземных вод для водоснабжения);

-коммуникационно-транспортная (сооружение и эксплуатация линейных инженерных сооружений - железных и автомобильных дорог, трубопроводов и компрессионных станций, линий электропередач, что сопровождается выбросом продуктов неполного сгорания горючих смесей, сжиганием кислорода, загрязнением поверхностных и подземных вод при утечках из трубопроводов);

-рекреационная (оборудование карстовых пещер для массового посещения, создание лесопарковых зон, заказников, заповедников, национальных парков, лесонасаждений, сооружение небольших водоемов, строительство пансионатов);

-беллигиративная (ядерные взрывы, устройство и эксплуатация учебно-методических и испытательных полигонов, боевые действия с применением химического оружия, гербицидов, зажигательного оружия).

В Пермском Приуралье самые существенные изменения обстановок карстообразования наблюдаются в районах горнопромышленной, гидротехнической, селитебной и коммуникационно-транспортной деятельности [5, 6].

Наиболее интенсивное провалообразование приурочено к массивам сульфатного или сульфатно-карбонатного сложения, испытывающим различную степень антропогенного воздействия. Яркими примерами территорий провалообразования являются Полазненский, Нижнесылвенский, Кунгурский, Иренский, Кишертский карстовые районы [5]. Они территориально совпадают с зонами сочленения тектонических блоков восточной периферии Восточно-Европейской платформы. Подобные зоны выделены по геологическим материалам, гравитационному и магнитному полям, данным гелиевой съемки и анализу тектонических линейментов по кровле горизонтов нижнего карбона и нижней перми (материалы Горного института РАН). Ширина зон достигает 10-15км. Одна из меридионально вытянутых зон, интерпретируемая на карте новейшей тектоники Пермской области (Бабак и др., 1989) как зона повышенной проницаемости, ориентирована по линии «Кунгур-Березники-Соликамск» и пересекается широтноориентированной зоной тектонических линейментов по кровле горизонтов нижнего карбона на территории юго-западного примыкания к г.Кунгуру. Эта широтная зона трассируется участком долины р.Сылвы от г.Кунгура до с.Спасо-Барда, пересекая территорию пос.Усть-Кишерть. Таким образом, южная часть Нижнесылвенского района и Кунгурского карстового участка приурочена к узлу эндогеодинамических зон.

Дифференцированные плейстоцен-голоценовые подвижки блоков отразились и в строении речных террас. Анализ результатов буровых работ на территории г.Кунгура и Иренского района показал, что на отдельных участках карбонатно-сульфатная толща иренского горизонта в пределах I террас по отметкам подошвы занимает положение в среднем на 10-15 м выше по отношению ко II террасам. Периоды образования провалов на I террасах рек Сылвы, Ирени, Бабки, Шаквы (1937-40гг., 1953-69гг., 1980-по настоящие дни) совпадают с периодами повышенной сейсмической активности, выявленными для Среднего Урала. В связи с этим интересны факт омоложения древних воронок и приуроченность озер провального происхождения к зонам сочленения I-II террас р.Сылвы и на территории пос.Усть-Кишерть [15].

Среди провальных карстово-суффозионных форм региона выделяются две генетические группы: природные и антропогенные. Очевидно, что в формировании провалов любой группы принимают участие как природные, так и антропогенные факторы, но с разной степенью значимости. Например, возникновение провалов вдоль полотна железных дорог обусловлено динамичными нагрузками от подвижного состава, но местоположение провалов контролируется параметрами гидрогеологически активных трещинных зон: а) тыловых швов террас (особенно I и более высоких), б) тальвегов молодых, верховьев и прибортовых частей устьев относительно старых эрозионно-карстовых и карстово-эрозионных логов, в) высоких террас и присклоновых участков и склонов долин рек.

Участки пересечения трещинных зон на высоких террасах характеризуются аномально большим количеством провалов при наличии активного антропогенного влияния (окрестности пос.Нагорный Кунгурского района - 16 провалов/км² за 15-20 лет).

Распределение природных провалов, контролируемое литолого-стратиграфической, структурно-тектонической и геоморфологической ситуациями, имеет региональную зональность. Распределение антропогенных провалов азонально и определяется сферой влияния вводимых в эксплуатацию, эксплуатируемых или выведенных из эксплуатации инженерных элементов природно-техногенных систем (например, разрушенные муфтовые соединения водовода очистных сооружений г.Кунгура, заброшенные подвалы и погреба близ станции «Гипсы», утечки из водопровода и канализации в пос.Нагорном и др.) [17].

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

Характерной особенностью Пермского Приуралья как экономического региона является то, что наибольшая часть горнопромышленных и

городских агломераций находится в пределах распространения карстующихся пород. Данная особенность определена наличием промышленных залежей полезных ископаемых среди карстующихся пород (угли), тем, что залежи сами являются легко растворимыми (соли) и положением природных транспортных магистралей - рек, многие из которых по морфолого-гидрологическому типу являются транзитными карстовыми. На сегодняшний день карстово-техногенные системы сформировались на территориях крупных градопромышленных агломераций (ГПА): Соликамск-Березники, Кизел-Губаха-Чусовой, Кунгур.

Экологическая обстановка в регионе формируется под влиянием следующих основных факторов:

- * длительное (в ряде случаев более 100-150 лет) функционирование разнообразных экологически опасных производств (горнодобывающая, химическая промышленность, энергетика, черная металлургия и др.), образовавших разветвленную техносферу и оказывающих прессинг на окружающую среду (ОС) и человека;

- * концентрация экологически опасных производств, часто с устаревшими технологиями и недостатком средств для очистки отходов в пределах ограниченных территорий ГПА;

- * слабое развитие безотходных технологий (особенно в горнодобыче), что обусловило складирование отходов, многие из которых являются экологически опасными, на значительных площадях;

- * перегруженность территории региона коммуникационно-транспортными артериями, включая такие сложные инженерные сооружения, как нефтепроводы и газопроводы высокого давления, часто недостаточно обустроенные в экологическом отношении и с высокой степенью износа.

