
ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «ENGEOPRO-2011»

УДК 624.131.1:556.332.46

**ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
(на примере Пермского края)**

© 2013 г. В. Н. Катаев

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Букирева, 15, Пермь, 614990 Россия. E-mail: kataev@psu.ru*

Поступила в редакцию 5.12.2011 г.

Создание системы карстомониторинга, отвечающей в полной мере целям прогноза проявления карстовых процессов на конкретной территории, – весьма сложная задача. Введению на закарстованной территории системы специализированного мониторинга предшествует комплекс мероприятий, часть которых является преимущественно прогнозными элементами этой системы, а часть организационно-информационными, реализация которых должна быть выполнена при взаимодействии заинтересованных администраций муниципальных образований, администраций соответствующих субъектов федерального уровня, органов МЧС, научных и производственных организаций, ведущих исследования и изыскания на закарстованных территориях. В работе представлены блоки мероприятий, являющиеся основой организации системы карстомониторинга в большей части реализованные к настоящему времени на территории Пермского края. Некоторые из обозначенных мероприятий отнесены к категории перспективного исполнения.

Ключевые слова: карстовые явления, карстоопасность, прогноз карстоопасности, карстомониторинг.

ВВЕДЕНИЕ

Прообразом государственного мониторинга экзогенных геологических процессов были организованные ВСЕГИНГЕО в 1976 г. комплексные многолетние исследования режима оползней, селей, абразии и эрозии на побережье Черного моря. В дальнейшем наблюдательные сети были включены в территориальные мониторинговые системы. Развитию службы государственного мониторинга послужило Постановление Совета Министров Российской Федерации (№ 1229 от 24.11.1993 г.) “О создании Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ)”. Позднее в составе Министерства природы России был организован Госцентр “Геомониторинг”.

Основы организации мониторинга экзогенных геологических процессов в России, разработанные в 80-е гг. XX в., доведены до уровня методических и технологических решений [10, 11, 13, 16, 21].

Проблемы организации карстомониторинга затронуты в территориальных строительных нормах Республики Башкортостан [19], Нижего-

родской области [18], Пермского края [17] и в более поздних документах [14]. Опыт создания основ карстомониторинга, в том числе и авторский изложен в ряде научных публикаций [1, 2, 7–9, 15]. В территориальных документах и в научных публикациях указывается, что проведение карстомониторинга в системе противокарстовой службы является обязательным в пределах населенных пунктов и особо ответственных объектов на территориях с пониженными категориями устойчивости, а также при техногенной активизации карстово-суффозионных процессов.

В общеметодологическом смысле *карстомониторинг – это система оценки и прогноза состояния карстосферы, взаимодействующей с инженерными сооружениями, основа оптимизации освоения закарстованных территорий.*

Как часть мониторинга состояния недр, *карстомониторинг – это комплекс работ, включающий выполнение режимных наблюдений, создание банка наблюдаемых данных, анализ мероприятий для оценки современной обстановки развития карста и состояния инженерных объектов на закарсто-*

ванных территориях, оперативный прогноз развития карста и деформаций сооружений во времени и пространстве, а в случае необходимости – принятие решений по противокарстовой защите.

В генерализованном виде мониторинг среди прочих включает две главные разновидности мероприятий: *слежение за текущим состоянием изучаемого процесса и факторами его развития; анализ динамики процесса.*

УСЛОВИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ КАРСТОМОНИТОРИНГА

Пермский край занимает территорию более 160 тыс. км², в пределах которой на 30 тыс. км² карстовый процесс развит относительно активно. На 11.6 тыс. км² экзогенные процессы и карст, как основной, считаются опасными для жизнедеятельности, на них проживают более 500 тыс. человек. Из 44 административных районов края 23 полностью или частью своей территории расположены в пределах влияния карстовых процессов. В зонах влияния карстовых процессов расположены территории 1000 населенных пунктов края. Высокая техногенная нагрузка в ряде районов обусловила развитие специфически развивающихся техногенных форм карста. Особое развитие получил карст на подработанных территориях. Именно здесь остро стоят вопросы прогнозирования развития опасных геолого-гидрогеологических процессов на территории действующих (Верхнекамское месторождение калийных солей – провалы 1986, 2007, 2010 гг.) и выведенных из эксплуатации (Кизеловский угольный бассейн – 11 прорывов карстовых вод в горные выработки с 1960 по 1973 гг.) горнодобывающих комплексов. На сегодняшний день карстово-техногенные системы сформировались на территориях крупных градопромышленных агломераций: Соликамск–Березники, Кизел–Губаха–Чусовой, Кунгур.

Помимо высокой концентрации промышленных предприятий регион характеризует высокая плотность линейных сооружений трансрегионального назначения. По территории края проходит более 4.5 тыс. км нефтепроводов и продуктопроводов различного назначения (в том числе 9 магистральных, протяженностью более 1.2 тыс. км), 18 магистральных газопроводов (протяженностью около 7.5 тыс. км).

Среди прочих территориальных проблем края особое место занимает проблема состояния геологической среды в пределах урбанизированных территорий (градопромышленные агломерации и отдельные города), расположенных в зоне развития карстующихся пород. Для этих территорий

характерно не только развитие опасных динамично развивающихся деформационных явлений (карстовые и карстово-суффозионные провалы и просадки), но и ухудшение экологической ситуации (интенсивное загрязнение подземных и поверхностных вод), а как следствие, обострение социально-экономических проблем [4, 12].

В пределах края выявлены все возможные литологические типы карста (за исключением карста мела), развивающиеся в различных геотектонических обстановках (платформы, краевого прогиба, горно-складчатой области) и имеющие многочисленные возрастные генерации не только в породах карбонатной, сульфатной и соляной формаций, но и в терригенных породах, где выщелачиваются сульфатная и карбонатная составляющие (кластокарст) и в карстово-обвальных (карстогенных) образованиях, весьма разнородных по литологическому и механическому составу, мощность которых в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Предуральяского прогиба превышает 120 м [6, 12]. Спектр форм, активность и интенсивность проявления карста тесно связаны с литологическим типом карстующихся пород. По аналитическим данным в Пермском крае 70% возникающих катастрофических ситуаций связано с сульфатным карстом, 25–30% с карбонатным, единичные, но наиболее масштабные по разрушению с соляным (рис. 1).

В той или иной форме идея создания систем наблюдения за развитием карстовых процессов в России и, в частности, применительно к территории Пермского Приуралья, имеет длительную историю и начинается с первых инженерных исследований карста. В начале прошлого века, в период 1905–1914 гг. важные работы с соответствующими натурными наблюдениями по оценке карстоопасности трасс железных дорог Пермского Приуралья проводили такие известные инженеры, как Н.И. Каракаш, А.А. Штукенберг, А.А. Чернов и М.С. Швецов.

На территории современного Пермского края опыт стационарных исследований карстового процесса – основы современного карстомониторинга, начал складываться с 30-х гг. прошлого XX в. Именно тогда с целью изучения карста в условиях разработки угля шахтным способом в интенсивно дислоцированном районе Западного Урала одной из первых была создана Кизеловская карстовая лаборатория. Позже создается Кунгурский карстовый стационар для изучения динамики крупного спелеообъекта – Кунгурской ледяной пещеры, карстовых процессов Урала и Предуралья. Более 30 лет с начала 60-х гг. XX в. велись

