

Козловский Сергей Викторович

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СОЗДАНИЯ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ИНЖЕНЕРНОЙ
ГЕОЛОГИИ**

25.00.08 – Инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение.

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Работа выполнена в Открытом акционерном обществе «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве» (ПНИИС).

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Виктор Викторович Дмитриев
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Владимир Степанович Круподеров
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Эрнест Валентинович Калинин

Ведущая организация: Московский государственный строительный университет, кафедра Инженерной геологии и геоэкологии

Защита состоится 17 февраля 2011 года, в 15 часов 00 минут, в ауд. 5-49 на заседании диссертационного совета ДМ 212.121.01 при Российском государственном геологоразведочном университете (РГГРУ) имени С.Орджоникидзе, по адресу: г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, дом 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 117997, г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, д.23, РГГРУ, ученому секретарю диссертационного совета ДМ 212.121.01.

Автореферат разослан « 30 » декабря 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент

О.Е.Вязкова

ВВЕДЕНИЕ

Исследование и использование природных ресурсов, рациональное хозяйственное освоение, охрана природной среды и мониторинг, принятие практических решений, связанных с геологической средой, невозможны без достоверного информационного обеспечения. Создание геоинформационных систем (ГИС) геологической среды в инженерной геологии – одна из актуальных задач наступившего столетия.

Многообразие и многокомпонентность инженерно-геологических условий, сложноподчиненный характер взаимодействия между компонентами геологической среды, отсутствие единой строгой понятийной базы, не позволяют пока создать в инженерной геологии общих и формализованных моделей, отражающих особенности функционирования природно-технических систем (ПТС), обеспечивающих возможность решать геологические задачи исключительно формальными методами. Наиболее рациональный путь дальнейшего совершенствования состоит в системном сочетании неформальных методов геологического анализа и применении комплексных методологических и математических подходов.

Модели ГИС в инженерной геологии следует подразделять на три основные группы:

- 1) по исследуемому инженерно-геологическому процессу (процессам) или техногенному влиянию;
- 2) по материалам инженерно-геологических изысканий и исследований;
- 3) по виду или назначению использования участка (территории).

Все виды инженерно-геологических изысканий и исследований сопровождаются накоплением большого объема сведений различного характера и содержания. Информация поступает в виде результатов отдельных наблюдений или измерений в необобщенном или частично обобщенном виде и не может непосредственно использоваться для получения выводов прикладного или научного характера. Для использования полученной информации требуется алгоритм анализа. Только в этом случае полученные результаты могут быть пригодными для решения поставленных задач.

Актуальность темы. Получение инженерно-геологической информации требует разработку и внедрение новых технологических решений и технических средств, направленных на обработку данных прямыми и(или) косвенными методами. Проблемы накопления, переработки и хранения инженерно-геологической информации следует решать на базе внедрения и совершенствования процессов автоматизации и средств вычислительной техники с последующим созданием на их основе ГИС, позволяющей решать задачи оценки и прогноза изменения геологической среды и составляющих её компонентов.

Основным предметом исследования инженерной геологии являются природно-технические системы. На общем уровне типизации, ПТС делится на два взаимодействующих блока: природный и природно-технический. Каждый из блоков характеризуется многочисленными показателями, отражающими

особенности состава, структуры и состояния ПТС. В природный блок входит информация о геолого-литологическом строении территории, геоморфологических и гидрогеологических условиях, распространении и степени активности геологических процессов, составе, структуре и свойствах грунтов. Природно-техногенный блок включает данные о зданиях и сооружениях, их состоянии и взаимодействии на компоненты геологической среды.

Внедрение алгоритмических моделей обработки информационных потоков в инженерной геологии позволяет повысить качество, достоверность и оперативность выдачи справочных, оценочных и прогнозных материалов о состоянии геологической среды и ПТС, необходимых для принятия обоснованных проектных управляющих решений.

Создание ГИС в инженерной геологии, разработка теоретических положений и методологических основ, а также принципов и методов построения, в настоящее время выделяется в одно из наиболее важных направлений при изучении геологической среды. Кроме того, создание и совершенствование ГИС на базе механизма математической обработки и моделирования геологической среды имеет основополагающее практическое значение при решении задач промышленного и гражданского строительства.

Анализ унификации, стандартизации и свертывания инженерно-геологической информации для ввода и обработки посредством процессорной техники, указывает на необходимость разработки теоретических положений по созданию ГИС в инженерной геологии. Большинство существующих информационных систем, относящихся к инженерно-геологической отрасли, не имеют блока комплексного контроля информации, что сказывается, например, на качестве выполняемых прогнозов. При этом созданные информационные системы в инженерной геологии оригинальны по целям и задачам, но носят частный целевой характер, и их следует рассматривать как необходимый этап накопления опыта в обработке информации.

Целью работы является разработка концепции, обоснование принципов и методологии создания ГИС в инженерной геологии, создание репрезентативного варианта (ГИС-модели) обработки информации и совершенствования технологии инженерно-геологических изысканий.

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи:

- 1) проведен анализ и систематизация опыта создания ГИС в смежных отраслях геологии;
- 2) обоснован методический подход при проектировании ГИС-модели;
- 3) проведена систематизация разработанных теоретических аспектов;
- 4) собраны архивные материалы и систематизированы данные результатов инженерно-геологических изысканий и исследований, выполненных на произвольно взятой территории;
- 5) создан репрезентативный вариант (ГИС-модель) произвольно взятой территории.

Научная новизна работы заключается в теоретическом исследовании проблем и обосновании принципов создания ГИС в инженерной геологии, приведение отдельных направлений обработки инженерно-геологической

информации в единую взаимосвязанную систему. Обоснованы и систематизированы функциональные основы ГИС, как одной из основных подсистем мониторинга геологической среды, выполняющей:

- ввод, централизованное хранение, предоставление и выдачу информации о составе, строении и свойствах геологической среды изучаемой территории (объекта);
- автоматизацию процесса обработки первичной инженерно-геологической информации;
- автоматизацию обеспечения технологии рационального управления инженерно-геологическими изысканиями (автоматизация управления);
- перманентное моделирование и прогнозирование изменений геологической среды с использованием неограниченного количества инженерно-геологической информации;
- обеспечение исследований в любом удобном масштабе;
- проведение контроля достоверности исходных данных, полученных результатов исследования и управляющих взаимодействий;
- переход к анализу исследуемых компонентов геологической среды в объемном (трехмерном) виде;
- обеспечение перманентного анализа и целостности информации.

Основные защищаемые положения:

1. Наиболее эффективным способом обработки больших объемов инженерно-геологической информации является геоинформационная система - базовое направление перманентного анализа информационных потоков и обеспечения решения задач инженерно-геологического назначения.

2. Выбор структуры геоинформационной системы для целей инженерно-геологических изысканий и исследований геологической среды является принципиальным начальным звеном, обеспечивающим успешную реализацию проекта создания ГИС.

3. Типологические модели геологической среды для целей ГИС базируются на системном анализе критериев оценки состояния и свойств геологической среды. Применение типологических моделей существенно повышает оперативность, достоверность и контроль результатов инженерно-геологических изысканий и исследований, безопасность эксплуатации зданий (сооружений).

4. Объемная модель геологической среды (3D) становится одним из факторов, учитываемых при выборе размещения и конструкции зданий (сооружений) на предпроектных стадиях исследований, оставляя за собой в дальнейшем обеспечивающую функцию для стадии «рабочей документации».

5. Геоинформационная система обеспечивает переход от строгой регламентации выбранного масштаба к любому, удобному для выполнения работы масштабированию, без потери информационного ресурса о составе и свойствах геологической среды.

6. Внедрение ГИС в производственный процесс получения и использования инженерной геологической информации обеспечивает оптимальный уровень при выборе методов управления информационно-интеллектуальным потенциалом, реализацию предназначения и поддержание

целостности информации, формирование вектора целей управления, рациональное принятие решений и доведение управляющих взаимодействий до контроля за деятельностью объектов управления.

Проведены практические исследования применения информационных технологий и комплекса технических средств для интерпретации результатов инженерно-геологических изысканий на территории г.Москвы. Установлены положительные и отрицательные аспекты внедрения информационных технологий и применения комплекса технических средств обработки результатов исследования геологической среды для целей ГИС.

Методика исследований основана на анализе принципов и результатов систематизации инженерно-геологической информации, методических и теоретических разработок по интерпретации полученных результатов и их организация, с точки зрения системного подхода.

Практическая значимость работы. Результаты работы могут быть использованы для:

- 1) разработки методических рекомендаций при создании ГИС для целей интерпретации инженерно-геологической информации;
- 2) создания базового комплекса знаний по проектированию ГИС при решении задач, связанных с инженерно-геологическими изысканиями;
- 3) оперативной проверки существующих и построения новых тематических геологических карт по данным инженерно-геологических изысканий;
- 4) принятия управленческих решений на предпроектных стадиях и стадиях проектирования;
- 5) создания первичной информации при подготовке документации относительно инвестиционной перспективы освоения территории;
- 6) при чрезвычайных ситуациях для оперативного предоставления сведений различного характера и назначения;
- 7) при подготовке специалистов в области инженерной геологии.

Апробация работы. Методологические аспекты применены при создании программного вычислительного инженерно-геологического комплекса в институте Инженерных изысканий №56 МО РФ (СССР).

Отдельные положения внедрены при разработке расчетных схем и алгоритмов по количественной оценке оползневых склонов в Таджикистане (Институт инженерных изысканий №56 МО РФ (СССР)).

Отдельные математические положения применения расчетных методов состава геоинформационной системы защищались в качестве дипломной работы, выполненной на спецотделении МГУ (кафедра Инженерной геологии, руководитель работы д.г.-м.н. Е.Н.Коломенский).

Решения отдельных вопросов работы докладывались и обсуждались при подготовке II-очереди «Системы геологической среды» в поэтапную эксплуатацию («Мосгоргеотрест»). Результаты использованы при создании проекта Стандарта Предприятия СТП 2.01.00 «Стратификация грунтов при проведении инженерно-геологических изысканий на территории г.Москвы».

Методические положения применялись при выпуске технических отчетов и технических заключений по результатам выполненных инженерно-

геологических изысканий и исследований на всем протяжении трудовой деятельности.

Результаты исследований и основные положения диссертации доложены и представлены автором на следующих конференциях:

1. Вторая Общероссийская конференция изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации, ПНИИИС, Москва, 21-22 декабря 2006 года;

2. Международная конференция «Технологии, машины и оборудование, материалы и нормативное обеспечение для подземного и высотного строительства», Москва 25–27 января 2006 года;

3. Научно-практическая конференция «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленных комплексов города Москвы», Российский Государственный Геологоразведочный университет имени С.Орджоникидзе, Москва 2008 год;

4. Четвертая Общероссийская конференция изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», ПНИИИС, Москва, 18–19 декабря 2008 года;

5. Пятая Общероссийская конференция изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», ПНИИИС, Москва, 17–18 декабря 2009 года.