В регионе наблюдается высокий уровень загрязнения всех компонентов экосистемы: атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, грунтов, растительности. В условиях техногенной нагрузки активизируются неблагоприятные, часто катастрофические в проявлениях, природно-техногенные процессы, например, такие, как подтопление, оползнеобразование, карст, суффозия, гибель лесов. Зоны влияния ГПА распространяются на прилегающие территории, т.е. практически на все население региона, за счет переноса загрязняющих веществ в атмосфере, поверхностными водотоками и подземными водами.

Следует отметить, что г.Пермь расположен за пределами поверхностных карстопроявлений, но тем не менее находится в определенной зависимости от развития карстовых процессов в основании Камской ГЭС. В основании плотины, построенной в 1954г., под аргиллитами, песчаниками, загипсованными и обводненными известняками и доломитами уфимского яруса залегают гипсы и ангидриты кунгурского яруса. Фильтрация в основании плотины повлекла за собой растворение гипсов. Дополнительное инъекционное закрепление основания повысило устойчи-

вость плотины, но не исключило вероятность снижения устойчивости в результате локального растворения.

Карстоопасными являются участки пересечения закарстованных территорий транспортными магистралями, особенно железными дорогами, вне зависимости от литологического типа карста. За последние 40-45 лет в Пермском Приуралье, по данным Пермского университета, Кунгурского карстового стационара, ВерхнекамТИСИЗа, в полосе примыкания к железнодорожному полотну произошло более 130 провалов, из них более 20 с поперечником и глубиной до 5м. Для установления возможного взаимного влияния естественных и техногенных процессов на эксплуатационную безопасность линейных сооружений была проведена систематизация аварийности по Пермскому и Чусовскому отделениям Свердловской железной дороги. Для анализа были использованы только те случаи аварий и крушений поездов, причинами которых были деформации пути и подвижного состава (табл. 6).

Уже предварительный анализ распределения мест 39 аварий показал их приуроченность к зонам тектонических разломов, выделенных по геофизическим полям и зонам литологического замещения, часто являющимся показателем как структурных, так и тектонических границ.

Тем не менее почти во всех 39 случаях, включенных в таблицу, только в двух исследована геологическая ситуация аварий - на перегоне Ергач-Иренский и на перегоне Чикали-Кишерть. Авария 1993г. на перегоне Чикали-Кишерть явилась причиной экологической катастрофы для заказника «Предуралье» и всего Присылвенского края, начиная от среднего течения р.Сылвы, в результате разлива нефтепродуктов из деформированных железнодорожных цистерн.

Свыше 200 провалов зафиксировано на полотне автомобильных дорог и в кюветах. Максимальное количество провалов приурочено к районам распространения сульфатных и карбонатно-сульфатных толщ, перекрытых аллювиальными отложениями. Заметная активизация провалообразования на отдельных участках (150-250 случаев /км² в год) связана с сокращением мощности покровных отложений, трансформацией рельефа. Наиболее яркий пример сочетания карстоопасных факторов – территория г.Кунгура и его окрестностей, где зафиксировано свыше 4000 поверхностных карстопроявлений на площади около 50 км².

Территории населенных пунктов характеризуются резкими колебаниями уровней грунтовых вод, что, несомненно, сказывается на их устойчивости.

Активизация карбонатно-сульфатного карста, вызванная нарушением покровных отложений и перераспределением поверхностного стока, наблюдается в зоне магистральных газопроводов Сибирь-Центр - Запад. Так, в Ординском районе с мая 1983 г. по октябрь 1984 г. в полосе трассы газопровода шириной 40м и длиной 5,4км возникло 24 провала, в 1985 г. их количество превышало 45. К июню 1997г. на этом же интервале количество возникших провальных форм в перекрывающих суглинках

Таблица 6

**Аварийность в карстовых районах по Пермскому и Чусовскому
отделениям Свердловской железной дороги**

Дата	Характер аварии	Место	Причина
30.08.81	Нарушение контактной сети	Пост 34-й км- Ляды	Обрыв несущего троса
26.12.81	Нарушение контактной сети	Ст.Губаха	Падение анкерной опоры
13.01.82	Сход вагонов	Ст.Березники	Уширение пути
05.02.83	Крушение поезда	31-й км. Перегон Адищево-п.34-й км.	Подпучивание балласта
30.08.83	Нарушение контактной сети	Пашия-Койва	Уход трех опор
16.05.83	Отключение контактной сети	Ст.Няр- Половинка	Наклон опоры
22.03.84	Сход вагонов	Ст.Чусовская	Просадка пути
03.07.84	Крушение поезда	Перегон Боковая-Кухтым, 62км	Излом оси
16.08.84	Крушение поезда	Ст.Всеволодо- Вильва	Ослабление крепления стрелочного перевода
06.10.84	Сход вагонов	Перегон Чикали- Кишерть, 1549-й км	Излом оси
30.12.84	Крушение двух поездов	Перегон Чикали- Кишерть, 1554-й км	Уширение пути
22.03.85	Крушение поезда	Перегон Шестаки- Углеуральская	Уширение пути
14.04.85	Сход вагонов	Ст.Березники	Уширение пути
24.04.85	Сход тепловоза	Ст.Чусовская	Уширение пути
10.05.85	Сход тепловоза	Ст.Чусовская	Уширение пути
02.12.85	Сход вагона	Ст.Боковая	Нарушение пути
30.12.85	Сход вагона	Перегон Чикали- Кишерть	Уширение колеи
03.02.86	Остановка поезда	Перегон Копи- Расик	Обрыв рельсовых соединений
08.04.86	Сход вагона	Ст.Пальники	Уширение колеи
10.05.86	Остановка поезда	Перегон Шутем- Кордон, 1609км	Разрыв на стыке
01.08.86	Сход вагона	Ст.Кунгур	Уширение пути
17.02.87	Остановка поезда	Перегон Лек- Тулумбасы	Разрыв на стыке
02.05.87	Сход состава	Ст.Чусовская	Уширение пути и раскантовка рельс
09.05.87	Сход вагонов	Ст.Березники	Уширение пути
17.05.87	Сход тепловоза	Ст.Чусовская	Уширение пути