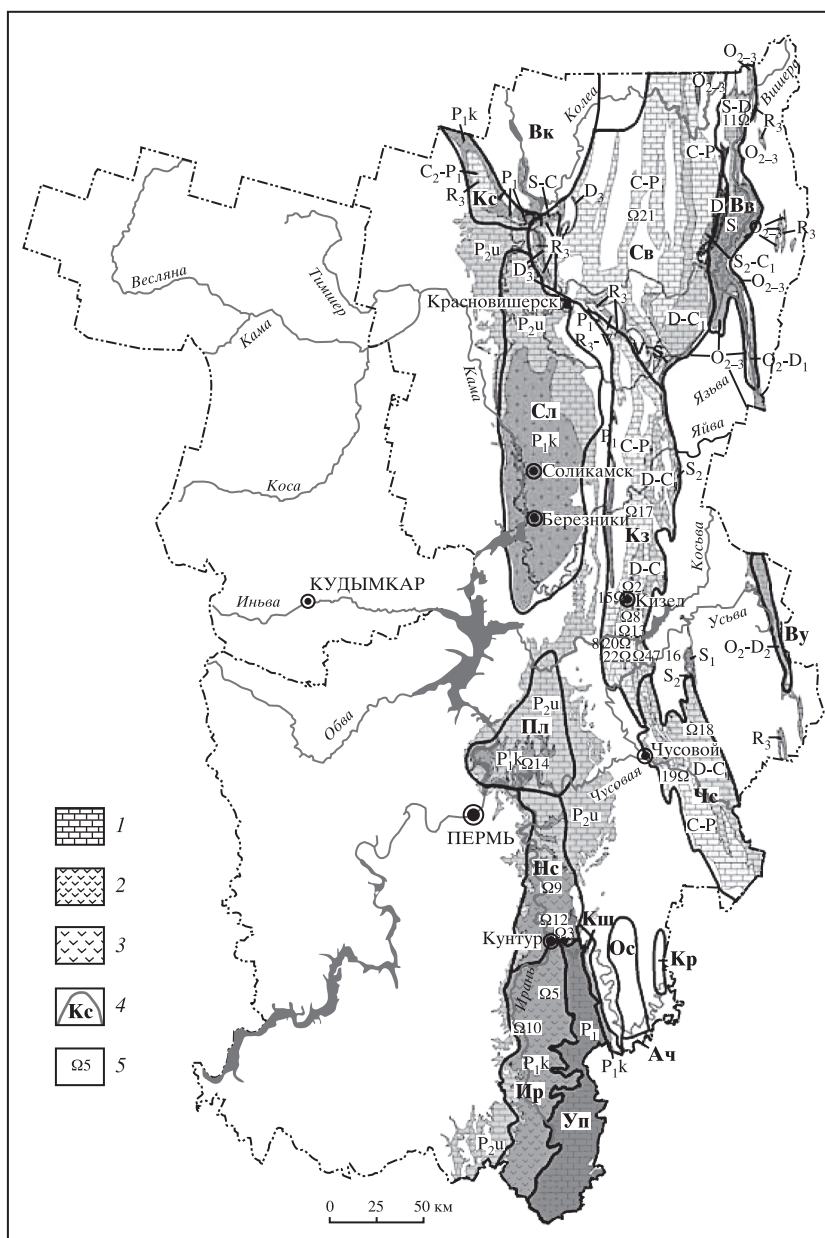


Рис. 1. Районы развития активного карста на территории Пермского края. Литологические типы карста: 1 – карбонатный, 2 – сульфатный, 3 – каменной соли; 4 – границы карстовых районов; 5 – местоположение крупных спелео-объектов.

ежегодные наблюдения за переформированием закарстованных берегов Камского водохранилища. Результаты стационарных исследований органично дополнялись результатами геолого-карстологических экспедиционных исследований, проводимых в рамках государственных геологосъемочных работ, специальных карстологических исследований и исследований в рамках инженерно-геологического обоснования устойчивости инженерных объектов различной степени ответственности. С середины 90-х гг. XX в. в крае на-

чинается современный этап исследований, напрямую связанный с созданием теоретических основ и практических схем карстомониторинга. В 2002–2003 гг. в рамках областной целевой комплексной программы “Охрана окружающей среды Пермской области на 2001–2005 гг.” были выполнены работы по обоснованию и созданию системы карстового гидролитомониторинга: газо- и нефтепроводы, финансируемые областной администрацией. С 2004 г. по настоящее время на территории края учеными и специалистами ведутся

работы по обоснованию параметров оценки карстоопасности территорий градопромышленных агломераций и созданию крупномасштабных прогнозных схем карстоопасности урбанизированных территорий. Применительно к этим территориям разрабатываются методические рекомендации по организации системного мониторинга. В 2004 г. в соответствии с планом геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы по объекту “Мониторинг экзогенных геологических процессов на территории Пермской области” была разработана программа “Обеспечение безопасной жизнедеятельности населения на закарстованных территориях Пермской области”, фактически явившаяся рамочной программой организации системы карстомониторинга. С 2006 по 2010 гг. администрацией Пермского края финансировались работы по созданию системы карстомониторинга в рамках отдельной темы “Мониторинг закарстованных территорий Пермской области”.

Параллельно с исследовательскими велись работы по созданию нормативной базы края применительно к изыскательской и строительной деятельности на закарстованных территориях. К концу 2004 г. было завершено создание территориальных строительных норм “Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области” (ТСН 11-301-2004 По). Документ введен в действие с 01 января 2005 г. С 01 февраля 2006 г. введен в действие еще один нормативный документ «Территориальные строительные нормы “Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края”» (ТСН 22-304-06). Оба документа предусматривают необходимость проведения мероприятий, являющихся тем или иным элементом карстомониторинга (например, комплекс стационарных наблюдений) [17, 20].

Общие итоги проведенных работ могут быть сформулированы следующим образом.

1. Применительно к территории Пермского края в целом решены методологические вопросы картирования, районирования, инженерно-геологической оценки закарстованных территорий разных иерархических уровней.

2. Сформулированы и сведены в единые документы территориального применения мероприятия инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях и прогноза карстовой опасности, нормы проектирования зданий и сооружений разных типов ответственности, их конструктивной защиты. Территориальные нормы содержат объективные рекомендации, учи-

тывающие специфику развития карста, опыт проведения исследований и изысканий на закарстованных территориях, накопленный проектными, изыскательскими, научными организациями.

3. Подготовлены теоретические, практические и нормативные основы создания региональной системы мониторинга карстовых процессов.

Этапное приложение полученных результатов – работы, направленные на создание собственно системы карстомониторинга, что, учитывая специфику развития и проявления карстовых процессов на территории края, весьма сложная проблема.

Введению на территории края системы карстомониторинга должен предшествовать ряд мероприятий, часть которых – преимущественно прогнозные элементы этой системы, реализующиеся в настоящее время, а часть организационно-информационные, реализация которых должна быть выполнена при взаимодействии администраций заинтересованных муниципальных образований, краевой администрации, органов МЧС, научных и производственных организаций, имеющих опыт исследований на закарстованных территориях.

В блок общих мероприятий как основы организации системы карстомониторинга были включены следующие работы:

- разработка структуры и принципов функционирования многоуровневой системы карстомониторинга Пермского края как части мониторинга опасных геологических процессов федерального уровня с нормативно-правовым и финансовым обоснованием планируемых мероприятий;

- выполнение региональной оценки степени пораженности территории Пермского края карстовыми и карстово-суффозионными деформациями;

- создание схемы размещения инфраструктуры хозяйственной деятельности на закарстованных территориях Пермского края;

- выполнение типизации реципиентов карстового риска и оценка их уязвимости для карстовых деформаций различных размеров, включающая реестр инженерных сооружений повышенной степени ответственности, расположенных в пределах закарстованных территорий, и экспертная оценка их эксплуатационной устойчивости;

- разработка принципов и критериев ранжирования и картографирования карстовой опасности, расчета экономического, социального и индивидуального риска потерь при реализации катастрофических карстовых явлений;

- оценка плотности распределения национальных ресурсов в пределах реципиентов карстового риска на оцениваемой территории;

- производство прогнозной оценки карстовой опасности и карстового риска применительно к территории Пермского края;

- создание интегрированного информационного модуля “Карстоопасность”, совмещенного с информационными системами регионального и федерального уровней организации мониторинга опасных геологических процессов;

- обоснование комплексов мероприятий по организации мониторинга карстовых процессов на региональном, субрегиональном и территориальном уровнях в пределах площадей развития хлоридных, сульфатных и карбонатных отложений, находящихся в сфере различных типов техногенного воздействия;

- разработка и обоснование методических комплексов прогнозирования возникновения и развития деформаций (долговременных и катастрофических) геологической среды, учитывающих особенности строения, свойства закарстованных массивов, типы техногенного воздействия;

- разработка и обоснование структуры наблюдательных постов, режима наблюдений и параметров наблюдения, создание программы мониторинга территориального уровня;