Результаты исследований и промежуточные материалы использованы при составлении ряда тематических геологических крупномасштабных карт масштаба 1:10000 г.Москвы, в которых автор принимал участие.

Публикации. Опубликовано 21 работа. По теме диссертационной работы – 16, в т.ч. в изданиях, рекомендуемых Перечнем ВАК для публикации основных положений диссертации на соискание ученой степени доктора наук, – 6.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Объем работы составляет 313 страниц. Список литературы содержит 312 наименований.

В первой главе рассмотрены исторические аспекты накопления информации в инженерной геологии, изложено современное состояние проблемы, выполнен анализ специфики применения ГИС в исследованиях геологической среды.

Вторая глава посвящена теоретическим основам построения геоинформационной системы в инженерной геологии. Представлена методика построения природно-технических систем для целей организации ГИС. Определена принципиальная структура ГИС, её функциональная и обеспечивающая части. Уделено внимание основным принципам работы ГИС. Рассмотрены основные методологические аспекты построения ГИС в инженерной геологии. Выполнен анализ возможных условий управления геоинформационной системой. Отдельно рассмотрены положения, касающиеся требований к качеству информации, предъявляемые при проектировании ГИС в инженерной геологии.

Третья глава посвящена методическим аспектам построения и перспективным направлениям использования трехмерных моделей геологической среды в инженерной геологии. Рассмотрены методы, основные

положения и особенности исследований и построения объемных моделей геосреды. Обоснованы приемы оптимизации видов и объемов при планировании и проведении инженерно-геологических изысканий.

Четвертая глава посвящена практической реализации выполненных исследований. Определены назначения, цели и задачи, решаемые с помощью ГИС. Описаны информационные потоки и информационное обеспечение, разработаны массивы информации, слагающие ГИС.

Диссертационная работа выполнена в ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве» (ПНИИИС).

При подготовке диссертационной работы использовались материалы инженерно-геологических изысканий и исследований, проведенных при участии автора в процессе трудовой деятельности в Институте Инженерных изысканий №56 МО РФ (СССР), Государственном унитарном предприятии «Московский городской трест геолого-геодезических и картографических работ» («Мосгоргеотрест»), ОАО «ПНИИИС».

Автор выражает свою искреннюю признательность и благодарность заведующему кафедрой Экологии и природопользования, декану экологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета имени С.Орджоникидзе доктору геолого-минералогических наук, профессору В.Н.Экзарьяну, за критические замечания при выполнении работы.

Автор выражает свою признательность доктору технических наук Л.С.Амярину, доктору геолого-минералогических наук В.П.Хоменко, доктору геолого-минералогических наук Н.Л.Шешене за рекомендации при написании работы.

Автор благодарен Генеральному директору ЗАО «Ленинградский трест инженерно-геологических изысканий» (ЛенТИСИЗ), кандидату геолого-минералогических наук М.А.Солодухину за консультации по различным аспектам методики выполнения и интерпретации результатов инженерно-геологических изысканий.

Автор выражает свою признательность Управляющему ГУП «Мосгоргеотрест», кандидату технических наук А.В.Антипову, главному инженеру ГУП «Мосгоргеотрест» С.Г.Майорову, сотрудникам и главному инженеру отдела инженерно-геологических изысканий И.А.Николаеву за многолетнюю работу.

Автор благодарен ответственному редактору журналов «Инженерная геология» и «Инженерные изыскания» В.Н.Ананко за конструктивную работу при подготовке статей к публикациям.

Автор благодарен доктору геолого-минералогических наук, профессору В.А.Королеву за критические замечания при подготовке статей к публикациям.

Автор выражает признательность генеральному директору ОАО «ПНИИИС» кандидату геолого-минералогических наук М.И.Богданову, за предоставленную возможность выполнения диссертационной работы.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭТАПЫ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Инженерная геология развивалась параллельно с фундаментальными геологическими направлениями. Значительный интерес, в этой связи, представляет последовательность применения математических методов в геологии. В современной терминологии применение математических методов следует трактовать как развитие одного из направлений в современной системе обработки информации. В настоящее время под формулировкой «математика в геологии» подразумевается собственно математические методы и комплекс наук, используемый в теоретической и прикладной геологии (системный анализ, информатика, кибернетика, распознавание образов, экспертные системы и т.д.).

За период с 1923 по 1953 годы был накоплен значительный объем сведений, наблюдений по различным вопросам и направлениям геологических исследований в виде различных форм документации (полевые книжки, дневники, геологические карты различных масштабов и содержания, геологические разрезы и т.д.).

Методы математической статистики при обработке инженерно-геологической информации начали применяться в СССР в начале 50-х годов XX века и несколько позднее в США и некоторых странах Европы. Первые работы в этом направлении принадлежат Б.П.Попову. Позднее вероятностно-статистические методы легли в основу метода установления гарантированных значений расчетных показателей (Н.Н.Маслов, З.В.Пильгунова, 1955 г.). В это же время опубликован ряд работ Н.В.Коломенского и И.С.Комарова, в которых вопросы применения вероятностно-статистических методов в инженерной геологии нашли систематическое изложение.

В 1959 г. в докладе Н.В.Коломенского и И.С.Комарова на XXIII Геологическом конгрессе в Мехико была изложена общая схема использования вероятностно-статистических методов при изучении естественных оснований крупных инженерных сооружений. Схема предусматривала использование модели случайной величины и расчленение толщ пород на инженерно-геологические элементы. Под инженерно-геологическим элементом понимались условно однородные части массива горных пород, к которым такая модель может быть применена. Доклад был продолжением ранее опубликованной ими работы.

В последующие годы вероятностно-статистические методы были применены Л.А.Ароновым, Е.М.Пашкиным, М.К.Погребинским, М.В.Рацем, С.Н.Чернышовым в отношении изучения трещиноватости горных пород.

В 1968 году Г.К.Бондарик для изучения пространственных закономерностей изменения свойств горных пород применил методику использования случайных функций.

На рубеже 60-х годов XX столетия в теоретическом отношении обосновано и в практическом аспекте подтверждено, что вероятностно-статистические методы позволяют наиболее полно и успешно обрабатывать информацию количественного характера и менее эффективны при обработке качественной информации. В то же время значительная часть информации, получаемая при региональных исследованиях, имеет качественный характер. По

оценке И.С.Комарова, в этих случаях следует применять методы теории информации.

Применение методов теории вероятности и математической статистики, теории информации в методике выполнения инженерно-геологических изысканий при обработке инженерно-геологических материалов положительно отразилось на развитии инженерной геологии. Это позволило создавать точные количественные описания исследуемых (геологических) объектов, процессов и явлений. Однако не следует первопричиной внедрения математизации и методов обработки информации в инженерную геологию прямо пропорционально ассоциировать с созданием единой формально-логической системы. Данное мнение подтверждается Г.Грневским (Польша, 1964 г.), которое приведено в работе И.С.Комарова (1972 г.): «..только строительство дома начинается с фундамента, а при строительстве науки её основание появляется обычно довольно поздно... Но за отсутствием детально разработанной теории, даже не очень точно сконструированный аппарат понятий может эффективно работать в применениях».

С 1960 по 1979 годы характеризуются периодом использования вычислительных машин. Этот период характеризуется как второй этап (табл.1) развития применения математики в геологии. К этому времени стало очевидным необходимость использования электронно-вычислительных машин при изучении геологической среды. Применение вычислительных машин потребовало изменения методов сбора, обработки, хранения и интерпретации данных. Появляются методики применения многовариантных анализов исходных данных.

Таблица 1.

Основные этапы развития инженерной геологии и этапы применения математики в прикладной геологии

Название этапов Очередность этапов	Этапы развития инженерной геологии (по Е.М.Сергееву)	Этапы применения математики в прикладной геологии (по В.В.Марченко, Е.Н.Черемисиной)
Первый этап	1923 – 1945 гг.	1899 – 1960 гг.
Второй этап	1946 – 1978 гг.	1960 – 1979 гг.
Третий этап	с 1979 г.	1980 – 1990 гг.
Четвертый этап	–	с 1990-х годов

При работе в этот период следует отметить научную деятельность сибирской школы математической геологии, возглавляемой Ю.А.Ворониным.

Применение математических методов при исследовании геологической среды в 60–х годах рассматривали М.М.Бонгарт и Ш.А.Губерман (1963 г.),

Ж.Матерон (1965 г.), Ю.А.Воронин и Н.А.Гольдина (1965 г.), А.Б.Вистелиус (1966 г.) и др.

Если рассматривать этапы развития инженерной геологии и сопоставить их с этапами применения математики в прикладной геологии (табл.1), то середина второго этапа становления (региональной) инженерной геологии приходится на начало второго этапа применения математики в прикладной геологии. Таким образом, во время внедрения «массовой математизации и информатизации» в геологии, инженерная геология прошла этап становления региональных исследований.

В первой половине 60-х годов XX века формулируется понятие и теоретический подход к созданию информационно-поисковых систем в геологии.

В 1966 году Н.М.Хайме разработала макеты перфокарт для фиксации наблюдений при инженерно-геологической съемке разных масштабов в различных ландшафтно-геологических условиях. В 1967 году Е.С.Мельников создал макет перфокарт для криолитозоны. В том же году Г.К.Бондарик предложил макеты перфокарт для накопления информации о свойствах горных пород. Применение информационно-поисковых систем в МГРИ, ВСЕГИНГЕО, 2-ом Гидрогеологическом управлении и других организациях, показало единообразие фиксации результатов исследований. В дальнейшем это позволяет провести систематизацию и определить критерии формализации.

В конце 60-х годов начинают активно внедряться электронно-вычислительные машины. Разработка программного обеспечения идет не только в фундаментальных направлениях, но и начинают появляться первые результаты прикладного использования автоматизированных информационных ресурсов. В 1969 году Гидропроект публикует «Сборник программ по статистической обработке опытных данных». В публикации приводятся листинги программ для широкого применения. Внедрение подобных технологий на тот период времени существенно облегчало обработку массивов информации при проведении инженерно-геологических изысканий. Полученная обобщенная информация используется для содержательного анализа.

Уже на этом этапе развития складывается четкое представление, что не следует переоценивать возможности использования формально-математических методов и вычислительной техники в инженерной геологии. Необходимо при анализе учитывать различные особенности инженерно-геологических исследований, различные варианты и многообразие геологических условий, которые встречаются при решении, на первый взгляд, однотипных задач. Поэтому, как отмечал И.С.Комаров, «в геологии трудно создать математические или иные модели большой степени общности, а в подходе к решению геологических задач всегда сохраняется известный элемент творческого риска. Без воображения и изобретательности, без способности создавать гипотезы и ставить эксперименты для их проверки, трудно ожидать успеха при решении любой, сколько-нибудь сложной инженерно-геологической задачи».

Использование ЭВМ и математических методов было направлено для работы по следующим направлениям: 1) разработка методов автоматизированной обработки информации; 2) формирование

информационных массивов для использования в программируемых вычислительных системах; 3) разработка методов кодирования информации; 4) разработка методологии применения программируемых систем в инженерной геологии.