**Аварийность в карстовых районах по Пермскому и Чусовскому
отделениям Свердловской железной дороги**

19.05.87	Сход тепловоза	Ст.Чусовская	Раскантовка рельс, наличие пустот под шпалами
23.03.88	Сход вагона	Ст.Пальники	Уширение пути
14.11.88	Сход вагонов	Ст.Березники	Уширение пути
23.08.89	Сход вагона	Ст.Пальники	Уширение пути
26.11.89	Остановка поезда	Перегон Ергач-Иренский, 1517-й км	Провисание пути над карстово-суффозионным провалом
27.11.89	Сход тепловоза	Ст.Соликамск-2 Южная	Уширение пути
23.07.90	Сход вагонов	Ст.Березники	Уширение пути
04.09.90	Сход состава	Ст.Кордон	Уширение пути
27.12.90	Крушение поезда	Ст.Всеволодо-Вильва	Нарушение тормозной системы
29.01.91	Крушение поезда	Ст.Шамары	Излом наддрессорной балки
04.09.91	Сход вагонов	Ст.Кунгур	Уширение пути
13.08.93	Крушение поезда	Перегон Чикали-Кишерть, 1550км	Неисправность сцепки и ходовой части

достигло первых сотен. Диаметр большей части провалов не более 2,5м, глубина 2м и только в отдельных случаях 5м. Каждый из этих провалов в отдельности не представляет опасности для газопровода, но в совокупности, по достижению критического числа на единицу длины газопровода, они могут привести к катастрофе. Опасными для магистральных трубопроводов являются и обширные в плане коррозионные мульды проседания, возникновение которых обуславливает накопление в трубе избыточных напряжений и деформаций.

Наполнение Камского водохранилища вызвало подъем уровня воды на 22м. Часть массивов горных пород в зоне затопления сложено гипсами и ангидритами (например, в районе пос.Полазна). Уровень сработки водохранилища, равный 7-8м, способствует резким колебаниям подземных вод в зоне подпора, вымыванию заполнителя трещин, растворению пород и, как следствие, активизации суффозионно-карстового процесса и провалообразованию. Так, в зоне влияния водохранилища на территории пос. Полазна с 1956 по 1961г. образовалось 11 провалов, в то время как в предыдущие 50 лет - только 2.

По интенсивности создания аварийных и катастрофических ситуаций районы карбонатно-сульфатного и сульфатного карста (Полазненско-Шалашненский, Сылвенско-Сергинский, Кунгурско-Иренский) харак-

теризуются высокой степенью карстоопасности, а на некоторых участках селитебно-промышленной и коммуникационно-транспортной деятельности - очень высокой степенью карстоопасности.

Другие виды деятельности в районах сульфатного и карбонатно-сульфатного карста не подвержены прямой опасности, но находятся под его косвенным влиянием. Например, сельскохозяйственное освоение территорий развития сульфатного карста юга региона должно предусматривать показатель площадной закарстованности - земли хозяйств «Колос» и им. Чапаева характеризуются плотностью воронок от 20 до 50 шт./га. Потери производительности труда при пахоте и посеве достигают 3-4%, если плотность воронок 0,6 шт./га. В хозяйствах Кишертского района она в среднем на 3,5га пахотных земель меньше, чем в хозяйствах к северу и востоку от него.

Территории развития карбонатного карста, особенно с глубоким (60-80м и более) залеганием трещинно-карстовых вод (осевая часть Уфимского вала, зона внешней складчатости Урала), относительно благоприятны с позиций инженерного освоения. В региональном плане они характеризуются низкой степенью карстоопасности, однако, некоторые районы интенсивной горнодобывающей деятельности имеют высокую степень риска, связанного с труднопредсказуемыми аварийными ситуациями карстового происхождения.

Так, угленосная формация визейского яруса нижнего карбона Кизеловского угольного бассейна разрабатывалась шахтным способом. Её продуктивная толща протягивается полосой (ширина 5-20км) на расстояние около 150км. Сложность горно-геологических условий добычи угля обусловлена интенсивной закарстованностью и обводненностью вышележащих известняков. Угленосная толща сильно дислоцирована. Крупные меридионально вытянутые линейные антиклинальные, синклинальные структуры и брахискладки осложнены вторичной складчатостью, разрывными нарушениями: надвигами, взбросами, ступенчатыми сбросами и др. Глубина залегания угленосных отложений в синклиналиях достигает 2000м. Средняя глубина шахт - до 500м. Из 18 шахт, работавших в регионе, 8 характеризовались притоками карстовых вод свыше 1000 м³/ч. В случаях прорывов водопритоки достигали 3200 м³/ч. Гидродинамическая связь подземных и поверхностных вод обусловлена природно-техногенными факторами - высокой трещинно-карстовой проницаемостью углевмещающих массивов, разработкой угля под карстовым водоносным горизонтом, откачкой шахтных вод.

Приведем несколько примеров. Шахта им. Ленина 50 лет вела работы под визейским водоносным комплексом, трещинно-карстовые воды которого являются основным источником формирования шахтного притока. Вследствие достижения техногенной трещиноватости визейского водоносного комплекса, трещинные и карстовые воды получили доступ в горные выработки. Средний приток воды по шахте составлял около 2000м³/ч.