- предварительное крупномасштабное (рабочий масштаб 1:10 000 и крупнее) карстологическое районирование городских территорий Пермского края, расположенных в районах развития различных литологических типов карста;

- выделение и обоснование типовых геолого-геофизических моделей участков высокой степени карстоопасности в пределах сфер влияния гражданских и промышленных объектов;

- локализация зон карстоопасности в пределах выделенных участков;

- разработка и обоснование режима и методов ведения карстомониторинга территориального уровня;

- создание проекта организации наблюдательной сети территориального карстомониторинга (на примере территории г. Кунгура, инженерно-геологических полигонов на трассах магистральных газопроводов);

- организация и ведение мониторинговых мероприятий на участках повышенной карстоопасности в пределах территорий муниципальных образований с последующей оптимизацией системы мониторинга;

- обоснование методов минимизации негативного воздействия карстовых деформаций в основаниях зданий и сооружений, разработанных на основе данных карстомониторинга различных территориальных уровней;

- создание моделей оперативного информирования органов государственной власти, организаций и других субъектов хозяйственной деятельности об изменениях состояния геологической среды и эксплуатационной надежности инженерных сооружений в пределах территорий развития карстового процесса в установленном порядке в целях принятия своевременных управленческих решений на основе использования информационной системы “Карстоопасность” и муниципальных ГИС.

Результатом решения перечисленных вопросов должно быть создание научно обоснованной системы прогноза карстовой опасности и снижение рисков комплексного освоения закарстованных территорий.

Как было отмечено выше, с 2006 г. рядом организаций по заданию Департамента промышленности и природопользования Министерства промышленности и природных ресурсов края были начаты работы по объекту “Мониторинг закарстованных территорий Пермской области”. Эти работы предполагали разработку программы мониторинга; создание электронных баз данных и карт фактического материала масштаба 1:5 000 – 1:10 000 территорий городов и поселков, расположенных в закарстованных районах; районирование закарстованных территорий по степени потенциальной карстоопасности (регионального и территориального уровней); оценку состояния зданий и сооружений на урбанизированных закарстованных территориях с разработкой структуры специального кадастра; инженерно-геологическую типизацию закарстованных территорий по степени устойчивости к техногенным воздействиям; оценку эксплуатационной надежности зданий и сооружений повышенного уровня ответственности; обоснование противокарстовых мероприятий; обоснование системы комплексного карстомониторинга различного уровня.

При анализе степени карстоопасности в пределах градопромышленных агломераций и организации системы прогноза карстового и сопутствующих ему процессов очевидным является комплексное решение ряда проблем. Наиболее важные проблемы, их формулировка и основные предполагаемые результаты представлены в следующих разделах данной работы.

СОЗДАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ СИСТЕМЫ КАРСТОМОНИТОРИНГА

Постановка проблемы

Оценка степени устойчивости территорий проявления практически любого типа карста основывается на анализе конкретных обстановок возникновения и развития карстового процесса. Должны быть проанализированы

– геоморфологические условия (тип обстановки: приустьевой, склоновой, междуречной, их гипсометрическое соотношение),

– тектоническое и геолого-литологическое строение (условия залегания карстующихся пород и покровных отложений, их мощность, петрографический состав, состояние, трещиноватость, наличие зон тектонических нарушений и неотектонической активности, характер переслаивания карстующихся и некарстующихся пачек и прослоев, мощность, состав и состояние рыхлых перекрывающих отложений и карстово-обвальных образований),

– гидрогеологическая обстановка (тип гидродинамического профиля, наличие и мощность зон циркуляции карстовых вод, их связь с водами других горизонтов и поверхностными водами, химический состав вод и агрессивность их по отношению к карстующимся породам, гидрогеологические параметры водоносных горизонтов),

– характер, тип и интенсивность карстопроявлений (встречаемость полостей, разрушенных и ослабленных зон, их положение в разрезе, наличие поверхностных карстопроявлений, пещер, их особенности, тип, частота и размеры карстовых деформаций земной поверхности и другие количественные показатели карста),

– характер влияния техногенных факторов.

В случаях дополнительного освоения или срочного анализа и прогноза устойчивости территорий, действующих промышленных зон или участков городской застройки типичны ситуации, когда необходимо дать обоснованное заключение по ограниченной площади с плотным размещением инженерных объектов, ограничивающим возможности применения горнопроходческих и геофизических методов исследований. Такие территории характеризуются, как правило, одним типом геологического и гидрогеологического строения, слабым выражением элементов естественного рельефа или техногенно измененным рельефом, отсутствием выходов карстующихся пород на поверхность. В подобных случаях наряду с традиционными методами исследований карста требуется применение нетрадиционных методов анализа карстологической ситуации.

В итоге всех мероприятий по подготовке организации карстомониторинга территориального уровня должна быть разработана структура и создан общий банк данных результатов геологосъемочных, инженерно-геологических, гидрогеологических, геофизических работ – основы для разработки специализированных баз данных и создания территориальной (муниципальной) геоинформационной системы [5].

Предполагаемые результаты

Теоретические:

– научнообоснованные принципы создания универсальных методических комплексов (исследовательских, картографических) анализа обстановок развития различных литологических типов карстового процесса и возникновения карстовых деформаций в условиях территорий градопромышленных агломераций;

– теоретически обоснованные принципы и критерии создания структуры банка данных результатов геолого-съемочных, инженерно-геологических, гидрогеологических, геофизических, карстологических исследований территориальных образований;

– теоретически и практически обоснованные варианты схем размещения пунктов наблюдательных сетей карстомониторинга территориальных образований.

Практические:

– исследовательские методические комплексы, адаптированные к условиям развития и проявления карста различных литологических типов в пределах градопромышленных агломераций и учитывающие особенности размещения инженерных объектов на исследуемой территории;

– специализированные банки данных результатов исследований как основы создания территориальных (муниципальных) геоинформационных систем;

– картографические модели условий и факторов карстопроявлений в пределах конкретных территориальных образований как основы анализа за карстового риска;

– технические задания на размещение пунктов наблюдательных сетей территориального уровня карстомониторинга.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ КОМПОНЕНТА

Постановка проблемы

Элементы разрывной тектоники, зафиксированные наземными или дистанционными методами, тип геологического разреза, мощности покровных отложений и элементы подземного рельефа кровли карстующихся пород в разной степени контролируют распределение поверхностных и подземных форм карста, моделируют подземное пространство и должны быть учтены при карстологической оценке территории. Перечисленные факторы, определяя критерии геолого-структурного анализа,

должны учитываться в комплексе, они дополняют друг друга и в совокупности определяют специфику геологической основы, на которой развивается карстовый процесс.

В условиях городских и градопромышленных агломераций одна из первостепенных задач – обоснование комплекса структурно-геологических показателей активности карстового процесса с целью прогнозного районирования исследуемых территорий и построение крупномасштабных специализированных карт (рабочий масштаб 1: 5 000; 1: 10 000).

Основные предполагаемые результаты

Теоретические:

– закономерности локального соотношения поверхностных и подземных карстовых форм, особенностей строения массива горных пород в основании инженерных сооружений, состояния пород и отложений массива, элементов подземного рельефа кровли карстующихся пород и элементов рельефа земной поверхности в условиях городской и промышленной застройки;

– теоретическое обоснование комплекса структурно-геологических показателей активности карстового процесса в целях прогнозного районирования территорий городских и градопромышленных агломераций и построения прогнозных карт масштаба 1:5 000; 1:10 000);

Практические:

– комплекс структурно-геологических прогнозных показателей состояния геологической среды, позволяющий локализовать участки активного развития карстового процесса с высоким потенциалом провальных явлений, для целей срочных прогнозных построений провалоопасности на территориальном и объектном уровнях организации мониторинга.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПОНЕНТА

Постановка проблемы

В массивах горных пород, в том числе и карстовых, существует эффект локальных динамических изменений гидрогеологических параметров, пространственно связанный с зонами и участками повышенной плотности трещин, дробления, зонами разломов. Эффект усиливается в пределах площадей неотектонической активности. Здесь удельные водопритоки достигают максимумов, резко повышается минерализация подземных вод. Изменения имеют широкий диапазон периодов, в том числе и внутрисуточный.