К началу 70-х годов общие вопросы применения методов математической статистики и теории информации при выполнении инженерно-геологических изысканий и решении некоторых задач инженерной геологии, с точки зрения научного обоснования, были сформулированы. В 1972 году И.С.Комаров публикует работу «Накопление и обработка информации при инженерно-геологических изысканиях». Изложенные в ней научные позиции по настоящее время являются актуальными для инженерной геологии.

В 1976 году И.С.Комаров, Н.М.Хайме и А.П.Бабенышев в работе «Многомерный статистический анализ в инженерной геологии» рассматривают методы многомерной статистики, которые находят применение при решении различных задач инженерной геологии. Основное внимание уделено двум вопросам: 1) многомерному корреляционно-регрессивному анализу и 2) расчленению толщ пород в условиях, когда традиционные геологические методы недостаточно эффективны. Работа выполнена на основании практических примеров инженерно-геологических изысканий.

Проблемы общей методологии применения математических методов и программирования в прикладной геологии нашли отражение в работах Ю.А.Воронина, А.Б.Вистелиуса, А.А.Дородницына, А.Н.Дмитриева, Ю.А.Журавлева, Ф.П.Кренделева,, Д.А.Родионова, Р.М.Константинова, А.Б.Каждана и др. исследователей.

В начале 70-х годов актуально существует проблема оптимального проектирования банка геологических данных (базы данных). В этом отношении следует отметить работы П.Беккерта (1972 г.), М.Андертонна (1972 г.), А.Фаббри (1973 г.), А.Н.Олейникова (1972 г.).

В.В.Ломтадзе (1973 г.) привел принципы построения автоматизированных систем обработки геолого-геофизических данных.

Важное значение в области внедрения и использования методов обработки информации и математической статистики при изучении и прогнозировании инженерно-геологических процессов имеют работы, выполненные в 1978-1984 годах ЦИГГЭ (в дальнейшем Геоцентр «Москва»), при рассмотрении процесса переформирования берегов водохранилищ Волжского каскада.

В этот же период времени начались исследования с применением математических методов и автоматизированных средств обработки информации, касающиеся оползневых процессов Молдавии (ВСЕГИНГЕО), режимных наблюдений за подземными водами СССР в общей системе АСУ «Геология» (ВСЕГИНГЕО – А.И.Шико, В.С.Круподеров).

В 1981-1983 гг. Министерство Геологии СССР ведет исследования проблем литомониторинга, как составной части информационного обеспечения АСУ «Геология».

В этой связи происходит апробация математических подходов при решении геологических задач. Впервые начали разрабатываться подходы к

анализу, комплексной интерпретации и хранению геологической информации. Создаются методики автоматизированного ввода исходных данных. При этом, исследователи на практических примерах получили результаты, свидетельствующие о том, что геологическая информация, привычная для понимания при обычной работе, по структуре своей имеет неформализованный характер. Недостаток сведений или данных в режиме автоматизированной обработки является существенным аспектом, не позволяющим применить математические методы и средства обработки геологической информации. В этих условиях основополагающие значения приобретают специалисты-геологи со знаниями математики и вычислительной техники. Уже на этот период времени было очевидным, что значительно проще специалисту-геологу овладеть методикой автоматизированного создания прикладного программного обеспечения, чем сугубо математику объяснить, что же представляет собой геология. Это положения действительны и по сегодняшний день, в связи с тем что геология – это искусство. И не каждый способен «написать картину» геологической среды по формальным признакам.

С 1980-х годов начинают внедряться персональные компьютеры, которые уже к 1985 году полноценно конкурируют с имеющимися «монстрами» отечественной электроники.

В этот период в прикладной геологии появляется АИПС «Регион» (Б.А.Чумаченко и др., Казахстан, 1980 г.), система «ПОИСК» (А.Н.Бугаец, 1983 г.), АСОД-ПРОГНОЗ (В.И.Мишин и др., 1984 г.) и прочие системы автоматизированной обработки и интерпретации.

Среди исследователей, занимающихся проблемами автоматизации и математизации результатов лабораторных исследований в инженерной геологии, следует отметить работу В.В.Дмитриева «Оптимизация лабораторных инженерно-геологических исследований» (1988 г.).

В 1988 году М.И.Богданов обосновал выполнение инженерно-геологического районирования на основе алгоритмов распознавания образов.

В середине 80–х годов отмечается активное финансирование развития прикладных направлений обработки информации в инженерных изысканиях

В 1989 году Институт инженерных изысканий №56 Министерства обороны СССР успешно внедряет прикладной комплекс «Лаборатория», «Статистика» (С.В.Рябов), «Статическое зондирование» (Б.В.Степанов), «Каротаж» (Б.В.Степанов), интерпретация геофизических методов исследования (В.В.Капустин, С.В.Зайцев, И.П.Моргун и др.). В 1990 году в той же организации успешно проходит апробацию и внедряется в промышленное производство автоматизированный комплекс по расчету устойчивости оползневых склонов «Slope» (С.В.Козловский). Создан и внедрен в промышленную эксплуатацию комплекс программного обеспечения обработки данных проведения опытно-фильтрационных работ (С.В.Козловский, 1990-1991 г.г.). В этот же период прикладное программное обеспечение в области инженерно-геологических изысканий разрабатывается в НПО «Стройизыскания», ПНИИИСе, Фундаментпроекте и др. организациях.

Примерно, начиная с середины 1990-х годов, развитие систем комплексного анализа и прогноза образует новый этап. Появление

компьютерных станций, автоматический ввод фактографической информации, методические наработки предыдущих лет способствовали развитию технологии автоматизации и адаптации математических методов. Этот подход получил название «геоинформационные технологии». Развитие прикладных методов, организованных в систему, имеющую возможности анализа графической информации, получила название «географической информационной системы» (ГИС).

При этом понятие «географический» относится к процедуре привязки материалов по географическому признаку для полученной (или получаемой) информации.

Проведя анализ таблицы № 1, можно отметить, что проблема рационального использования и охраны геологической среды, как третий этап развития инженерной геологии, вписывается в указанный период. До данного момента инженерная геология сформировалась как наука. Инженерно-геологические изыскания получили полноценный статус отрасли. И все это планомерно перешло в методологию применения геоинформационных технологий.

Различные вопросы использования методологии математизации при обработке информации были рассмотрены многими авторами. Следует отметить работы В.В.Марченко, Е.Н.Черемисиной (1992 г.), А.В.Веселовского, К.Г.Стафеева, Т.К.Янбухтина (1993 г.), В.И.Мишина (1994 г.), Е.Н.Коломенского, В.Н.Экзарьяна и др. исследователей.

Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии в конце 80–х начале 90–х годов приобретает качественно новый уровень. В этот период следует отметить работы Г.К.Бондарика, И.С.Комарова, Е.Н.Коломенского, В.В.Пендина, и др. исследователей. По существу, геоинформационные технологии вобрала в себя весь обширный методологический опыт, накопленный ранее. Теоретические вопросы применения математических методов, методология и организация информации, системные принципы и прочие направления, рассматриваемые ранее совместно с геоинформационными технологиями, позволяют вывести развитие инженерной геологии на принципиально новый уровень.

Под инженерно-геологической информацией понимают комплекс сведений о структуре, свойствах и движении литосферы, получаемых в процессе инженерно-геологических работ, с целью оценки её состояния и прогноза взаимодействия с другими средами (атмосферой, поверхностной гидросферой, биосферой), в том числе с искусственной средой.

В основе информационных процессов лежат общие закономерности структуры и свойств информации. В настоящее время принято выделять три информационные проблемы: техническую, семантическую и проблему эффективности.

Конструктивные методы использования информационного ресурса обусловлены понятием, связанным с необходимостью количественного решения инженерно-геологических задач, которые не всегда сопровождаются адекватностью восприятия полученных сведений.

Некоторая специфика направленного использования информации заключается в том, что инженерно-геологические данные, полученные различными методами исследования (прямыми и косвенными), внедряется в практику путем принятия на её основе проектировщиками, совместно со строителями, инженерных решений. При этом место изыскателей на данном этапе может полностью или частично отсутствовать. В силу этого, как отмечают Р.С.Зиангиров и Г.К.Бондарик (1986 г.), существует разрыв между инженерно-геологической информацией и полнотой принятия решений.

Геологическое строение представляет собой природную систему. Под системой следует понимать совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях по критериям исследования и образующих определенную целостность. Сведения о количественных и качественных показателях отдельных элементов и совокупности в целом является информационным ресурсом. Достоверное определение показателей информационного ресурса и их дальнейшие преобразования, для применения в различных направлениях проектирования, является первостепенной задачей.

Свойство геологической среды и параметры инженерно-геологических процессов могут меняться от плавного перехода до скачкообразного. Выделение отдельных элементов ПТС не всегда возможно сделать однозначно. Чаще всего такое деление производится условно. ПТС не имеют реальных границ. Соответственно, информационный ресурс также подвержен аналогичным свойствам.

Как правило, геологическая совокупность и, соответственно, равно ей информационный ресурс может быть разделен по интересующему признаку на несколько самостоятельных совокупностей.

Принцип выделения совокупности (информационного ресурса) зависит от поставленной задачи. Результаты изучения свойств информационного ресурса возможно использовать только в установленных границах, т.е. информационный ресурс имеет некие граничные условия, в зависимости от поставленной задачи.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Ежегодно различными организациями и ведомствами расходуются большое количество средств на производство геолого-гидрогеологических исследований, инженерно-геологических изысканий, изучение и прогнозирование неблагоприятных процессов и явлений, проектирование, эксплуатацию зданий и сооружений, планирование мероприятий по рациональному использованию природной среды. Проводится значительный комплекс полевых работ, определений физико-механических свойств грунтов, анализов состава подземных вод, выполняются большие объемы съемочных, специальных геофизических, геодезических и прочих исследований. При этом обрабатывается значительное количество информации.

Отсутствие стандартов, регламентирующих сбор, хранение, поиск и выдачу информации, сильно затрудняет системное повторное (многократное) использование полученных материалов, приводит к искусственному завышению объемов вновь планируемых исследований, увеличению сроков выполнения и удорожанию инженерно-геологических изысканий и исследований, и, как

следствие, происходит дальнейшее удорожание проектирования и строительства. Такое положение приводит к недостаточной геологической обеспеченности мероприятий по защите и рациональному использованию природной среды.

Изложение теоретических основ построения ГИС в инженерной геологии, базирующееся на опыте, полученном в процессе создания ряда систем, в последнее десятилетие иллюстрирует трудности, с которыми столкнулись разработчики на разных стадиях создания ГИС, и способами их преодоления.