Шахта «Северная» работала под водоносным комплексом начиная с I горизонта. Прорывы были на I горизонте с отработанных шахт им. Володарского и «Комсомолец» в мае 1964г. и апреле 1966г. (притоки 1100 и 1300м³/ч соответственно). Средний приток воды по шахте в 1981г. составил 1732м³/ч.

На шахтоучастке «Владимирский» визейский водоносный комплекс на шахтном поле распространен ограниченно (30% водопритока - за счет трещинно-карстовых вод). Средние притоки составляли 200-300м³/ч. Прорыв воды с притоком до 1000м³/ч на I горизонте в августе 1960г. обусловлен проведением квершлага по карбонатным породам визейского яруса. Притоки увеличивались в периоды весеннего снеготаяния.

На шахте «Широковская» II и III горизонты пройдены под визейским водоносным комплексом. Средний приток составлял до 900-1000м³/ч. В периоды весеннего снеготаяния фиксировалось увеличение притока шахтных вод. Так, в 1979 и 1981гг. приток увеличивался в 2-3 раза по сравнению с нормальным.

Шахта «Центральная» вела работы под визейским водоносным комплексом на VIII и IX горизонтах. Средние притоки за счет трещинно-пластовых вод угленосной толщи и трещинно-карстовых вод карбонатов визея составляли до 800-850м³/ч.

Шахта «Ключевская» работала под визейским водоносным комплексом на VII и VIII горизонтах. Средний приток по шахте составлял 1000-1200м³/ч.

Шахта «Скальная» добывала уголь под визейским водоносным комплексом, начиная со II горизонта. Здесь имели место прорывы подземных вод с притоками более чем вдвое превышающими нормы: в квершлага 227 из отложений визея и в квершлага 321 из отложений турнея. В обоих случаях прорывы произошли в центральных частях складчатых структур с высокой закарстованностью и водообильностью. Средние притоки по шахте составляли 400-500м³/ч.

На шахте «Шумихинская» средние притоки за счет вод угленосной толщи составляли 200-250м³/ч. Прорыв воды с притоком более чем в два раза превышающим величину нормального имел место в 1973г. в штреке 102, который приблизился к обводненной зоне крупного тектонического нарушения.

Трещинно-карстовые воды по сравнению с межпластовыми и пластово-трещинными наиболее обильны. Они локализованы дизъюнктивными и пликативными нарушениями. Водоприитоки в горные выработки, как правило, направляются из трещин осевых зон складок, тектонических нарушений со смещением, карстовых полостей.

Разработка каменного угля в Кизеловском бассейне велась с конца XVIIIв. В настоящее время в пределах шахтных полей и сопредельных территорий сформировались и частично продолжают формироваться

природно-техногенные системы, характеризующиеся специфической гидродинамикой, гидрохимией и минералообразованием [19].

Согласно данным геологического отдела ПО «Кизелуголь», 12 шахт эксплуатировались в условиях потенциальной аварийности, связанной с прорывами карстовых вод в рабочее пространство (табл. 7).

Территории распространения пород галогенной формации считались относительно благоприятными с позиций инженерного освоения (Предуральский прогиб, Соликамская депрессия). Однако интенсивная горнодобывающая деятельность ПО «Уралкалий», развитие в г.Березники и Соликамск водоемких предприятий и предприятий химической промышленности изменили оценку карстоопасности до «очень высокой степени». При этом максимальная карстоопасность локализована шахтными полями.

Соляные формации Соликамской депрессии вытянуты с севера на юг региона на 200км при ширине полосы до 50км. Они относятся к филлипповскому (ангидриты, карбонаты) и иренскому (ангидриты, соли) горизонтам кунгурского яруса нижней перми и нижней части соликамского горизонта (глины, мергели, соли) уфимского яруса верхней перми. Разработка месторождения осложнена обводненностью надсолевых пород, сложной внутренней тектоникой и газодинамическими явлениями.

Добыча соли здесь ведется более 500 лет. Эксплуатация 200 рассолоподъемных скважин на старых рудниках способствовала формированию карстовых полостей и зон выщелачивания в толще солей. Современные отходы соледобычи, занимающие площадь более 700га возрастают ежегодно на несколько миллионов тонн и являются источниками промышленных стоков, загрязняющих подземные и поверхностные воды. Сдвиги пород над выработками, раскрытие трещин, просадки и изменение гидрогеологических условий могут быть причиной катастрофических провальных явлений. Яркий пример тому катастрофическое обрушение горных пород, сопровождавшееся взрывом газа, произошедшее в пределах шахтного поля третьего рудоуправления г.Березники. Провал в толще пород мощностью более 400м имел на момент образования (июль 1986г.) размеры в плане 40x80м. Интересен тот факт, что провал, произошедший по многим техногенным причинам, развивался на фоне разрывного нарушения со смещением и дроблением пластов, которое было зафиксировано в бортах провала.

Активизация карста наблюдается и в глубоких карбонатных горизонтах в местах нефте- и газодобычи. Около 50% запасов нефти приурочено к карбонатным трещинно-карстовым коллекторам. Активное воздействие эксплуатационных скважин на карстующиеся породы распространяется в глубину от забоя на сотни метров. Активизации растворения способствует закачка пресных вод в законтурные скважины, применение сульфатредуцирующих бактерий, а также применение 10-20%-ной соляной кислоты с целью повышения нефтеотдачи.