Динамические изменения параметров водообильности и химического состава подземных вод являются показателем локальной активности гидрогеологических процессов, в том числе процессов подземной эрозии и растворения – участки и зоны динамического изменения гидрогеологических параметров это места потенциального развития подземных карстовых пустот и провальных карстовых явлений, которые должны быть выявлены и учтены при организации наблюдательной сети мониторинга.

Предполагаемые результаты

Теоретические:

– закономерности динамических изменений параметров водообильности и химического состава подземных вод как показатель локальной активности гидрогеологических процессов, в том числе процессов подземной эрозии и растворения – участки и зоны потенциального развития подземных карстовых пустот и провальных карстовых явлений.

Практические:

– гидрогеологические параметры с короткими циклами вариаций, используемые для целей срочных прогнозных построений провалоопасности на территориальном и объектном уровнях организации карстомониторинга.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПОНЕНТА

Постановка проблемы

Основной недостаток в количественной оценке закарстованности (до и после ввода специальных нормативных документов федерального уровня, например, СНиП 22-01-95) – отсутствие строгих терминологических определений показателей карста, их общепринятых обозначений и способов вычисления, что затрудняет использование опыта исследователей.

Комплексное изучение закарстованных территорий с применением различных методов и методик при разном сочетании их в зависимости от конкретной обстановки позволяет достаточно объективно оценить карстоопасность. Среди методов оценки устойчивости закарстованных территорий выделяются следующие группы: I – инженерно-геологического анализа; II – инженерно-геологических аналогий; III – расчетные (статистические и аналитические); IV – моделирования (физического, математического, химико-кинетического и др.); V – режимных (стационарных) наблюде-

ний. В практике инженерно-строительных изысканий наиболее широко используются методы I и II групп, в меньшей степени из-за сложности изучения и оценки физико-механических свойств карстово-обвальных образований методы III и IV групп. Режимные наблюдения на закарстованных территориях проводятся, как правило, на отдельных участках (объектах) эпизодически. Применительно к особенностям развития различных типов карста вопросы объективного комплексирования методов оценки устойчивости закарстованных территорий не решены.

На сегодняшний день не завершена работа по обоснованию принципов районирования и типизации закарстованной урбанизированной территории в целях прогноза провалоопасности, итогом которой является создание карты районирования урбанизированной территории по степени риска возникновения деформационных (в том числе провальных) карстовых и суффозионно-карстовых явлений.

Городские территории, расположенные в пределах развития карстующихся пород, в своем абсолютном большинстве в соответствии с действующими строительными нормами и правилами относятся к территориям со сложными геологическими и гидрогеологическими условиями строительства, что требует особого подхода к проектированию оснований и фундаментов, постоянного наблюдения за текущим состоянием зданий и сооружений. Практика проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях свидетельствует, что в ряде случаев ранее выбранные конструктивные и планировочные схемы размещения и устройства строений не соответствуют их безопасному состоянию надежности.

Рост плотности и этажности городской застройки, реконструкция старых зданий, часто, с утяжелением наземной части влечет за собой повышение риска возникновения аварий и катастроф. С течением времени техногенная нагрузка (статическая, динамическая от эксплуатируемых зданий и сооружений) на грунтовые основания фундаментов влечет изменения физико-механических и водных свойств грунтов, как правило, в сторону их ухудшения. Изменения свойств грунтов являются фактором активизации природно-техногенных процессов в грунтовых массивах, таких, например, как карст, подтопление, суффозия, эрозия и, как следствие, возникновение грунтовых деформаций и деформаций конструкций зданий и сооружений. В данных условиях получение объективных сведений о состоянии грунтовых оснований – сложная задача, решить которую

можно только на основании применения нетрадиционных комплексов исследований, в которых наряду с традиционными инженерно-геологическими исследованиями должны быть использованы методы геолого-геофизического моделирования, комплексы адаптированных методов инженерной геофизики.

Предполагаемые результаты

Теоретические:

- обобщение отечественного и зарубежного опыта инженерно-геологических исследований карста в пределах градопромышленных агломераций;
- обоснование максимально эффективного комплекса показателей интенсивности карстового процесса и способов их вычисления;
- обоснование методического комплекса оценки устойчивости закарстованных территорий применительно к особенностям карстопроявлений и интенсивности инженерной нагрузки в их пределах;
- закономерности и характер изменений первичных свойств грунтов оснований фундаментов, определяющих его несущие способности в зоне влияния инженерного сооружения в зависимости от типа, продолжительности и особенностей его эксплуатации;
- закономерности и характер изменения проектной работы фундаментов существующих зданий и сооружений в результате изменения физико-механических характеристик основания;
- обоснование критериев и принципов комплексирования методов геофизических исследований закарстованных территорий в пределах градопромышленных агломераций, определение условий адаптации расчетных геолого-геофизических моделей состояния верхней части разреза к целям прогнозирования устойчивости закарстованных территорий.

Практические:

- комплекс методов оценки устойчивости закарстованных территорий, основанный на опыте инженерно-геологических исследований и эффективных расчетных показателях, соответствующий основным требованиям нормативных документов федерального уровня и учитывающий особенности развития и проявления деформационных карстовых явлений на исследуемой территории;
- количественные показатели тенденций изменения водных и физико-механических свойств грунтов в основаниях инженерных сооружений во времени;
- показатели фактической несущей способности и устойчивости оснований фундаментов;

– качественно-количественные геолого-геофизические модели состояния и свойств геологической среды, осложненной развитием карстовых форм и находящейся под воздействием статических и динамических нагрузок от инженерных сооружений.

КАРСТОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОТИВОКАРСТОВОЙ ЗАЩИТЫ

Постановка проблемы

Один из важнейших вопросов карстологического прогноза в условиях урбанизированных территорий – точное установление условий и причин возникновения (генезиса) карстовых и карстово-суффозионных деформаций. Основой прогнозных решений является понимание механизма реализации карстового процесса в целом и механизма реализации карстовых деформаций в частности. Глубина залегания карстующихся пород и положение возникающих деформаций относительно активной зоны оснований сооружений (сжимаемая зона оснований сооружений) определяют комплекс и трудоемкость методов карстологических исследований и мероприятий противокарстовой защиты.

Под противокарстовыми понимаются специальные инженерные мероприятия. Мероприятия могут быть планировочного, конструктивного, геотехнического, гидрогеологического, строительного-технического и эксплуатационного характера. Мероприятия должны быть направлены на предотвращение или уменьшение нарушений расчетной работоспособности сооружений, как правило, за счет возникновения деформаций в их грунтовых основаниях, и обеспечение безопасности людей, эксплуатирующих эти сооружения. Нарушения расчетной работоспособности сооружений вызывают последствия экономического и социального характера.

Практикой моделирования карстовых деформаций и практикой их инженерно-геологических исследований установлено, что геологическое строение конкретной территории, конкретный геологический тип карста обуславливают определенный тип и механизм развития деформаций земной поверхности.

В практике инженерной геологии в целом и инженерного карстования в частности отсутствуют единые нормы проектирования зданий и сооружений на закарстованных территориях. Различные аспекты проектирования в условиях карста кратко излагаются в соответствующих стро-

ительных нормах и правилах в виде отдельных пунктов, что затрудняет организацию комплексного подхода к защите сооружений от возможного влияния карстовых деформаций во время всего периода существования данных сооружений. Типизация деформационных явлений в пределах территорий городов и градопромышленных агломераций, расположенных в условиях развития различных типов карста, позволит прогнозировать возникновение тех или иных типов деформаций и объективно выбирать наиболее эффективный тип противокарстовой защиты или их комплекс.

Предполагаемые результаты

Теоретические:

- закономерности проявления карстовых деформаций определенного типа в установленных условиях геологического строения территории и ее гидрогеологических особенностей;
- критерии прогноза возникновения и механизма развития деформаций земной поверхности в определенных условиях развития карста, включая фактор техногенной нагрузки.