Некоторые исследователи очень упрощенно представляют себе реализацию таких систем, считая что наличие современной вычислительной техники является достаточным условием создания ГИС. Поэтому приступая к созданию и разработке ГИС стараются сразу решить задачу ввода информации, её хранения и выдачи, не учитывая и не рассматривая основных принципов построения ГИС, и игнорируя общесистемные требования к обеспечивающей части ГИС. Это впоследствии приводит к большим трудностям в реализации информационного обеспечения, которому не уделялось должного внимания, и, как результат, опровержению расчета на мгновенный эффект от внедрения системы после приобретения соответствующего оборудования. Как показывает опыт, такая постановка исследований, кроме известной дезориентации, как разработчиков, так и заказчиков ГИС, ничего не дает.

Геологическая среда, в совокупности с проектируемым зданием (сооружением) представляет собой ПТС. Подход, при котором рассматриваются исследования геологической среды в инженерной геологии, с точки зрения организации ПТС, при проектировании ГИС является единственно правильным направлением подобного исследования. Оценка геологической среды без учета возможных воздействий проектируемого (эксплуатируемого) здания (сооружения) в объеме функционирования ГИС является тупиковым направлением проектирования и создания ГИС и сводит функциональную часть к подобно информационно-поисковой системы.

Целью создания ГИС в инженерной геологии является обеспечение перманентного и оперативного анализа геологической среды по выбранным критериям оценки; выполнение моделирования и прогноза интересующих показателей, процессов или явлений в пространстве и времени; оптимизации отдельных компонент и систем управления ПТС и последующей оценкой рационального использования мероприятий технического освоения.

Есть два непротиворечивых направления разработки ГИС:

- «разработка от нулевого уровня» – формирование ГИС на базе наличной, заведомо неполной информации о геологической среде и её изменениях;

- «разработка от конечного уровня» – формирование ГИС на базе содержательной инженерно-геологической (геосистемной) модели природного объекта, т.е. на базе наличной и «последующей» информации. Получение «последующей» информации, требования к её составу и объёму, определяются структурой и свойствами изучаемой ПТС.

Разработку ГИС необходимо проводить одновременно в двух направлениях, что позволяет предусмотреть гибкость структуры

обеспечивающей части системы в плане добавления новой информации, новых программных модулей и увеличения технических средств без существенного изменения структуры системы и ограничить количество показателей геологической среды или элементов информационного обеспечения, согласно наличной информации. Такой подход позволит ускорить создание ГИС и исключить возможность построения громоздкой системы.

Очевидно, что «разработка от нулевого уровня» в теоретическом и методологическом аспекте значительно проще, поэтому основное внимание будет уделено второму направлению создания ГИС в инженерной геологии – «разработке от конечного уровня».

Разработка ГИС в инженерной геологии на современном этапе должна вестись одновременно двумя путями на базе теоретико-методических основ, выработанных в процессе построения ГИС «от конечного уровня».

В качестве основного теоретического принципа, разработки ГИС в инженерной геологии выдвинут системный принцип конкордантности или согласованности (В.К.Епишин, В.Н.Экзарьян, 1978 г.), который включает выполнение трех обязательных условий:

1. Моделирование ПТС и конструирование её функциональной части осуществляется на базе единого специального понятия «системы».

2. Структура функциональной и обеспечивающей частей любой ГИС в инженерной геологии должна быть определенным образом согласована с функциональной структурой ПТС.

3. Выбор комплекса технических средств и разработка проблемно-ориентированного программного обеспечения ГИС должны соответствовать целям и задачам ПТС и ГИС.

Необходимость введения принципа «конкордантности» в практику разработки инженерно-геологических ГИС вызвана специфичностью природных объектов – их закрытостью, в отличие от ГИС управления производством, когда разработчику полностью известна конструкция производства.

В соответствии с принципом конкордантности, под «системой» следует понимать совокупность упорядоченного набора множеств:

- материала, из которого она конструируется;
- форм, которые должен принять этот материал согласно целям;
- структуры, отображающей связи выделенных форм;
- функционирования, происходящих в системе.

Таким образом, общие концептуальные модели ПТС и ГИС едины, чем выполняется первое обязательное условие принципа конкордантности, и записывается в виде:

$$S = \langle M, O, C, P \rangle \quad (1)$$

где M – материал, O – формы, C – структура, P – функционирование, $\langle \rangle$ – знак эмерджентности.

Второе обязательное условие принципа конкордантности – согласованность структуры функциональной и обеспечивающей частей ГИС со структурой ПТС, обеспечивается единством концептуальной модели (1) для обеих систем.

При этом, как будет изложено далее, структура функциональной части ГИС полностью соответствует основным целевым задачам ПТС, а обеспечивающая часть ГИС в инженерной геологии согласовывается с ПТС на основе соответствия элементов структуры ПТС, элементам информационной базы ГИС.

Например, геологические индексы отложений, литологическое описание грунтов, показатели их состава, строения и свойств, химический состав подземных вод и другие характеристики геологической среды являются одновременно элементами структуры ПТС и элементами информационной базы ГИС. Под элементами следует понимать некоторые единицы (характеристики, показатели и т.д.) которые, согласно поставленным целям и задачам, неделимы в рамках данного исследования.

Третье обязательное условие принципа конкордантности реализуется путем оптимизации функциональной структуры ГИС по внутрисистемным критериям эффективности, надежности, простоты и удобства эксплуатации.

В результате строится итоговая концептуальная модель функционирования ГИС в различных режимах её эксплуатации.

Построение операционной модели разработки ГИС сводится к выделению очередей создания самой ГИС. Критериями выделения очередей являются целевые задачи ПТС, иерархия и сроки их выполнения.

«Принцип конкордантности» имеет первостепенное значение для эффективной разработки, а в последующем и эксплуатации ГИС в инженерной геологии. Необходимость предварительного построения ПТС обусловлена особенностями геологической среды и необходимостью её типизации для целей создания ГИС. При этом рациональный путь типизации геологической среды – по комплексу признаков или таксонов.

Наибольший интерес в этом направлении представляют разработки И.С.Комарова, В.Т.Трофимова, Г.А.Голодковской и др., нашедшие широкое применение в практике инженерно-геологического районирования и типизации геологической среды регионов России.

В 2009 году Институтом геоэкологии РАН (В.И.Осипов) выполнена работа по инженерно-геологическому районированию г.Москвы, которая может рассматриваться в качестве информационного обеспечения при проектировании ГИС.

Методология создания ГИС в инженерной геологии представляет собой систему конкретных последовательных процедур (методов и операций), структура которых подчинена принятой технологии инженерно-геологических и гидрогеологических работ при установленном порядке их выполнения и контроля. Задать методологию в указанном смысле значит описать в виде единой нормативной модели процесс создания ГИС и её информационно-программную техническую базу.

В качестве методологической основы проектирования, разработки и эксплуатации ГИС в инженерной геологии, а также комплексирования и взаимосвязи с другими подсистемами (принцип совместимости), выбрана «общая теория систем» как наиболее адекватная поставленным задачам.

В целом системный подход позволяет соотнести знания и представления, сложившиеся ранее, и значительно дополнить и систематизировать их. Следовательно, не отрицая традиционных методов исследования, системный подход позволяет более комплексно, многопредметно и целенаправленно подойти к изучению, прогнозированию и управлению геологической средой существующих и проектируемых ПТС.

Изучением геологической среды, как компонента создаваемых и функционирующих ПТС, на протяжении многих лет занимаются ведущие кафедры Инженерной геологии высших учебных заведений страны: МГУ им.М.В.Ломоносова (заведующий кафедрой, профессор В.Т.Трофимов), МГРИ-РГГРУ (заведующий кафедрой, профессор В.В.Пендин), МИСИ-МГСУ (заведующий кафедрой, профессор А.Д.Потапов), Санкт-Петербургского Горного института – Технического университета (заведующий кафедрой, профессор В.В.Антонов) и др.

При переходе на проектирование ГИС информацию, проходящую через «систему», следует определять в качестве информационных потоков.

Основными задачами обследования существующей системы информационных потоков являются:

- 1) изучение системы информационных потоков, их состава и направленности;
- 2) исследование методов получения, хранения, обработки и передачи материалов, в том числе предыдущих исследований;
- 3) изучение форм представления полученных в процессе работ материалов, их содержания и порядка заполнения;
- 4) определение методико-организационной последовательности выполнения работ;
- 5) выявление этапов и видов работ, подлежащих автоматизации;
- 6) выявление целевых задач, поставленных перед изучением ПТС, реализация которых в настоящее время не осуществляется и т.д.

Результаты изучения существующей системы инженерно-геологических, гидрогеологических и других исследований, проводящихся в пределах ПТС, представляется в виде информации, включающей:

- схему информационных потоков;
- описание используемых методов получения, хранения, обработки и передачи инженерно-геологических и гидрогеологических данных и степень их автоматизации;
- принятые формы представления материалов исследований и их содержание;
- перечень видов исследований, этапы и периодичность их выполнения;
- сопоставление целевых задач, поставленных перед изучением ПТС с задачами, решаемыми с помощью используемых методов.

К общим принципам построения ГИС в инженерной геологии относятся следующие:

- 1) целевой принцип – сводится к определению целей и задач ГИС, путей их решения и разработки единого технического задания (ТЗ) на создание

конкретной ГИС. На первом этапе проектирования ГИС, на основе обследования и анализа существующей системы документооборота (информационной системы до автоматизации) и построения структуры ПТС, определяется и уточняется состав функциональных задач и требований к ГИС. На втором этапе осуществляется выбор методов решения поставленных перед ГИС задач и определение состава необходимой для этого информации. Перечень целей и задач, а также методы их решения формулируются в ТЗ на разработку ГИС;

2) принцип единства - заключается в определении границ ПТС, исследовании основных структурных элементов, выявлении существующих связей между подсистемами одного уровня и элементами, а также между ПТС и внешней средой;

3) принцип «черного ящика» - позволяет на основе изучения характеристик геологической среды на входе и выходе ГИС выявить перечень задач, которые может и должна решать система в разных режимах эксплуатации, и показать последовательность их решения;

4) принцип обратной связи – позволяет построить замкнутый процесс функционирования ГИС, когда на основе вновь поступающей информации об объекте можно корректировать и изменять ранее принятые управляющие решения. При этом пользователь ГИС получает перманентные сообщения о ходе реализации его задач (или запроса), что позволяет ему оперативно реагировать на возникающие осложнения;

5) модульный принцип построения – обеспечивает и расширяет арсенал используемых математических методов и предусматривает добавление новых программных модулей к нижнему уровню программного обеспечения ГИС, без существенной его переделки;

6) принцип простоты эксплуатации ГИС заключается в удобстве обращения к ней, т.е. в удобстве составления задания для управляющей программы в диалоговом режиме. Это позволяет сотрудникам, не обладающих достаточными знаниями, производить формирования банка (базы) данных;

7) принцип стандартизации и унификации геологической информации для работы с ней в режиме «оператор - ГИС» предусматривает составление унифицированного перечня качественных и количественных показателей геологической среды, соответствующих элементам структуры ПТС, создание системы классификаторов и кодирования информации для её ввода и вывода, а также разработку стандартных форм входной и выходной документации для всех стадий сбора, хранения, обработки и выдачи информации – от полевых описаний грунтов (горных пород) до эксплуатации ГИС. При этом формы выходной информации (выходные документы) должны быть максимально близки к традиционному геологическому представлению результатов исследований (таблицы свойств, разрезы, колонки по скважинам и т.д.);

8) принцип совместимости инженерно-геологических ГИС с другими информационными системами в геологической отрасли сводится к реализации методологической, функциональной и информационной совместимости.