**Аварийные прорывы трещинно-карстовых вод в шахты Кизеловского угольного бассейна
(по данным геологического отдела ПО «Кизелуголь»)**

Шахта, горизонт, выработка	Величина притока (м ³ /ч), возраст и литология водовмещающих пород	Дата	Причины
Им. Ленина, первый вертикальный ствол	до 300 С ₁ v+s известняки	16.05.28	Прорыв карстовых вод по трещине при глубине ствола 58,5м (недостаточное качество предварительной цементации)
«Владимирская», квершлаг I-го горизонта с I на II поле	1000 С ₁ v+s известняки	20.08.60	Прорыв карстовых вод при проведении выработки в мульдовой части складки (недостаточная изученность гидрогеологических условий)
«Широковская», III горизонт восточного крыла, лава 375	700-800 С ₁ v+s известняки	1967	Прорыв карстовых вод вследствие подработки незатампонированной скважины
Бывшая шахта № 38, IV горизонт, бремсберг 17	700-800 С ₁ v+s известняки	1961	Прорыв карстовых вод вследствие подработки незатампонированной скважины
Им. 40-летия ВЛКСМ, II горизонт, главный квершлаг	700 С ₁ v+s + С ₁ v известняки и песчаники	1951	Прорыв карстовых вод вследствие подработки незатампонированной скважины
«Центральная», главный квершлаг VII горизонта	320 С ₁ v+s известняки	08.10.65	Прорыв карстовых вод из трещин (недостаточная изученность гидрогеологических условий)
«Ключевская», VII горизонт, разведочный квершлаг 17	700-750 С ₁ v+s известняки	04.04.66	Прорыв карстовых вод из подземной опережающей скважины

**Аварийные прорывы трещинно-карстовых вод в шахты Кизеловского угольного бассейна
(по данным геологического отдела ПО «Кизелуголь»)**

Шахта, горизонт, выработка	Величина притока (м ³ /ч), возраст и литология водовмещающих пород	Дата	Причины
«Скальная», Красновская синклиналь, II горизонт, квершлаг 227	300 C _{1v+s} + C _{1v+s} известняки и песчаники	22.06.63	Прорыв воды из приконтактной зоны угленосной толщи и визейских известняков
«Скальная», Красновская синклиналь, II горизонт, квершлаг 227	330 C _{1v+s} известняки	02.11.63	Прорыв карстовых вод из визейских известняков
«Скальная», III горизонт, квершлаг 321	3200 C _{1t} известняки	20.08.71	Прорыв карстовых вод из турнейских известняков (недостаточная изученность гидрогеологических условий)
«Шумихинская», I горизонт, штрек 102	1500 C _{1v} песчаники C _{1t} известняки	10.07.73	Прорыв воды в призабойной части штрека из зоны тектонического нарушения (недостаточная изученность геологического строения)

3.3.3. Карстологическая типизация территории

Типизация территорий по интенсивности техногенного воздействия - сложная задача, требующая усилий множества организаций по обобщению данных, их корректировке. Результаты предварительной типизации подобных территорий в Пермской области впервые приведены в работе К.А. Горбуновой и др. [6], где была дана немасштабная схема, объединяющая информацию о распределении месторождений полезных ископаемых, газопроводов, концентрации населения, химических производств и др., - всего по 15 показателям. Схема дает представление о неравномерности антропогенного прессинга, большая часть которого приходится на карстовые районы.

Для целей перспективного планирования и безопасного освоения региона крайне важно выявить степень и характер антропогенной нагрузки на карстовую зону. Кроме того, необходимо выяснить площадное соответствие хозяйственной деятельности на закарстованных территориях и интенсивности карстового процесса. Картографический метод остается основным при выполнении работ подобного рода. Он основан на сопоставлении одномасштабных карт и схем (геологических, лесохозяйственных, землепользования, коммуникационных и др.), позволяющем в итоге установить пространственную связь элементов геосреды и источников ее загрязнения. В соответствии с данной задачей целесообразно в качестве основы оценочной схемы использование геолого-структурной карты территории.

Соотношение площадей карстующихся пород и элементов дизъюнктивного каркаса территории играет роль первого оценочного критерия.

Соотношение площадей карстующихся пород и видов природопользования в их пределах является вторым и в данном случае основным оценочным критерием.

По степени влияния на карстообразование региональные дизъюнктивы располагаются в следующей последовательности (в порядке возрастания значимости): 1) ступени по кровле фундамента; 2) глубинные разломы; 3) древние разрывные нарушения пород осадочного чехла; 4) зоны разломов и разломы, активизированные в современное и новейшее время; 5) зоны разломов и разломы с современным проявлением сейсмичности.

Используя данные по основным общественным фондам существующего спектра промышленных предприятий и применив один из вариантов балльной оценки, опыт использования которой известен в карстоведении по работам В.В. Толмачева (1981); В.Н. Дублянского и др., (1990); В.Н. Дублянского и Г.Н. Дублянской (1992), выделим следующие типы территорий Пермской области:

I (менее 1 балла) - природные ареалы, не включенные в хозяйственное освоение;

II (1-2 балла) - площади с минимальным освоением. Территории по долинам средних и больших рек, где запрещены лесозаготовки и сохранены леса с лугами и сенокосными угодьями;

III (3 балла) - территории лесозаготовок на севере региона и сельскохозяйственные угодья, в основном пашни, на юге;

IV (4-5 баллов) - территории лесозаготовок и сельхозугодий с площадями разработок нефтяных месторождений, например на севере Ординского района, в Кунгурском районе, в низовьях р.Чусовой, окрестностях г.Добрянка, между г.Соликамск и Березники, в Чердынском и Красновишерском районах;

V (6-10 баллов) - районы малых городов, поселков городского типа, где сосредоточены небольшие предприятия машиностроения, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, теплоэнергетики, химии, а также населенные пункты с отдельными предприятиями добычи угля (например, г.Красновишерск, пос. Скальный, Яйва, Суксун);

VI (11-20 баллов) - площади сосредоточения предприятий угледобычи, добычи строительных материалов, выпуск цемента (например, г.Горнозаводск, Кизел, Гремячинск);

VII (21-30 баллов) - площади нахождения крупных и средних предприятий коксохимии, химии неорганического синтеза, черной металлургии, иными словами предприятий с химически агрессивными отходами (например, города Губаха, Чусовой);

VIII (более 30 баллов) - территории сосредоточения предприятий добычи каменных солей, водоемких предприятий обрабатывающей промышленности, например целлюлозно-бумажной, химических предприятий по производству удобрений.