Практические:

- методы прогноза развития карстовых деформаций во времени в конкретных геолого-гидрогеологических условиях;
- инженерные методы расчета и обоснование конструктивных мероприятий, позволяющих обеспечить надежную работу фундаментов при ухудшении характеристик основания на закарстованных территориях;
- региональные нормативные документы по эксплуатации и реконструкции фундаментов существующих зданий и сооружений на закарстованных урбанизированных территориях;
- региональные нормативные документы по проектированию фундаментов вновь строящихся зданий и сооружений в условиях ухудшения физико-механических характеристик основания на территориях развития карстового процесса;
- варианты комплексов мероприятий противокарстовой защиты различных типов инженерных зданий и сооружений, адаптированные к различным обстановкам возникновения карстовых и карстово-суффозионных деформаций.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ ОСНОВ КАРСТОМОНИТОРИНГА

Основные виды запланированных и выполненных работ помимо общего анализа закарстованности территорий в пределах административных

районов и городов и поселков края были ориентированы на участки городских агломераций, где выявлены здания и сооружения с признаками деформаций наземной части.

Основные виды работ, направленные на разработку и создание системы территориального и объемного уровней карстомониторинга, включали:

- анализ пространственного распространения и морфометрических параметров подземных карстовых форм (полостей) и карстовых деформаций поверхности (воронок и провалов);
- изучение и анализ состава и свойств (водно-физических и физико-механических) карстующихся пород и перекрывающих отложений;
- изучение и анализ состава подземных вод и динамики подземных вод.

Все работы были направлены на получение следующих конкретных результатов:

а) выявление комплекса показателей – комплекса объективных параметров системного мониторинга состава, строения и состояния геологической среды, характеризующего оптимальное сочетание этих параметров для возникновения и развития поверхностных и подземных карстовых форм;

б) определение количественных параметров комплексных показателей и ранжирование выявленных параметрических интервалов показателей по степени их соответствия условиям возникновения и развития конкретной подземной карстовой полости, возникновения карстовой деформации на конкретном участке поверхности земли;

в) создание методического комплекса аналитической обработки поступающей информации;

г) создание геоинформационных моделей развития карстового процесса для районов и участков развития сульфатного, карбонатно-сульфатного и карбонатного карста, включающих прогнозные показатели, определяющие степень карстовой опасности и устойчивости территории;

д) разработку общих требований, идеологии и структуры информационной системы состояния закарстованных территорий и создание специализированного программного продукта для обработки показателей системного мониторинга, расчета карстоопасности и оценки карстовых рисков как автоматизированного рабочего места – основного модуля информационной системы.

Объектами исследований для отработки принципов создания систем регионального и территориального уровней мониторинга явились закарстованные массивы горных пород, сложенные в

их коренной части толщей гипсов и ангидритов (сульфатный тип карста), или чередованием толщ гипсоангидритов и известняков (сульфатно-карбонатный тип карста), или толщей известняков и доломитов (карбонатный тип карста).

Изначально территория края была оценена с позиций возникновения рисков потерь на закарстованных территориях.

Оценка карстового риска проведена по методике Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, адаптированной к территории Пермского края. Были рассчитаны карстовый физический и карстовый экономический риски. Карстовый экономический риск разделен на две составляющие: риск для промышленности и для сельского хозяйства. По результатам региональной оценки риска были сделаны выводы о необходимости организации территориального мониторинга в районах с повышенными рисками [3].

Исходя из принятого нами определения, наиболее общие задачи создания основ карстомониторинга объединяются в взаимодополняющие блоки работ, а именно:

✓ **сбор, хранение и обновление** данных о состоянии и изменении свойств геолого-гидрогеологической среды (толщи пород, вовлеченной в процесс карстообразования), карстовых явлениях, подземных и поверхностных формах карста;

✓ **анализ данных** в целях оценки состояния среды и прогноза ее изменений;

✓ **многопрофильную интерпретацию** полученных результатов анализа для принятия оперативных или стратегических решений в целях снижения или устранения рисков комплексного освоения закарстованных территорий, обоснования сети наблюдательных постов, выбора показателей и критериальных интервалов этих показателей;

✓ **создание интегрального информационного ресурса** (рис. 2).

На первом этапе работы по созданию баз данных об особенностях геолого-гидрогеологического строения и закарстованности были сконцентрированы на районах развития сульфатного и сульфатно-карбонатного карста, где интенсивность провалообразования наиболее высока, и где наиболее высоки показатели физических рисков. В качестве “пилотных” для отработки мероприятий по созданию системного карстомониторинга и в первую очередь комплексной оценки опасности карста были выбраны урбанизированные тер-



Рис. 2. Основные функциональные элементы системы карстомониторинга.

ритории, наиболее изученные в карстологическом отношении.

Последующие этапы работ были связаны с территориями развития карбонатного карста – районы, приуроченные к Западно-Уральской зоне складчатости, и территории Уфимского плато.

В процессе выполнения работ для карстологической оценки применялся авторский комплекс методов, апробированный на различных территориальных объектах Пермского края. Это сочетание методов специализированного картографирования (картографическое 2- и 3-мерное моделирование) с использованием ГИС-технологий и последующим выявлением закономерностей пространственного соотношения форм карста и особенностей геологического, структурно-тектонического, гидрогеологического, геоморфологического строения территории; методов математической статистики (обработка числовых параметров), включая графическое моделирование – построение диаграмм и статистических таблиц, двухмерный корреляционный анализ и однофакторный дисперсионный анализ; методов концептуального моделирования [22]. Все графические построения выполнены на основе специфических баз данных, созданных и постоянно возобновляемых по результатам инженерно-геологических, гидрогеологических, геоморфологических, карстологических, спелеологических изысканий и исследований. В качестве “заверочных” применены буровые работы “на карст”, методы электроразведочной и сейсморазведочной геофизики.

Сбор, хранение и пополнение первоначальных данных формируются в отдельное направление

работ, которое заключается в создании специализированных территориальных БД, несущих комплексную информацию о геолого-гидрогеологических условиях развития карстового процесса. Основное информационное содержание создаваемых баз данных по “пилотным” территориям представлено ниже:

- зафиксированные поверхностные карстопоявления, их морфометрические особенности и пространственная локализация;
- встреченные при бурении карстовые полости и зоны повышенной раздробленности пород с их качественной и количественной характеристикой;
- геологическое строение территории, выражающееся в виде мощностей четвертичных, неоген-четвертичных и коренных карстующихся отложений, их абсолютных отметок и глубин залегания;
- гидрогеологическое строение территории, содержащее данные об абсолютных отметках, глубинах и времени вскрытия тех или иных водонесных горизонтов, о напоре подземных вод;
- физико-механические и водно-физические свойства грунтов, включающие основные инженерно-геологические и гидрогеологические показатели их состояния и особенности поведения под нагрузкой;
- химический состав подземных вод, выраженный в содержании основных химических компонентов, жесткости, минерализации и других свойств воды, а также их классифицирование по действующим стандартам.

Базы данных в дальнейшем преобразуются в электронные банки данных результатов инженерно-геологических и иных изысканий и исследований на конкретных территориях.

Отдельное направление работ составляет анализ баз данных с целью выявления закономерностей пространственного соотношения показателей состояния геолого-гидрогеологической среды и закартированных карстопоявлений. Данное направление включает четыре блока мероприятий, а именно:

✓ экспертную оценку качественных и количественных данных состояния геологической среды исследуемой территории и выявление оптимальных параметров возникновения и развития карстовых явлений;

✓ картографическое моделирование – анализ строения массива пород и создание комплекса тематических карт и трехмерных моделей по различным параметрам его состояния, с отражением пространственного сочетания с зафиксированными карстопоявлениями;

✓ графическое моделирование – установление закономерностей количественного распределения карстовых форм в зависимости от их принадлежности к участкам с различными параметрами строения массива путем построения специализированных диаграмм;

✓ математическое моделирование – обоснование имеющихся зависимостей между изучаемыми показателями и количеством карстовых форм, а также выделение критериев опасности с использованием математического аппарата.

Экспертная оценка подразумевает выделение в составе всей совокупности признаков-факторов, действующих в рамках конкретного показателя и влияющих на распределение карстовых форм, трех интервалов – одного опасного и двух неопасных. Границы между условно опасным и неопасными интервалами устанавливаются по резкому уменьшению (увеличению) количества карстопоявлений на гистограммах частоты их встречаемости соответственно значениям конкретного показателя строения территории. В пределы опасного интервала “попадает” наибольшее количество карстопоявлений. В случае нескольких максимумов встречаемости карстовых форм по значениям исследуемого показателя (неоднородность распределения) может быть выделено два и более опасных интервалов значений. Результаты экспертной оценки оформляются в виде соответствующих таблиц.