Методологическая совместимость обеспечивается использованием единой методической основы при составлении прогнозов изменения состояния геологической среды. Функциональная совместимость реализуется путем

непосредственной связи между функциональными подсистемами ГИС и блоками функциональных подсистем разных уровней.

Информационная совместимость базируется на следующих положениях:

- создание единой системы показателей;
- разработка систем классификаторов и кодификаторов на базе отраслевых и региональных нормативов;
- разработка унифицированной документации, обеспечивающей единство показателей и исключающей дублирование;
- разработка единого технологического процесса сбора, передачи и приема исходной информации;
- создание единой системы информационной базы, структура которой должна соответствовать структуре ПТС;

9) принцип непрерывного развития – заключается в том, что в процессе своего функционирования любая ГИС требует постоянного совершенствования.

В основе структуры ГИС при её проектировании предусмотрено две части: функциональная и обеспечивающая (рис. 1).

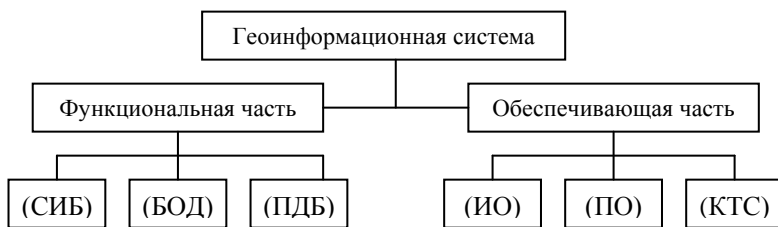


Рис. 1 Структурная схема геоинформационной системы в инженерной геологии.

Функциональная часть представлена: справочно-информационным блоком (СИБ), блоком обработки данных (БОД), прогнозно-диагностическим блоком (ПДБ). Обеспечивающая часть включает: информационное обеспечение (ИО), программное обеспечение (ПО), комплекс технических средств (КТС).

СИБ – предназначен для ввода, хранения, многоаспектного поиска и выдачи информации о строении и состоянии геологической среды.

БОД – осуществляет автоматизацию трудоемких ручных расчетов и построений, проводимых при обработке первичной геологической информации.

ПДБ – предусматривает применение различных проблемно ориентированных программ, в том числе для построения постоянно действующих моделей изучаемой ПТС, и составление на их основе прогнозов изменения состояния геологической среды.

Постоянно действующие модели могут представляться в виде:

- комплекса специализированных карт, построенных с помощью программируемых процессорных систем (карты рельефа различных поверхностей; карты мощности отложений; карты геолого-литологического строения по глубине или абсолютной отметке; карты изменчивости показателей физико-механических свойств грунтов и т.д.). Опыт работ по составлению таких карт уже имеется в инженерной геологии и подробно описан в работах

Г.К.Бондарика, Е.Н.Коломенского, М.Н.Бучкина, В.М.Кутепова, В.Н.Эжарьяна и др.;

– комплекса математических и других моделей, описывающих инженерно-геологические и гидрогеологические процессы, изменения и взаимосвязи свойств грунтов и др. В этой части следует отметить работы Г.К.Бондарика, И.К.Гавич, В.К.Епишина, И.С.Комарова, Н.В.Коломенского, М.В.Раца, Г.П.Постоева, В.Н.Эжарьяна, и др.;

– комплекса геологических аналогов, отражающих типы взаимодействия человека с геологической средой. Создание этого комплекса базируется на теории приближенного геологического подобия, разработанной Л.Б.Розовским. Практическое применение выполнено Е.С.Дзекцером, В.В.Дмитриевым, Е.М.Пашкиным и др.

Накоплен опыт построения различного вида моделей и специализированных карт на основе применения микропроцессорной техники, но при этом системная основа имела характер единичных (локальных) расчетов по отдельным программным комплексам (Институт геоэкологии РАН, МГСУ, НПО «Стройизыскания», ЦИГГЭ, ЦВП, ПНИИИС и др.).

Характерным примером могут служить математические модели, описывающие оползневые процессы, процессы переработки берегов, расчеты таблиц нормативных показателей свойств грунтов, построение карт изменчивости показателей физико-механических свойств грунтов и прочие исследования (МГУ, НПО «Стройизыскания», ПНИИИС, РГГРУ и др.).

Нормальное функционирование ГИС зависит от степени проработки и правильности выбора её обеспечивающей части.

Под информационным обеспечением ГИС понимается, как собственно информация, поступающая на вход и выход системы, так и совокупность методов обработки, контроля, хранения и выдачи информации. Таким образом, ИО можно подразделить на две части: (1) ИО первого порядка (входная - выходная) и (2) ИО второго порядка (внутренняя или релевантная).

Программное обеспечение и комплекс технических средств – взаимосвязанный аспект функциональной деятельности «системы» и представляет алгоритмическую направленность (ПО) исследования, реализованную с помощью аппаратного оснащения (КТС).

На основании международного стандарта по географической информации и геоматике (ISO OSI/TC 211 GeographicsInformation/ Geomatics, International Draft Standard) в систему организации данных определены понятия геоданных и географической информации для ГИС.

Геоданные представляют пространственно-временные характеристики, отражающие свойства объектов, процессов и явлений. По существу, это совокупность сведений о предмете (предметах) исследования, его формах или модели, с тесной взаимосвязанностью пространственных отношений тех или иных компонентов или определений. Посредством геоданных описывается положение объекта или модели геосреды в пространстве. Соответственно, по структуре взаимосвязей различных составляющих ГИС, компоненты геоданных включают три основных составных класса: тематические, пространственные и временные.

Процесс организации данных заключается в сведении разнородных характеристик, показателей и проч. в единую логически непротиворечивую последовательность, которая в конечном итоге будет применена в определенных аспектах анализа.

Собранная информация может иметь различные размерности, характеристики, получаемые разными методами исследований и т.д. При этом отличительной особенностью является организация взаимосвязанных совокупностей. Наличие четкой иерархической связи является прототипом «модели среды по выбранным критериям».

Организация данных заключается в сведении разнородных данных (информации) в единую логическую последовательность. Результатом организации данных является создание информационной модели, позволяющей обеспечить хранение, эффективную обработку с учетом различных критериев и условий.

Рациональная организация данных представляет возможность дальнейшей эффективной обработки в сопряженных геоинформационных системах. Технологии, в которых могут быть использованы организованные геоданные, значительно шире, чем геоинформационные. Анализ, планирование, проектирование, прогнозирование, мониторинг – вот небольшой перечень использования набора данных в совершенно различных направлениях исследований. В связи с этим, организация данных придает качественно новые свойства первичной информации. Именно организация данных, а не создание определенного вида конечной продукции, представляет неограниченные возможности повторного и многоцелевого использования информации.

Для упрощения процесса обработки, хранения и обмена, разнородные данные приводят к единому структурному виду и структуре, называемой унификацией. В ходе унификации данных следует строить единую структуру информационной модели.

Классификация данных соотносит различные модели и их характеристики к разным классам, подклассам и типам, что дает возможность систематизировать исходные материалы и использовать свойства классов при анализе конкретной информации о геологической среде.

После унификации и классификации следует идентификация. Эта процедура означает присвоение наборам данных специальных кодов – идентификаторов. В организационной части эта процедура обеспечивает взаимное однозначное соответствие между данными и идентификаторами, исключает повторение одинаковых идентификаторов, т.е. обеспечивает непротиворечивость моделей и их свойств.

Для применения возможности «пакетной обработки» следует разбивать грунты по общим признакам (элементам). Элементы могут отвечать установленным требованиям (стратиграфическим, инженерно-геологическим и проч.). Это позволяет проводить обработку групп моделей или множества данных. В комплексе ГИС это положение позволяет формировать представление данных в виде тематических слоев.

Пространственные отношения между отдельными свойствами, показателями, характеристиками, а равно моделями различного уровня

расчленения, относятся к локализации данных. Именно локализацию данных следует оценить как процесс установления пространственных отношений между исследуемыми характеристиками, путем соотношения разных видов информации к одному из наиболее устойчивых видов. Локализацию при построении ГИС следует трактовать как упорядочение и привязку к системе координат. Локализация объединяет различные атрибутивные данные на основании координатной привязки. Это создает дополнительное свойство эквивалентности между исходными данными и информационной моделью посредством интеграции.

Упорядочение и привязка осуществляется классификацией данных и позиционированием.

Привязка данных является основной функцией ГИС и устанавливает пространственные отношения между процессами, объектами, характеристиками, свойствами и т.д., с дальнейшим объединением в единую систему данных и возможностями проведения новых видов анализа.

Данные для обработки и удобства использования организовываются в модели и комплексы связанных моделей. Комплексы моделей могут иметь разные цели создания и разные условия объединения.

Интеграция данных является следующей ключевой позицией оптимального их использования. Обработка по единой технологической системе в единой информационной среде расчетной модели объединяется на основе правила или метода. Совокупность изучаемых и исследуемых параметров данных и моделей данных при этом образует единую систему, отражающую реальные объекты, процессы и явления, происходящие в геологической среде. При этом информационные совокупности отображают реальные объекты, процессы, явления, происходящие в геологической среде, имея при этом объективные связи между собой. В рамках проектирования и конструирования ГИС в инженерной геологии объектные связи, соответственно, являются частью системы. Отдельные модели и данные представляют собой элементы системы. Интеграция приводит к организации многомерной модели данных и позволяет установить связи между моделями и данными, создавая при этом дополнительные свойства эквивалентности данных.

Структуризацию системы данных следует выполнять на основе стратификации показателей геологической среды (тела) в совокупности с координатными значениями (данными). Процесс стратификации может быть продолжен сколь угодно долго. Всё зависит от количества данных и признаков, по которым выполняются преобразования. Последние определяются задачами, которые требуют решения. Информационные модели данных в ГИС, применительно к инженерной геологии, следует организовывать с учетом семиотического подхода, т.е. учитывать в явном виде семантическую, синтаксическую и прагматическую части.

Процесс управления в ГИС является составляющей информационных ресурсов. Под процессом управления следует понимать информационную деятельность по формированию вектора целей управления, использованию информационного ресурса, принятию решения, доведение управляющих взаимодействий до контроля за деятельностью объектов управления. Режим

управления, способ управления, многоступенчатость процессов управления базируются на основополагающих положениях теории управления.

Управление ГИС требует надлежащего информационного обеспечения, содержание которого представляет инженерно-геологическая информация.

Исследованиями в области качества информации в инженерной геологии посвящено значительное количество научных работ. В этом направлении работали: А.П.Бабенышев, Г.К.Бондарик, Л.И. Вейсман, М.И.Горальчук, В.В.Дмитриев, Е.Н.Коломенский, Н.В.Коломенский, И.С.Комаров, В.Д.Ломтадзе, Е.М.Пашкин, В.В.Пендин, М.В.Рац, Н.М.Хайме, В.Н.Экзарьян и др.