Таблица 8

Суммарная техногенная нагрузка на карстовые районы Пермского региона (в баллах по основным группам промышленности)

Районы, населенные пункты	Стоимость основных фондов (в условных руб.)	Баллы
Территории сульфатного карста		
Кунгурский с г.Кунгуром и с.Усть-Кишерть, Добрянский, Ординский, Суксунский	до 1 500 000	65.0
Территории карбонатного карста		
г. Кизел, Губаха, Гремячинск, Александровский, Горнозаводский, Красновишерский, Чердынский районы	до 2 000 000	230.0
Территории соляного карста		
г. Березники, Соликамск Соликамский, Усольский районы	до 3 000 000	110.0

Схема, составленная в масштабе 1:1 000 000 и представленная на рис. 6, отражает неравномерность антропогенной нагрузки на карст. Табл. 8 дает представление о суммарной промышленной нагрузке на территории развития основных литологических типов карста.

Таблица 9

Типы природно-техногенных условий на закарстованных территориях Пермского региона

Индекс площади	Категория антропогенной нагрузки	Элементы геоструктуры
А	Площади развития преимущественно сульфатного, карбонатно-сульфатного, карбонатного карста восточной окраины Восточно-Европейской платформы и прилегающих окраин Предуральяского прогиба	
I	с I по V	Территории на фоне трансрегиональных зон тектонической нарушенности глубокого заложения
II	с I по V	Карстопроявления на фоне зон активизированных разломов
III	с VI по VII Развита локально и осложнена узлами транспортно-коммуникационных линий	Карстопроявления на фоне пересечения зон активизированных разломов с сейсмоявлениями
Б	Площади развития карбонатного карста Западноуральской зоны складчатости и Центрально-Уральского поднятия	
I	с I по IV	Карстопроявления на фоне трансрегиональных зон тектонической нарушенности глубокого заложения, узлов древних пассивных разрывных нарушений
II	V-VI	Участки интенсивного карстопроявления, сочетающиеся с зонами тектонической нарушенности глубокого заложения, активизированными разломами с сейсмоявлениями
III	VII Развита локально	Карстопроявления на фоне пересечений зон активизированных разломов с проявлениями сейсмичности
В	Площади развития преимущественно соляного и соляно-гипсового карста Предуральяского краевого прогиба	
I	I-III	Территории примыкания к трансрегиональным зонам тектонической нарушенности глубокого заложения
II	I-IV	Карстопроявления на территориях примыкания к активизированным разломам
III	VIII Развита локально	Карстопроявления в зонах активизированных разломов

Схема позволяет выделить территории, где условия развития природного карста изменены и осложнены антропогенными факторами. Выделено девять типов территорий, в пределах которых карстоопасность

определена сочетанием различных видов природно-техногенных условий (табл. 9).