Картографическое моделирование предполагает построение тематических карт, комплекс которых позволяет провести пространственный ана-

лиз и сопоставление тех или иных показателей в пределах анализируемой территории. Как правило, для муниципальных образований создается картографический комплекс в масштабе 1:10 000. Для территорий, расположенных в пределах развития сульфатно-карбонатного карста, созданы картографические комплексы, в составе которых в качестве основных создавались следующие картографические модели:

- карта фактического материала;
- карта плотности распространения карстовых и карстово-суффозионных воронок;
- карта плотности распространения зафиксированных карстовых провалов;
- карта изогипс кровли подстилающих отложений;
- карта мощности карстующихся отложений;
- карта мощности первой от поверхности карбонатной пачки иренского горизонта;
- карта мощности неоген-четвертичных обвально-карстовых отложений;
- карта мощности четвертичных отложений;
- карта распространения типов геологических разрезов;
- карта гидроизогипс вод четвертичного комплекса;
- карта гидроизогипс горизонта вод обвально-карстовых отложений;
- карта гидроизогипс горизонта вод карстующихся отложений;
- карта распространения фациального состава (за период наблюдений) вод водоносного горизонта в карстующихся породах.

Содержание картографических комплексов может дополняться в зависимости от специфики геологического строения территории, конкретной карстологической ситуации или конкретной решаемой задачи (рис. 3). Например, для территории г. Кунгур картографический комплекс включает 50 наименований.

Помимо специализированных картографических моделей создаются карты, построенные по традиционно используемым показателям карстовой опасности, например, по интенсивности провалообразования и среднему диаметру провалов.

Построение картографических моделей сопровождается графическим моделированием – установлением пространственных закономерностей количественного распределения карстовых форм в зависимости от их принадлежности к участкам с различными параметрами строения массива пу-

Интервалы показателей карстоопасности по результатам экспертной оценки

Показатель	Интервалы значений показателей, характеризующие факторы относительно активного развития карста			
	г. Кунгур	Полазненский полуостров	Кишертский район	Общий интервал по районам
1. Показатели геологического строения				
Мощность четвертичных отложений, м	5–25	5–20	10–20	10–20
Мощность неоген-четвертичных обвально-карстовых отложений, м	менее 20	менее 10 – 30	менее 10–30	менее 10–20
Мощность перекрывающих отложений, м	10–35	10–40	10–30	10–30
Абсолютные отметки залегания кровли иренских сульфатно-карбонатных отложений, м	100–130 140–170	60–70 80–100 110–140	90–110	100–110
2. Показатели гидрогеологического строения (данные получены с учетом установившегося уровня подземных вод)				
Абсолютные отметки залегания вод четвертичного аллювиально-делювиального комплекса, м	110–180	105–110 170–175	115–125	–
Абсолютные отметки залегания подземных вод неоген-четвертичных обвально-карстовых отложений, м	110–130	100–110 140–150	115–125	115–110
Абсолютные отметки залегания подземных вод иренских карбонатно-сульфатных отложений, м	105–125	110–115	115–120	115–120
Глубина залегания вод четвертичного аллювиально-делювиального комплекса, м	2–8	1–3	менее 5–10	2–3
Глубина залегания подземных вод неоген-четвертичных обвально-карстовых отложений, м	10–40	менее 15–20 25–30	20 – более 30	20–40
Глубина залегания подземных вод иренских карбонатно-сульфатных отложений, м	20–40 более 70	менее 50–65	25–30	25–30
Средняя минерализация вод иренского водоносного горизонта, г / дм ³	2–6	менее 2–4	2–3	2–3
Гидрохимическая фация подземных вод иренских карбонатно-сульфатных отложений (по Г.А. Максимовичу)	SO ₄ –Ca–HCO ₃	SO ₄ –Ca	SO ₄ –Ca–HCO ₃	SO ₄ –Ca

тем построения специализированных диаграмм. В итоге строятся графические модели вариаций показателей (спектра значений), адаптированных в пространстве (участок с привязкой, геологическое строение – тип разреза, литологически однородная толща, литологический комплекс, отдельное внимание на близость карстовых деформаций, близость деформированных зданий) и во времени (изменчивость по годам) (рис. 4).

Математическое моделирование – обоснование имеющихся зависимостей между изучаемыми показателями и количеством карстовых форм, а также выделение критериев опасности с использованием математического аппарата реализовано через комплекс математических показателей и расчетных формул для выявления степени карстовой опасности:

- корреляционный анализ – определение тесноты связи между площадным распространением

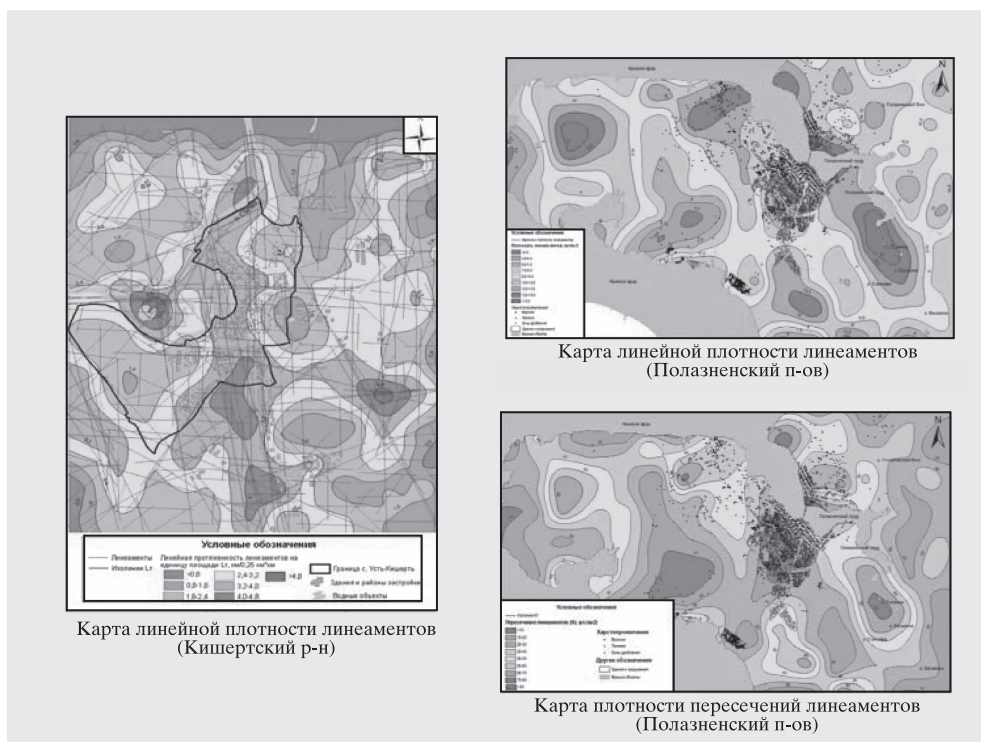


Рис. 3. Примеры тематических карт.

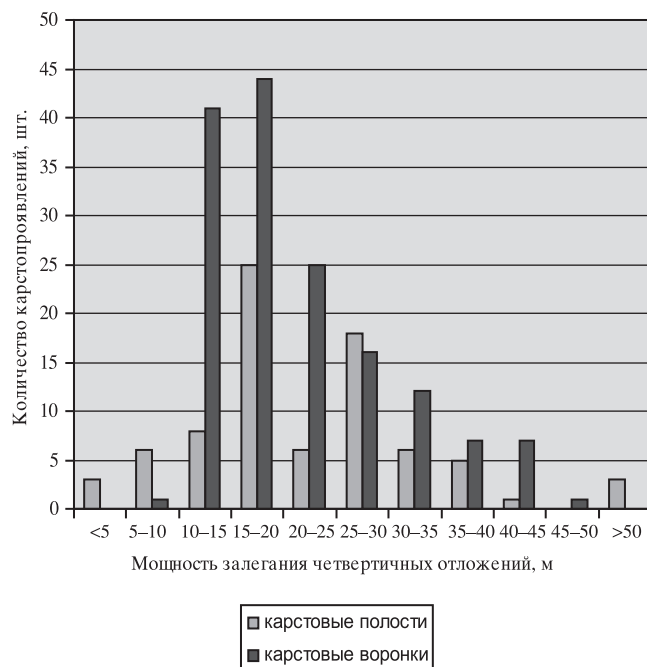


Рис. 4. Гистограмма частоты встречаемости карстовых форм в пределах территорий с различными мощностями залегания четвертичных отложений.