Основное требование к информации заключается в том, что её объём должен быть оптимальным, т.е. минимально необходимым и достаточным для решения того или иного этапа хозяйственной деятельности, а сама информация должна удовлетворять определенным требованиям к её качеству.

Замкнутость информации (в пространстве и во времени), полнота информации по списку свойств, точность и доверительная вероятность, а также количество информации должны учитываться как критерии качества информации при проектировании ГИС в инженерной геологии.

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Геологическая среда трехмерна. Создание модели геологической среды на современном уровне заключается в определении взаимного расположения геологического тела (геологических тел) в объеме. При этом следует учитывать, что набор признаков геологического тела № 1, отличается от набора признаков геологического тела № 2 и т.д.

Применение ГИС в инженерной геологии и, в частности, при построении трехмерных моделей геологической среды позволяет изменить структуру информационных потоков.

В системе потоков инженерно-геологической информации следует выделять четыре иерархических уровня: 1) по назначению исследования объекта; 2) по видам и комплексам выполняемых работ; 3) по промежуточной (полевой и камеральной) документации; 4) итоговой отчетной документации.

В основе применения многомерных критериев для сравнения исследуемых показателей лежит гипотеза о многомерном нормальном распределении признаков в границе объекта.

Задача сравнения двух комплексов свойств может быть сформулирована как гипотеза принадлежности их к единой генеральной совокупности. Отклонение от этой гипотезы позволяет утверждать, что объекты существенно (с некоторой заданной вероятностью) отличаются друг от друга.

Подобная задача, применительно к трехмерной модели геологической среды, решалась посредством использования многомерных статистических критериев. Этот подход универсален и является наиболее эффективным. Однако рядом исследователей не исключается применение методов распознавания образов, дискриминантный и факторный анализы (И.С.Комаров, Н.М.Хайме, А.П.Бабенышев).

Использование многомерных критериев основывается на представлении о многомерном признаковом пространстве.

Объект (модель) с некоторыми фиксированными значениями исследуемых свойств следует изображать в координатной системе. Если первоначально координатная система является «плоской», т.е. имеются только координаты $\{X \text{ и } Y\}$, объект (модель) следует считать «плоской». Совокупность точек исследуемого свойства следует рассматривать как пространственный признак в двухмерной системе координат. При добавлении к позиционированию признака третьей координаты (высоты, глубины и проч.) исследуемое свойство приобретает характеристики объемной модели или, как принято называть «3D-модель».

При определенных технических условиях возможно добавление четвертого, пятого и последующих признаков. Матрица критериев принимает условия с любым количеством свойств, т.е. условия считаются 3-х, 4-х N-компонентными. При этом каждая точка имеет координаты, однозначно фиксирующие её положение относительно пространства. Такой подход дает возможность определить расстояние между точками в признаковом пространстве, что удовлетворяет основным условиям построения объемной модели геологической среды по заданным критериям (рис.2).

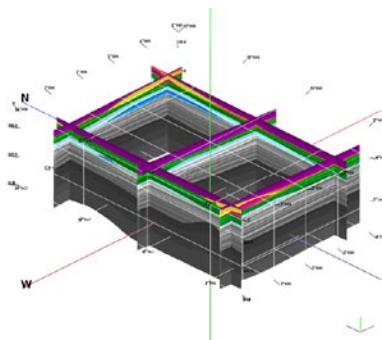


Рис.2 Модель (3D) с фиксированными значениями исследуемых свойств.

Прикладное применение данного подхода решается в комплексе мероприятий, связанных с построением 3D-модели, в частности, при: 1) сравнении геолого-литологических комплексов; 2) построении геолого-литологических разрезов; 3) построении карт различного назначения; 4) картировании геологических тел; 5) построении моделей по интересующим свойствам; 6) выделении инженерно-геологических элементов; 7) изучении инженерно-геологических процессов и т.д. Во всех случаях приоритет показателей исследуемых свойств, участвующих в сопоставлениях, и уровень значимости определяется постановкой задачи.

Не следует причислять к трехмерным моделям (как иногда это происходит) свойство компоненты по её трем физическим признакам (например, плотности, влажности, пористости). Данный пример является характеристикой из трех показателей. Характеристика из трех показателей может быть

преобразована в 3D-модель, при условии назначения статуса положения в пространстве.

В основе моделирования геологической среды следует выделять два процесса: 1) статичность (свойств материальных предметов); 2) динамичность (т.е. процессы).

В результате выполнения инженерно-геологических изысканий возникает значительный объем показателей различных свойств, неравноценных между собой, но отражающих важные признаки в различных аспектах исследования.

По принципу построения все одномерные критерии можно разделить на две группы:

- 1) непараметрические, с использованием для составления всех элементов выборки;
- 2) параметрические, с использованием для составления обобщенных параметров.

Непараметрические критерии основаны на гипотезе о равной вероятности получения статистических результатов в случае, когда выборки близки. Применение данной группы позволяет с большей вероятностью установить любое различие между функциями распределения при значительных количествах частных значений.

Применение подобного подхода при создании 3D-модели целесообразно использовать в случаях, при которых нет возможности усреднить отдельные значения показателей и установить различия на основе кривых распределения.

Критерии второго типа основаны на параметрах распределения, отвечают содержанию решаемых задач. В начале сопоставление происходит по величине дисперсии, затем по величине средних.

Для проверки нулевой гипотезы могут использоваться любые статистические критерии (например, Фишера (F-критерий), Стьюдента).

Не исключено, что по одномерным критериям следует выполнить расчет по нескольким показателям свойств. Для принятия решения необходимо совмещение результатов. Для этого рекомендуется применять формальный подход, учитывающий относительное значение признаков для решения задачи. Всем признакам приписываются «весовые» коэффициенты из предположений практического характера.

Подобный подход перспективен, но содержит волевые элементы. Вследствие последнего, вероятностная оценка обобщенного критерия невозможна. Использование нескольких гипотез для проверки решения повышает достоверность построения модели.

Процедура объединения критериев возникает при использовании нескольких различных методов для решения одной и той же задачи.

Два объекта (модели), описанные полными матрицами, при условии, что исходные данные не имеют пробелов, могут быть сопоставлены с помощью многомерных критериев.

Возможности использования рассматриваемых методов в геологии показаны в работах (помимо указанных ранее): Р.Миллера, Дж.Кана, Д.А.Родионова, В.Н.Бондаренко и др. исследователей.

Критерии Джеймса-Сю, Уилкса-Рао, Т.Андерсона, Пирсона, Родионова, оценка статистики Кулбака, являются прямыми алгоритмами применения при построении объемных (3D) моделей геологической среды.

Задача разбиения многомерного пространства точек на объекты, преобразуемые в дальнейшем в модель, в случаях, когда не известны границы объектов и их число, это и есть конечная задача функциональной направленности ГИС в инженерной геологии. Попытки использовать для этих целей перебор с оценкой сгруппированных точек по тем или другим критериям, не привели к положительным результатам, из-за вычислительных сложностей. При этом получаемые результаты достаточно редко поддавались содержательному истолкованию.

Опытными путями было получено, что на внешне логичные алгоритмы преобразований влияли: случайное рассеяние наблюдений, методы и используемые критерии. Неверное установленное положение в одной из последовательностей расчетов приводит к совершенно различным интерпретациям.

Наиболее удачной была применена процедура по методике Д.А.Родионова.

Рассматривались все $(n-1)$ возможные способы разделения упорядоченной выборки на две части с нахождением n -значений максимального. При этом, если граница этого критерия незначима, то вся выборка признавалась однородной, если граница являлась значимой, то каждая выделенная часть рассматривалась снова как целая выборка и в ней устанавливалось максимальное значение критерия. Преобразования велись до тех пор, пока все выделенные по максимальным критериям части выборки не оказались однородными. Но, возможно, что деление было произведено излишне дробно и некоторые границы при окончательном разделении оказались ложными. Этот негативный аспект заключается в том, что происходит установление не истинного положения границы, а ее статистической характеристики, о чём предупреждал в своих работах И.С.Комаров. При этом возникают три группы ошибок:

- 1) граница в действительности не существует, но ошибочно выделена по статистическим данным;
- 2) граница существует, но не установлена по статистическим данным;
- 3) граница существует и устанавливается по статистическим данным, но с некоторой неточностью. Характер неточности определяется различными факторами.

Заключительный этап работы состоял в устранении ложных ограничений.

Основные положения теории многомерного признакового пространства, применение одномерных и многомерных критериев оценки геологической среды, попарное пространственное сопоставление данных геологического разреза являются основополагающими при построении объемной модели.

Прогрессивным направлением в подготовке к выполнению изысканий оказывает карта фактического материала, построенная в трехмерном (3D) изображении, как одно из направлений, помогающее в наглядном виде показать реальную степень изученности геологической среды (рис.3).

Учет и оценка различных неблагоприятных факторов, влияющих на удорожание проектирования, строительства и эксплуатации зданий (сооружений), посредством построения 3D-модели является новым направлением в инженерно-геологических изысканиях.

Пространственная оценка строения и свойств геологической среды существенно повышает качество выходной инженерно-геологической информации. При объемном изучении геологической среды, сводятся к минимуму такие негативные показатели, как, например, несоответствие мощности выделенных ИГЭ между выработками или базовыми точками исследований, недостоверное определение уровней подземных вод, различного рода размывы, выклинивания геологических тел и т.п.

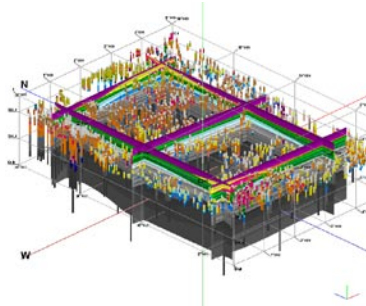


Рис.3. Фрагмент 3D карты фактического материала.

Качественный объем информации о геологической среде 3D-модели, по определению, существенно превышает уровень информатизации при работе в двухмерной системе координат. При этом переход на новый уровень обработки информации позволяет отказаться от строгой регламентации выбранного масштаба без потери информационного ресурса за счет превосходящего в несколько десятков раз минимально необходимого объема информации по сравнению с построениями в двухмерной системе координат.

Формульная оценка пригодности исследованной территории для освоения приобретает также потенциально новый, качественный характер. Впервые формульная оценка пригодности территории к освоению была предложена М.А.Солодухиным в 70-х годах XX века, но надлежащего применения на тот момент времени не нашла.

Если критерии оценки условно представить в двоичной системе, то наличие неблагоприятного фактора, условно обозначается «1», его отсутствие «0». Количество учитываемых факторов условно равно 8. При этом формульное представление «00000000» говорит о благоприятных условиях освоения территории, а формульное представление «11111111» подразумевает существенные затраты на изыскания, проектирование, строительство и эксплуатацию. Следующий шаг позволяет выйти на уровень оценки всеобщего «денежного эквивалента» и всех производных, например затрат времени. Критериев оценки может быть бесконечно много. Это следует рассматривать, как составление объемной модели условий освоения подземного пространства. Соответственно критериями построения могут быть физические показатели

геологической среды или некоторые эквивалентные составляющие (по В.И.Осипову «синтетические» показатели).