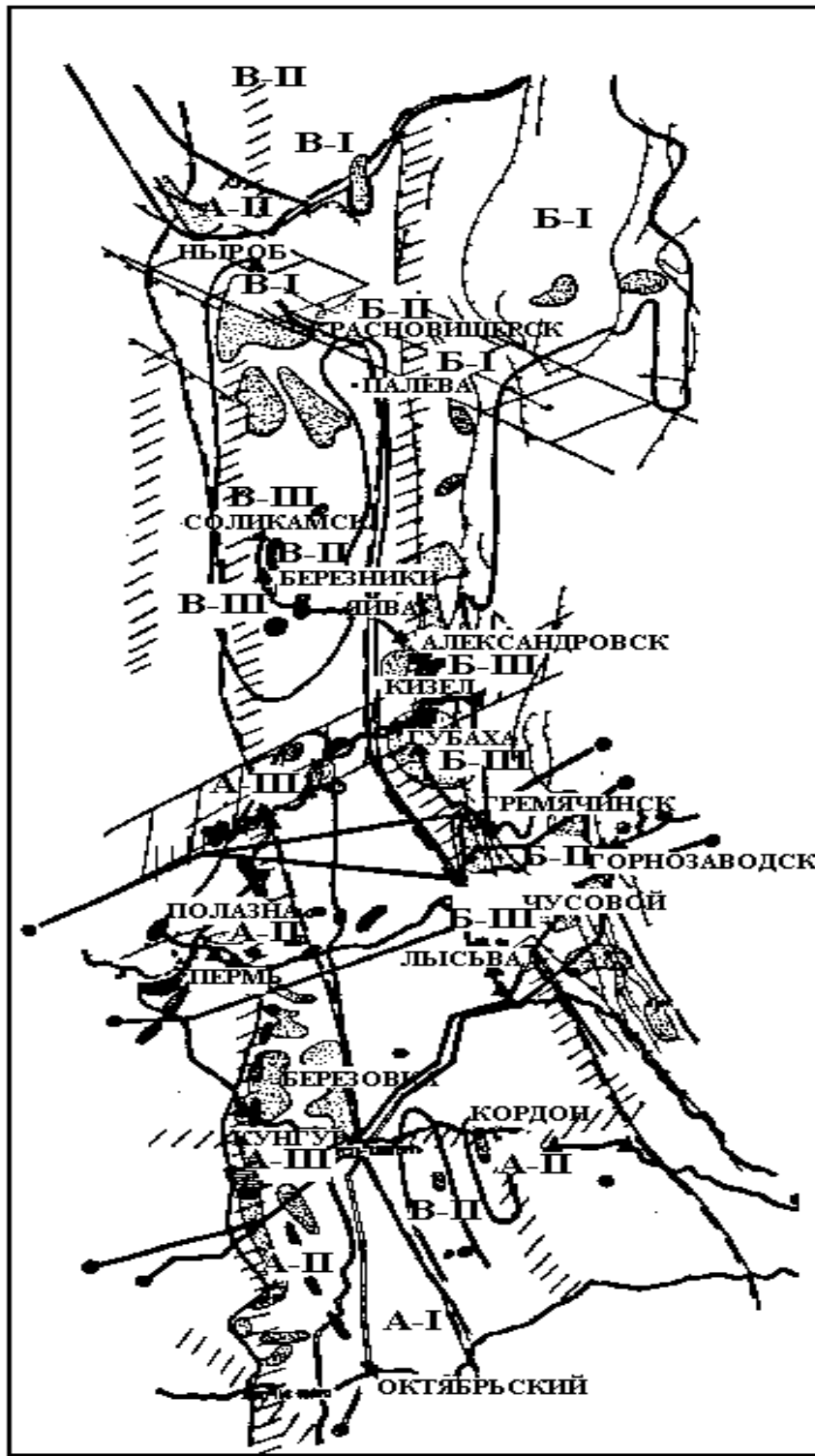


Рис.6. Типы природно-техногенных условий на закарстованных территориях Пермского региона: 1 - зоны разломов, активизированных в современное и новейшее время, выявленные путем анализа сейсмических, тектонических и геоморфологических линеаментов; 2 - транспортно-коммуникационные магистрали: а) железнодорожные, б) нефтегазопроводов; 3 - места аварий и крушений на железных дорогах; 4 - месторождения нефти; 5 - границы карстовых районов с участками интенсивных карстопроявлений; 6 - эпицентры зарегистрированных землетрясений; 7 - границы Предуральяского прогиба; 8 - дизъюнктивы: а) разрывные нарушения по данным сейсмических съемок (геологическая карта Урала масштаб 1:1 000 000), б) ступени по кровле фундамента; 9 - трансрегиональные и протяженные линейные зоны тектонической нарушенности и глубинных разломов по данным ГСЗ; 10 - индексы типов (характеристики см. в тексте)

Схема позволяет при необходимости не только в целом оценить степень антропогенного прессинга на территории развития карста, но и провести разноцелевое районирование. 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 Государственной научно-технической программы №16 «Безопасность» (1994 г.) отразить степень безопасности населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современного состояния карстологической оценки территорий свидетельствует о следующем:

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 50-начала 60-х гг. XX столетия и вошедшие практически во все справочники и нормативные документы.

В любом случае карстологические наблюдения в соответствии с общей методикой проведения оценки способствуют выполнению задач различных этапов инженерно-геологических работ (оптимизации, планирования, проектирования, строительства, управления).

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

Выбор тех или иных признаков развития карстовых процессов 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).

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 уточнение геолого-структурных особенностей территории, полевое изу-

чение трещин массива, сопровождающееся массовыми замерами их элементов залегания. Результаты обработки всех имеющихся данных позволяют провести оценочное районирование поверхности массива по степени интенсивности трещиноватости и сопоставить выделенные типы территорий с имеющейся поверхностной и подземной закарстованностью.

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

Библиографический список

1. Альбов С.В. Объяснение происхождения провалов и просадок поверхностей теорией горного давления (на материале карста низовьев левобережья реки Оки) // Карстоведение. Молотов, 1948. Вып.4. С.23-36.
2. Болотов Г.Б. Геодинамика рельефа карстующихся массивов: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер.наук / Перм. ун-т. Пермь, 1981. 17с.
3. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256с.
4. Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований: Учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 333с.
5. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во ПГУ, 1992. 200с.
6. Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области: Препринт.Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 43с.
7. Дублянский В.Н. Обоснование границ карстовых регионов // Картографирование и районирование карста в связи с освоением территорий: Тез. докл. Карст.-спелеол. совещ. Владивосток, 1986. С.35-36.
8. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск: Наука, 1992. 144с.
9. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстоопасность на Украине // Гидрогеология и карстоведение. Катастрофы и аварии на закарстованных территориях: Межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1992. С.52-63.
10. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н., Андрейчук В.Н., Афанасьев П.Ю. и др. Распространение карстующихся пород и типов карста на территории бывшего СССР // Инженерная геология карста: Докл. междунар. симпоз. Пермь, 1992. Т.2. С.89-95.
11. Дублянский В.Н., Илюхин В.В. Крупнейшие карстовые пещеры и шахты СССР. М.: Наука, 1982. 137с.
12. Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Гидрогеология карста Альпийской складчатой области юга СССР. М.: Наука, 1984. 128с.
13. Емельянова Е.П. Анализ методов и особенностей прогноза оползней в горно-складчатых областях // Геологические закономерности развития оползней, обвалов и селей. М., 1976.С.35-62.
14. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1983. 328с.
15. Катаев В.Н. Структурно-тектонические условия формирования Кунгурской пещеры // Пещеры. Итоги исследований: Межвуз.сб. науч.тр. / Перм.ун-т. Пермь, 1993. С.121-130.
16. Катаев В.Н. Катастрофические карстопроявления: закономерности распределения // Карстовые провалы: Тез. докл. юбил. конф. Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. С.20-22.