территорий с тем или иным состоянием геологической среды и сочетанием в их пределах карстовых форм;

- однофакторный дисперсионный анализ – выявление влияния фактора геолого-гидрогеологического строения толщи на карстовую активность, выражаемую количеством карстовых форм;
- подбор теоретического закона распределения для описания наблюдаемой эмпирической зависимости между интервалами значений показателя строения массива и количеством карстопроявлений;
- расчет суммарной карстовой опасности по всем исследованным показателям балльным и вероятностно-статистическими методами.

В итоге, на основе разработанной математической модели и алгоритма расчета оценки карстоопасности урбанизированных территорий с использованием двух расчетных методов оценки – балльного и вероятностно-статистического, изучаются основные особенности строения закарстованных территорий и определяется их влияние на активность карста с комплексным использованием показателей состояния геологической среды по пяти блокам: геологическое строение, структурно-тектоническое строение, гидрогеологическая обстановка, карстовые формы, инженерно-геологические показатели (физико-механические, водно-физические свойства). Пример интегральной

карты карстоопасности, как основы размещения территориальной наблюдательной системы мониторинга, представлен на рис. 5.

Логическим завершением работ по созданию основ системы карстомониторинга является информационный модуль “Карстоопасность”, выполненный в формате ГИС-проекта (рис. 6).

Для создания, обработки и анализа пространственных данных и последующего формирования картографического материала в качестве основной была использована ГИС ESRI ArcGIS 9.3.1. Конечные, оформленные в среде ArcGIS ArcMap электронные карты переводились в общедоступный формат посредством встроенного в программу дополнительного модуля Publisher. ArcGIS Publisher предоставляет возможность легко обмениваться и совместно использовать электронные карты и географические данные. Publisher конвертирует документы ArcMap (с расширением .mxd) и ArcGlobe (с расширением .3dd) в формат pmf – опубликованные файлы карт, с которыми

работает ArcReader. Опубликованные из ArcMap карты являются двумерными (2D), а публикации из ArcGlobe – трехмерными сценами (3D).

Пользовательская часть модуля состоит из набора электронных карт, связанных с соответствующими базами данных. Одна из особенностей организации ГИС-проекта – сведение всех картографических слоев воедино методом послойного наложения. Структурно модуль состоит из трех подсистем:

– *региональной*, состоящей из электронных картографических слоев в пределах территории Пермского края, служащих для привязки и размещения геологической, карстологической и иной информации общего назначения, векторизованных в масштабе 1:200 000. Все 26 слоев подсистемы для территории Пермского края представлены в системе координат Пулково 1942 года, зона 10;

– *территориальной*, состоящей из электронных карт, созданных в пределах границ административных районов края и содержащих всю имеющуюся на период создания геолого-карсто-

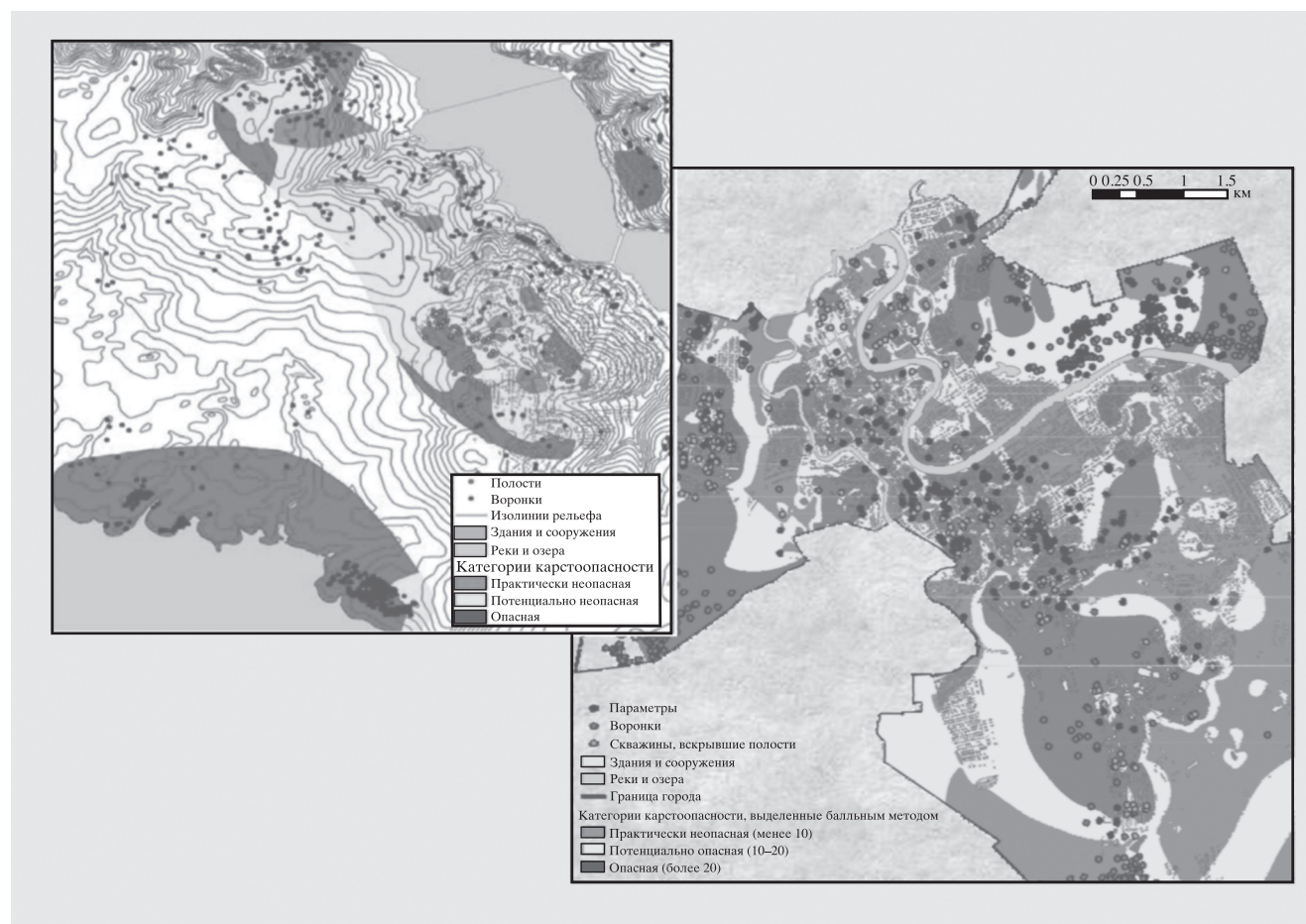


Рис. 5. Карты карстоопасности, построенные с использованием балльного и вероятностно-статистического методов.