ГЛАВА 4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Построение ГИС осуществлялось на примере репрезентативного участка, расположенного на урбанизированной территории в центральной части г.Москвы.

За основу принят планшет масштаба 1:10000 (открытая топографическая основа) со сторонами 50x70 см. Площадь исследуемой территории составила 35 км².

В пределах планшета выбрано три участка. Участок № 1 представлен в полном объеме всей площадью планшета. На нем расположено 1587 скважин различного назначения. Участок № 2 представлен площадью 1 км², на котором расположено 77 скважин. Участок № 3 (освоение территории), на котором расположено 16 скважин.

Количество выработок представлено из учета соответствия качеству информации при проведении исследований, графических построений и анализа данных.

Критерием отбора информации при формировании карты фактического материала являлись скважины с максимальной глубиной проходки.

Основное назначение проекта ГИС заключается в хранении и обеспечении предоставления оперативной информации по строению, составу, свойствам геологической среды и отображении информации в виде карт и разрезов, на основе выполненных инженерно-геологических изысканий.

Основными задачами ГИС «Геологическая среда г.Москвы», рассмотренной на репрезентативной территории являются:

- накопление и хранение результатов выполненных инженерно-геологических, гидрогеологических изысканий (исследований) территории;
- разработка модели ПТС по совокупности выполненных полевых и лабораторных работ на исследуемом участке (территории), в пределах условно выбранной мощности грунтов;
- типизация условий исследуемой геологической среды, в пределах выделенной ПТС, с учетом необходимых требований;
- построение по совокупности имеющихся данных геолого-гидрогеологических, инженерно-геологических и геолого-экологических карт различного назначения, отражающих текущее состояние геологической среды, в пределах выделенной ПТС;
- построение карт состояния исследуемых компонентов геологической среды;
- расчет и выделение инженерно-геологических элементов и комплексов грунтов;
- проверка имеющихся данных и вносимой информации действующим Государственным Стандартам, отбраковка и сортировка;

- интерпретация результатов выполненных ранее изысканий (исследований) с учетом требований и стандартизации на настоящее время;
- построение геолого-литологических разрезов.

Выполнение инженерно-геологических изысканий сопряжено с получением, накоплением и переработкой массивов информации. Информация получена из различных источников, в различных отчетных формах, в том числе в виде технических отчетов, научных исследований и рекомендаций по различным вопросам. Причем, количественная оценка и прогноз состояния геологической среды могут быть выполнены только на основании всестороннего изучения условий территории, подлежащей освоению. Возникает противоречивое положение, заключающееся в необходимости сбора обширного материала и фактическом отсутствии единой системы порядка представления информации. Весь поступающий материал в различных формах отчетности не может непосредственно использоваться для решения поставленных задач.

Учитывая данное положение, для успешного функционирования проектируемой модели ГИС, были соблюдены четыре обязательных условия:

- накопление информации в объеме, необходимом для принятия конструктивных решений;
- соответствие всей информации единой алгоритмической схеме представления;
- обеспечение однородности используемых информационных потоков по определенным критериям (классификация и свертывание, точность и надежность и проч.);
- обеспечение возможности функционирования ГИС при недостаточном количестве данных.

При этом под «системой организации данных» следует считать совокупность любых элементов, независимо от природы, если этой совокупности определена внутренняя организация, а все слагающие элементы рассматриваются во взаимной связи и обусловленности как единое целое. Данное положение при проектировании ГИС является основополагающим аспектом в структурном взаимодействии элементов системы.

При создании ГИС «Геологическая среда г.Москвы» учитывалось, что геологическая среда является открытой динамической системой, т.е. системой, находящейся во взаимодействии с окружающей средой и изменяющейся во времени. Эти изменения подчиняются общим закономерностям развития литосферы и ландшафтной оболочки. В то же время, геологическая среда, в своей структуре, обладает значительной динамической устойчивостью, которая проявляется в неизменной комбинации слагающих элементов и постоянном сочетании внутренних и внешних воздействий.

Важным моментом обоснования формализации отдельных компонентов и геологической среды в целом является выработка методических позиций для целенаправленной постановки решаемых задач. Учитывая, что основная (конечная) задача функционирования ГИС «Геологическая среда г.Москвы» сводится непосредственно к получению количественных и качественных характеристик состава и состояния геологической среды, для обоснования проектно-конструкторских и технических решений в рациональном

природопользовании, то для этих целей следует предусмотреть следующую последовательность действий:

- типизацию геологических условий;
- схематизацию геологических условий;
- установление сферы взаимодействия «исследуемый объект (здание, сооружений и проч.) ↔ геологическая среда»;
- построение ПТС;
- выделение инженерно-геологических элементов (ИГЭ);
- построение геолого-литологических разрезов по исследуемой территории;
- определение наличия и степени активности инженерно-геологических процессов на исследуемой территории, а также их влияние на проектные решения;
- обоснования значений нормативных и расчетных характеристик физических, водно-физических, прочностных и деформационных свойств грунтов по ИГЭ;
- составление текущих и прогнозных карт различного назначения на основании выполненных исследований.

Сложность оценки указанных мероприятий заключается в том, что принятие предварительного решения, выполненного по материалам изысканий, должно в той или иной мере базироваться и регламентироваться в соответствии с действующими нормативными документами (ГОСТ, СНиП и т.д.).

Типизация геологических условий при построении ГИС необходима для перехода к схематизации структурно-геологической модели среды, в которой сохраняется чисто геометрическое содержание для дальнейшего описания условий средствами математики, т.е. выполнение содержательной части, включающей методы геологического анализа, и формальной части, включающей методы алгоритмического (математического) анализа.

Основополагающей работой в этом направлении принята разработка, выполненная в 1977–1980 годы авторскими коллективами Центральной инженерно-геологической и гидрогеологической экспедицией Министерства Геологии СССР, Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Московского геологоразведочного института им.С.Орджоникидзе. В этот период собран и проанализирован весь фактический материал инженерно-геологических и гидрогеологических исследований за несколько десятилетий.

В частности, под методическим руководством профессора, доктора геолого-минералогических наук Г.А.Голодковской (МГУ им. М.В.Ломоносова) разработаны типовые схемы инженерно-геологического районирования территории г.Москвы. В основу типовых схем вошли 47 геолого-литологических разрезов, отражающих строение городской территории.

Примечательным фактом результатов данных исследований является возможность использования выполненных разработок для решения алгоритмических задач по идентификации грунтовых и гидрогеологических

условий (схематизация и типизация), в рамках функционирования ГИС «Геологическая среда г.Москвы».

Возможно, при запуске ГИС в промышленную эксплуатацию может возникнуть необходимость введения дополнительных критериев типологизации к разработанным ранее. В этом случае, предполагается введение нового типологического условия на основании принципа независимости исследуемой величины, т.е. выбор критерия по принципу равнозначности. Сущность данного принципа заключается в отсутствии структуры функциональной и(или) корреляционной зависимости одного критерия от другого. Применение методов математической статистики не предполагает проведения корреляции по выверенным (полученным) свойствам. Кроме того, следует предусмотреть возможность синтезирования критериев, т.е. оставить информацию на низшем уровне. В противном случае, типологическая схема превратится в функциональную модель. Данный аспект предполагает, что основным условием отсеивания критерия по свойствам и(или) параметрам геологической среды является факт наличия взаимосвязи.

Схематизация геологических условий является исходной методической позицией для целенаправленной постановки решаемых задач. Схематизация заключается в выборе уровня генерализации параметров, характеризующих геологическую среду, который (уровень) позволяет применить методы математического моделирования. Схематизацию (формализацию) можно определить как уточнение содержания изучаемых компонент геологической среды, которое давало бы право оперировать математическими методами и получать результаты, имеющие практическое значение. Они позволят переходить от вопросов постановки инженерно-геологических задач к математическим расчетам.

К процессу схематизации геологической среды нужно подходить в каждом конкретном случае отдельно. Чрезмерное упрощение геологических условий может привести к неверному пониманию и неверному расчету последствий исследуемых факторов, взаимодействий и прочих условий. Схематизация геологической среды должна строго регламентироваться и обосновываться исследованием или реальным опытом по решению данного вопроса.

Установление сферы взаимодействия «исследуемый объект (здание, сооружений и проч.) ↔ геологическая среда» осуществляется путем анализа существующих условий (геологическое строение, воздействия, нагрузки и проч.), на основе математических моделей и результатов расчетов. За минимальное значение сферы взаимодействия принята активно сжимаемая толща грунтов на основании СНиП 1.02.03-83.

Построение ПТС следует выполнять на основании:

- установления сферы взаимодействия «исследуемый объект (здание, сооружений и проч.) ↔ геологическая среда»;
- существующих гидрогеологических условий, с учетом данных режимных наблюдений. Здесь следует рассматривать также инженерно-геологические процессы и явления, связанные с колебаниями уровня грунтовых и подземных вод (подтопление, затопление, обводнение и проч.). Для расчетной

схемы принимается наихудший показатель или наихудшие (по совокупности) показатели;

- наличия и степени активности инженерно-геологических процессов и внешних техногенных факторов, влияющих на ПТС (карстово-суффозионные и оползневые процессы, утечки из коммуникаций, водопонизительные откачки и проч.).

В силу сложности и многообразия вариантов обоснования ПТС, математическая постановка инженерно-геологической задачи и её формализация не всегда возможны. Исходя из данного положения, решение инженерно-геологических задач условно можно подразделить на три группы:

- полностью алгоритмизируемые (возможность описания математической постановки и правил решения);

- условно алгоритмизируемые (описание математической постановки в решении частных вопросов в совокупности с элементами неформального подхода);

- неалгоритмизируемые.

Выделение ИГЭ осуществляется методами геолого-генетической оценки состава грунтов. Эта процедура достаточно хорошо изучена и подтверждена практикой исследований. В ряду функциональных решений ГИС это направление является максимально изученным и адаптированным практически во всех аспектах расчетов.

Построение геолого-литологических разрезов в ГИС может осуществляться в двух режимах: 1) в автоматизированном режиме построения; 2) в полуавтоматическом режиме построения. Первый вариант построений применяется для условно «простых» условий. Второй – для сложных участков, где необходимо аналитическое заключение исследователя и геологическое строение не удается формализовать.

При подготовке диссертационной работы были рассмотрены различные способы построения геолого-литологического разреза в автоматизированном виде. Однако данный вариант построения следует считать «условно автоматизированным». Это положение основывается на том, что в настоящее время не выведена функциональная зависимость, позволяющая определить положение, предположим, кровли интересующего геологического тела по простирацию. Поэтому реальным направлением в построении геолого-литологических разрезов является полуавтоматический режим. Пример построения геолого-литологического разреза приведен на рис.4.