17. Катаев В.Н. Структурно-тектонические обстановки провалообразования в Предуралье // Там же. С.63-65.
18. Катаев В.Н. Опыт оценочного районирования карстоопасных территорий // Современные проблемы геологии Западного Урала: Тез. докл. науч. конф. Пермь, 1995. С.136-137.
19. 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.
20. Костарев В.П. О количественных показателях карста и их использовании при инженерно-геологической оценке закарстованных территорий // Инженерно-строительные изыскания. М.: Стройиздат, 1979. N1(53). С.49-53.
21. Кутепов В.М., Кожевникова В.Н. Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989. 151с.
22. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология. Л.: Недра, 1978. 496с.
23. Лукин В.С. Провальные явления на Урале и в Предуралье // Гидрогеологический сборник. Свердловск, 1964. № 3. С.133-160.
24. Лыкошин А.Г., Молоков Л.А., Парабучев И.А. Карст и строительство гидротехнических сооружений. М.: Гидропроект, 1992. 322с.
25. Макеев З.А. Принципы инженерно-геологического районирования карстовых областей // Карстоведение. Молотов, 1948. Вып.4. С.43-45.
26. Максимович Г.А. Тектонические закономерности распределения карста на территории СССР // Общие вопросы карстоведения. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 40-54.
27. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь, 1963. Т.1.
28. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь: Кн.изд-во, 1969. Т.II. 529с.
29. Максимович Г.А. Основные обстановки развития карста в Предуралье и на Западном Урале // Вопросы инженерного карстоведения: Тез. докл. инжен.-геол. совещ. Кунгур, 1972. С.4-9.
30. Молоков Л.А. Инженерно-геологические процессы. М.: Недра, 1985. 206с.
31. Печеркин А.И. Геодинамика сульфатного карста. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1986. 172с.
32. Печеркин А.И., Болотов Г.Б., Катаев В.Н. Изучение тектонической трещиноватости платформенных структур для карстологических целей: Учеб. пособ. по спецкурсу. Пермь: Изд-во ПГУ, 1984. 84с.
33. Попов И.В. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1959. 510с.
34. Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1987. 80с.
35. Саваренский Ф.П. Гидрогеология. М., 1933.
36. Саваренский Ф.П. Инженерная геология. М., 1937.

37. Сергеев Е.М. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1978. 384с.
38. СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства. Дополнительные требования к изысканиям в районах развития опасных геологических процессов. М., 1988.
39. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. М.: Недра, 1990. 151с.
40. Толмачев В.В., Троицкий Г.И., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М.: Стройиздат, 1986. 176с.
41. Трофимов В.Т., Богданов М.И. Инженерно-геологическое районирование (теория и практика) // Гидрогеология и инженерная геология / ВНИИ экон. минер. сырья и геолого-развед. работ. М., 1989. 56с.
42. ТСН 22-308-98. НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области / Администрация Нижегородской области, комитет архитектуры и градостроительства. Нижний Новгород, 1999.72.
43. Цыкин Р.А., Цыкина Ж.Л. Карст восточной части Алтае-Саянской складчатой области (и связанные с ним полезные ископаемые). Новосибирск: Наука, 1978. 104с.
44. Шимановский Л.А. Подземные воды Уфимского плато (зона активного водообмена): Дис. ... канд. геол.-минер. наук / Перм. ун-т. Пермь, 1964. Т.1. 347с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Нормативные документы и рекомендации, использование которых необходимо при проведении инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях

1. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения / Минстрой России. М., 1997. 43с.

2. СП 11-105-97. Ч. 1. Инженерно-геологические. изыскания для строительства / Госстрой России, 1998.

3. СП 11-105-97. Ч. 2. Инженерно-геологические изыскания в районах опасных геологических., инженерно-геологических. процессов / Госстрой России, 1998.

4. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства / Госстрой России, 1997. 41с.

5. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений / Минстрой России. М., 1995. 48с.

6. СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий / Минстрой России. М., 1996.7с.

7. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования / Госстрой СССР. М., 1991. 32с.

8. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы / Госстрой СССР. М., 1988. 52с.

9. СНиП 2.01.28-85. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных отходов. Основные положения по проектированию / Госстрой СССР. М., 1985. 66с.

10. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. М., 1985. 36с.

Территориальные и ведомственные документы

12. Территориальные строительные нормы (ТСН) Республики Башкортостан 302-50-95. РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях / Госстрой Республики Башкортостан. Уфа, 1996. 40с.

13. ТСН 22-308-98. НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области / Администрация Нижегородской области, комитет архитектуры и градостроительства. Нижний Новгород, 1999.72с.

14. Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов / Мосгорисполком. М, 1984. 14с.

15. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути в ЦПИ-22/1 МПС РФ. М., 1997. 31с.

16. Временная инструкция по контролю за состоянием земляного полотна железнодорожного пути в карстовых районах Горьковской ж. д. (Дополнение к "Инструкции по содержанию земляного полотна железнодорожного пути". ЦП / 3511) Н. Новгород, 1995. 20с.

17. Рекомендации по лабораторному физическому моделированию карстовых процессов / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1984. 48с.

18. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях / НИИОСП. М., 1985. 78с.

19. Методические рекомендации по проектированию бескаркасных жилых зданий в карстовых районах / НИИСК Госстроя СССР. Киев, 1986. 52с.

20. Рекомендации по использованию инж.-геол. информации при выборе способов противокарстовой защиты / ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1987. 80с.

21. Рекомендации по защите эксплуатируемых гражданских зданий в карстовых районах / НИИСК Госстроя СССР. Киев, 1989. 162с.

22. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста / ПНИИИС. М., 1995. 167с.

23. Рекомендации по закреплению растворами закарстованных грунтов в основании гражданских и промышленных объектов / НИИОСП. М., 1985. 28с.

Учебное издание

Катаев Валерий Николаевич

**МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАКТИКА СРАВНИТЕЛЬНО-ОЦЕНОЧНОГО
КАРСТОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ**

Редактор *Л.Г. Подорова*
Технический редактор *Н.В. Петрова*
Корректор *Г.А. Гусман*

ИБ №328

Лицензия ЛР № 020409 от 12.02.97

Подписано в печать 20.01.2001. Формат 60x84/16.

Бум. офс. Печать офсетная. Усл. печ. л.

Уч.-изд.л. 5,5. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел Пермского университета
614600. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография Пермского университета
614600. Пермь, ул. Букирева, 15