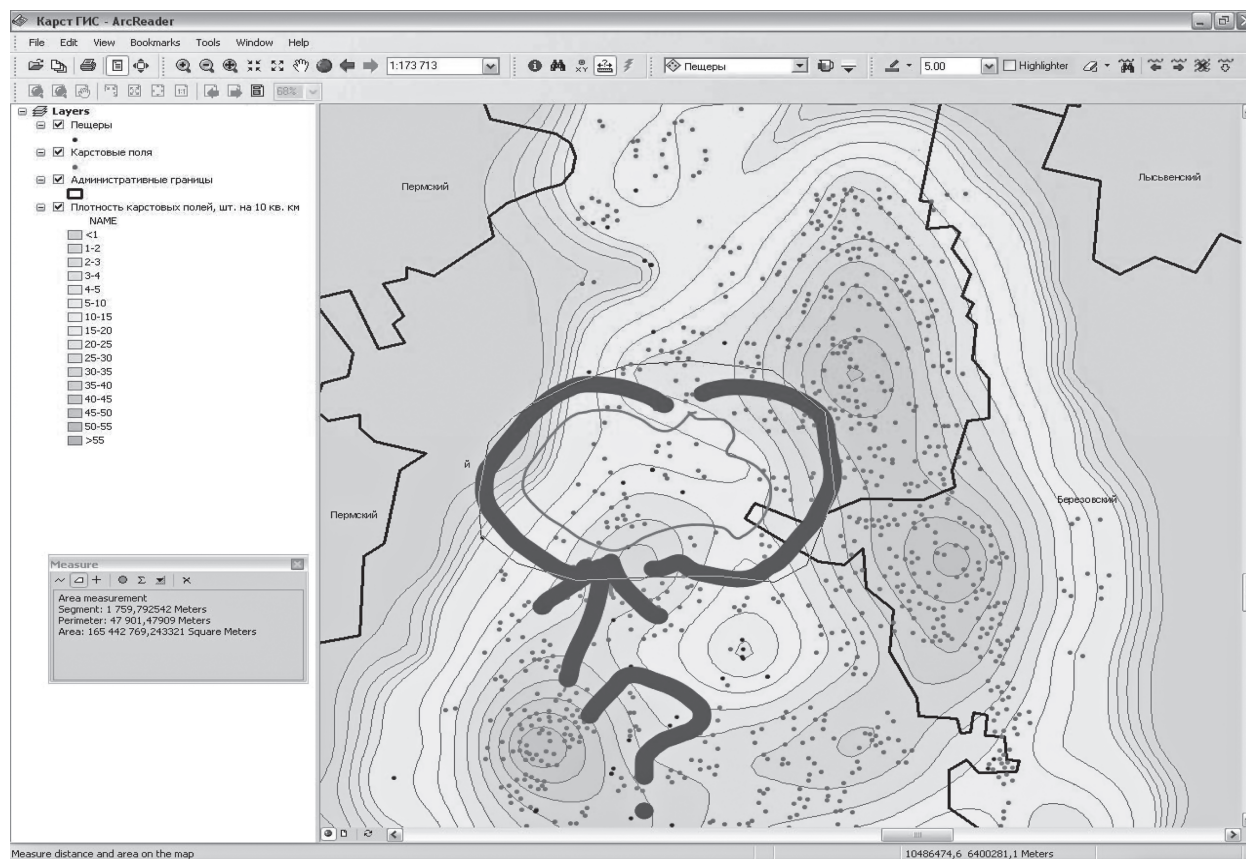


Рис. 6. Фрагмент пользовательской среды ГИС-проекта “Карстоопасность” с возможностями ручных зарисовок и определения длины периметра, площади выделенного объекта.

логическую информацию. Подсистема призвана детализировать информацию регионального уровня. Здесь приведены итоговые результаты оценки карстоопасности, полученные различными методами: балльным, вероятно-статистическим, методами, рекомендуемыми соответствующими нормативными документами;

– *специальной*, содержащей отдельные электронные карты, отражающие специфическую информацию общегеологического плана.

Все выполненные мероприятия объединены в целях создания прогнозных схем интенсивности развития опасных геологических и геолого-техногенных процессов на территориях, где карстовый процесс является одним из ведущих, с последующей корректировкой перспективных планов территориального освоения и развития инфраструктуры в границах конкретных административно-территориальных образований края.

Все мероприятия выполнены в целях повышения уровня защиты населения и инженерной инфраструктуры различного уровня ответственности в пределах территорий комплексного воздействия

карстового и сопутствующих ему иных опасных геологических процессов.

В процессе освоения закарстованных территорий, при получении новых данных состояния карстующегося массива в структуре ГИС-модуля производится переинтерпретация итоговых материалов (аналитических, картографических) в целях получения более объективной картины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеркаль О.В., Воронина Н.Е. Мониторинг карстового процесса в составе государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации // Карстоведение – XXI в.: теоретическое и практическое значение. Матер. Междунар. симп. Перм. ун-т. Пермь: 2004. С. 300–303.
2. Катаев В.Н. Особенности организации карстомониторинга на территории Пермского края // Проблемы и задачи инженерно-строительных изысканий. Проблемы инженерной геологии карста урбанизированных территорий и водохранилищ: матер. Всеросс. науч.-практ. конф. / Пермь: Перм. ун-т; ВерхнекамТИСИЗ и др. 2008. С. 134–141.

3. Катаев В.Н., Ардавичус Ю.А., Пентегова С.А. Опыт адаптации методов оценки карстовых рисков к территории Пермского края // Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Матер. Междунар. научно-практической конф. "ГЕОРИСК – 2009". Т. 2. М.: РУДН, 2009. С. 70–77.
4. Катаев В.Н., Костарев В.П., Малахов В.Е. Опасные геологические процессы и специфические грунты Пермской градопромышленной агломерации // Матер. Междунар. конф. "Город и геологические опасности". Ч.1. СПб, 2006. С. 83–90.
5. Катаев В.Н., Мокрушина О.Ю. Проблемы оценки карстоопасности и организации мероприятий карстомониторинга в пределах градопромышленных агломераций // Матер. Междунар. конф. "Город и геологические опасности". Ч.1. СПб, 2006. С. 90–98.
6. Костарев В.П. Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1990. 20 с.
7. Костарев В.П. Карстомониторинг – основа оптимизации строительного освоения закарстованных территорий // Охрана геологической среды в связи с народнохозяйственным освоением Прикамья. Пермь, 1990. С. 40–42.
8. Костарев В.П. Обязательный элемент мониторинга на территории Западного Урала // Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охраны окружающей среды. Пермь, 1997. С. 127–129.
9. Костарев В.П., Катаев В.Н. О карстомониторинге на трассах газо- и нефтепроводов Пермского края / М.: ГеоРиск. 2007. С. 24–26.
10. Методика изучения и прогноза экзогенных геологических процессов / Под ред. А.И. Шеко, В.С. Круподерова. М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. 216 с.
11. Методические рекомендации по организации и ведению государственного мониторинга экзогенных геологических процессов / Под ред. А.И. Шеко, В.С. Круподерова и др. М.: ВСЕГИНГЕО, 1997. 39 с.
12. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Энциклопедия / Под ред. А.И. Кудряшова. Раздел "Карст". Пермь, 2006. С. 124–139.
13. Мониторинг экзогенных геологических процессов. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 224 с.
14. Региональные нормативы по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород, 2011. 140 с.
15. Толмачев В.В., Иконников Л.Б., Леоненко М.В. Опыт проектирования карстологического мониторинга в г. Дзержинске Нижегородской области // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1999. № 5. С. 25–27.
16. Требования к составу информации для ведения государственного мониторинга экзогенных геологических процессов / сост. А.И. Шеко. М.: ВСЕГИНГЕО, 1995. 271 с.
17. ТСН 11-301-2004 По. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области. Пермь, 2004. 122 с.
18. ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород, 1999. 72 с.
19. ТСН 302-50-95 РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях / Госстрой Респ. Башкортостан. Уфа, 1996. 44 с.
20. ТСН 22-304-06. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края. Пермь, 2006. 52 с.
21. Шеко А.И. Методологические основы мониторинга экзогенных геологических процессов. М.: ГКНТ, 1982. С. 13–17.
22. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгура) // Уч. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2011. Т. 153, кн. 1. С. 203–224.

BASIS OF MONITORING SYSTEM ARRANGEMENT IN KARST-PRONE TERRITORIES (BY THE EXAMPLE OF PERM REGION)

V. N. Kataev

*Perm State University, ul. Bukireva 15, Perm, 614990 Russia.
E-mail: kataev@psu.ru*

Development of karst monitoring system in any specific territory appears to be a challenge. The monitoring system demands working out a preliminary decision and solving organizational and information problems. The paper presents the blocks of measures constituting the basis of karst monitoring system; which have been implemented for the most part in Perm region. Some of these measures are planned for the future.

Key words: *karst phenomena, karst hazard, forecast, karst monitoring.*