Определение наличия и степени активности инженерно-геологических процессов на исследуемой территории, а также их влияние на проектные решения, обоснования значений нормативных и расчетных характеристик физических, водно-физических, прочностных и деформационных свойств грунтов по ИГЭ; составление текущих и прогнозных карт различного назначения на основании выполненных исследований по существу являются составной частью мониторинга геологической среды.

Использование ГИС для обработки инженерно-геологической информации открывает новые возможности в исследовании при разработке мониторинга геологической среды. Кроме общепринятых составляющих

ВЫВОДЫ

1. Выполненные исследования определили теоретические основы и практическую значимость создания геоинформационной системы в инженерной геологии, как базового направления перманентного анализа больших объемов инженерно-геологической информации.

2. Сформулированы цели создания, назначение и задачи, решаемые ГИС в инженерной геологии. В основу разработки ГИС положен системный подход, определяющий единые требования к целям, задачам, методам их решения, информационному, программному и техническому обеспечению ГИС. Реализация системного подхода осуществляется путем выполнения принципов построения ГИС в инженерной геологии, к которым относятся: принцип соответствия; принцип единства информации; принцип развития информационного обеспечения; принцип модульного обеспечения; принцип обратной связи; принцип стандартизации и принцип совместимости.

3. Разработана методология построения ГИС, которая включает: методику построения природно-технических систем для целей ГИС, структурированную организацию информационных потоков, принципиальную структуру построения ГИС применительно к инженерной геологии, систематизацию информационного обеспечения, организацию данных ГИС для решения инженерно-геологических задач, требования к качеству инженерно-геологической информации.

4. Определена и реализована технология построения и использования трехмерной модели (3D) геологической среды применительно к решению инженерно-геологических задач. Теоретически обоснованы и практически доказаны перспективы использования 3D моделей геологической среды, как основы для всестороннего освоения подземного пространства территории проектируемого строительства и оптимизации различных видов исследований.

5. В качестве основного теоретического аспекта разработки ГИС принят системный принцип конкордантности, базирующихся на положениях, что: 1) конструирование ПТС в объеме функционирования ГИС должно осуществляться на базе единого, специально сформулированного понятия «системы»; 2) структура функциональной и обеспечивающей частей ГИС должна быть согласована с функциональной структурой ПТС; 3) выбор комплекса технических средств и разработка проблемно-ориентированного программного обеспечения должны определяться целями и задачами ПТС и ГИС.

6. Нижняя (условная) граница геологической среды Московского региона, на информационной базе которой выполнен проект ГИС, соответствует глинистым отложениям верейского яруса каменноугольной системы (C_{2vr}), как регионального водоупора Московского артезианского бассейна.

7. Обосновано построение ПТС как геоподосновы ГИС, включающей:
– выбор способа фиксации и определение границ ПТС с учетом регионально-геологических условий территории;
– исследование и построение структуры ПТС путем декомпозиции (первый этап) её на подсистемы разных порядков и элементы с последующей композицией (второй этап), проводящийся на основе изучения свойств и связей между выполненными подсистемами и элементами ПТС;

- анализ и построение функциональных моделей ПТС как в пространственном, так и временном аспекте;
- объединение элементов морфологии, структуры, функционирования и эволюции ПТС в единую систему, путем выявления и конструирования логических связей и свойств элементов.

8. ГИС в инженерной геологии состоит из функциональной (справочно-информационная, прогнозно-диагностическая системы и обработка данных) и обеспечивающей (информационное обеспечение, программное обеспечение, комплекс технических средств) частей.

9. Выработана структура функциональной и обеспечивающей частей ГИС в инженерной геологии. Рассмотрено функционирование каждой подсистемы. Проанализировано, как на основе структуры изучаемой ПТС должно строиться информационное обеспечение, включающее: средства формализованного описания данных; систему классификаторов и кодирования; формализованное описание информационной базы; информационную базу. Информационное обеспечение подразделено на две категории: I-го порядка и II-го порядка.

10. Определены и проанализированы исследования, касающиеся методики инженерно-геологического районирования территории г.Москвы. Применены типовые схемы и дана оценка возможности использования выполненных разработок для решения алгоритмических задач по идентификации инженерно-геологических и гидрогеологических условий в рамках функционирования ГИС «Геологическая среда г.Москвы». Принята концепция деления территории г.Москвы на четыре области, в каждой из которых выделен ряд групп со сходными грунтовыми, гидрогеологическими условиями и развитием инженерно-геологических процессов, которая существенно помогает формализовать строение геологической среды

Выработана последовательность типологической обработки информации, позволяющей обеспечить процесс перманентного моделирования и управления геологической средой. Принят аспект, касающийся логики формализации, заключающийся в положении, что схематизация и типизация геологических условий имеет смысл, если результаты выполненных работ возможно применить на практике. Это позволяет переходить от вопроса постановки инженерно-геологических задач к математическим расчетам.

На основе проведенных исследований дана концепция создания геоинформационной кибернетической модели, являющейся результатом функционирования ГИС.

11. Определены принципы внесения данных для обеспечения функционирования ГИС. Полученный алгоритм логически включает два взаимосвязанных аспекта методологической основы создания ГИС «Геологическая среда г.Москвы»: 1) формализация данных о геологической среде и 2) формализация методов интерпретации данных. Важным аспектом формализации отдельных компонент и геологической среды, в целом, является выработка методических позиций для целенаправленной постановки решаемых задач.

12. Формализованы информационные потоки, связанные с изыскательской деятельностью. Они подразделены на четыре категории информации: 1) ИП,

содержащие данные экономических расчетов (не рассматривались в рамках диссертационной работы); 2) ИП, содержащие данные по количественной и качественной оценке геологической среды; 3) ИП, выполненных ранее работ; 4) ИП, касающиеся экологической оценки геосреды (не рассматривались в рамках диссертационной работы).

13. Составлена общая структура массивов инженерно-геологической информации ГИС, распределенная по функциональным направлениям.

14. Доказано практическим путем невозможность создания универсальных алгоритмов и формализованных моделей ГИС, которые отражали бы все особенности строения, состава и свойств геологической среды. Внедрение автоматизированного выполнения работ позволяет предусмотреть оптимизацию процесса выполнения инженерных изысканий.

15. Предложено, в рамках функциональной направленности ГИС, совершенствование системы мониторинга геологической среды и создание дополнительного направления автоматизированной оценки рациональности принятых управленческих решений.

16. Полученные результаты позволяют в дальнейшем решить проблему стандартизации инженерно-геологической информации для прикладных направлений и исследований.

17. Внедрение ГИС в инженерную геологию не претендует на отмену существующей методики выполнения изысканий, а конструктивно перестраивает отношение к информации и системе обработки данных, с точки зрения «информационных потоков».

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора

Публикации в изданиях, рекомендуемых Перечнем ВАК:

1. Козловский С.В. Методические аспекты, принципы и последовательность организации геоинформационной системы в инженерной геологии // Инженерная геология // ОАО «ПНИИИС». – М.:2010. – № 1. – С.18-22.
2. Козловский С.В. Принципиальная структура геоинформационной системы для решения задач инженерно-геологических изысканий // Инженерные изыскания // ОАО «ПНИИИС». – М.:2010.-№ 5 – С.12-16.
3. Козловский С.В. Об эффективности проведения буровых работ при инженерно-геологических изысканиях для получения достоверной и качественной информации // Инженерные изыскания // ОАО «ПНИИИС».- М.:2010. – № 12 – С.46-48.
4. Козловский С.В., Шешеня Н.Л. Прогнозирование геологических опасностей и риска их проявлений, как составная часть пространственно-временной системы // Геология и разведка// М.:2010. – № 6. – С.59-61.
5. Козловский С.В. Методика выполнения инженерно-геологических изысканий при применении геоинформационных (ГИС) технологий // Промышленное и гражданское строительство // М.:2009. – № 11. – С.6-7.

6. Козловский С.В., Шешеня Н.Л. Мониторинг опасных инженерно-геологических процессов // Промышленное и гражданское строительство// М.:2009. – № 11. – С.7-8.

Публикации в сборниках и различных изданиях

7. Козловский С.В. Основные аспекты унифицирования данных при построении и применении геоинформационной системы в инженерной геологии // Материалы Пятой общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» 17-18 декабря 2009 г.// Министерство регионального развития РФ, ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве». М.: 2010. – С.66-68.
8. Козловский С.В. Основные особенности выполнения инженерно-геологических изысканий при освоении подземного пространства на территории г.Москвы// Материалы научно-практической конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленных комплексов города Москвы» // Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. – М.: КДУ. –2008. – С.60-62.
9. Козловский С.В., Шешеня Н.Л. Применение ГИС-технологий при выполнении инженерно-геологических изысканий на участках распространения оползневых процессов на примере проектируемого Храма Архангела Михаила в Красногорском районе Московской области. // Материалы Пятой общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» 17-18 декабря 2009 г.// Министерство регионального развития РФ, ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве». – М.: 2010. – С.64-66.
10. Шешеня Н.Л., Козловский С.В. Основные высокоущербные природные и техноприродные процессы (ОПТП) на территории Московской области (МО) // Промышленное и гражданское строительство// М.:2010. – №11. – С.13-15.
11. Козловский С.В., Павлович Г.Д., Экзарьян В.Н. Геоинформационная система «Геологическая среда г.Москвы» // Материалы научно-практической конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленных комплексов города Москвы» // Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. – М.: 2008. – С.24-25.
12. Козловский С.В., Павлович Г.Д., Экзарьян В.Н. Применение геоинформационных систем в инженерной геологии // Материалы Второй общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации»

21-22 декабря 2006г// Министерство регионального развития РФ, ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве». – М.: 2007. – Часть 1. – С.15-20.

13. Козловский С.В., Кошелев А.Г. Достоверность определения деформируемости грунтов полевыми методами исследований как один из аспектов геологической безопасности при высотном строительстве // Международная конференция «Технологии, машины, оборудование, материалы и нормативное обеспечение для подземного и высотного строительства. Секция 2. Высотное строительство», 25-27 января 2006 г.// Сборник докладов. – М.:2006. – С.26-32.
14. Козловский С.В. Методологические основы построения информационных систем в инженерной геологии // Геологическое изучение и использование недр: Науч.-техн. информ. сб.// ЗАО «Геоинформмарк». – М.:2001. – Вып. 1. – С.35-43.
15. Козловский С.В. Построение природно-технических систем при организации геологической информации // Геологическое изучение и использование недр: Науч.-техн. информ. сб.// ЗАО «Геоинформмарк».-М.:2001. – Вып. 1. – С.43-52.
16. Экзарьян В.Н., Козловский С.В. Особенности формирования данных информационной системы «Геологическая среда г.Москвы» // Геологические исследования и охрана недр: Науч.-техн. информ. сб. // ЗАО «Геоинформмарк». – М.: 2000. – Вып. 4. – С.11-14.

Формат 60x88 1/16. Объём 2 ¼ п.л.
Тираж 150 экз.

