

На правах рукописи

ОСИПОВА Анастасия Юрьевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ г. ЕКАТЕРИНБУРГА**

Специальность 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург – 2010

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет».

Научный руководитель -	доктор технических наук, профессор Тагильцев Сергей Николаевич
Официальные оппоненты:	доктор геолого-минералогических наук, доцент Дубейковский Станислав Густавович кандидат геолого-минералогических наук Подкорытова Лидия Ивановна
Ведущая организация -	Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

Защита диссертации состоится 28 декабря 2010 г. в 14³⁰ часов в ауд. 3336 (3-й учебный корпус) на заседании диссертационного совета Д 212.280.04 при ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» по адресу: 620144, ГСП, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет».

Автореферат разослан 26 ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Гуман О.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Город Екатеринбург на сегодняшний день является одним из крупнейших административных центров страны. На его территории интенсивно ведется новое строительство, в том числе высотное, и активно осваивается подземное пространство. При увеличении плотности застройки и повышении уровня ответственности возводимых объектов приоритетными задачами являются обеспечение их безопасности, социального и экологического комфорта для жителей, а также достижение максимальной экономической эффективности градостроительных мероприятий.

Одной из серьёзных проблем, которая возникает при строительстве и эксплуатации сооружений, является развитие деформационных процессов. Чаще всего деформация проявляется в виде трещин, возникающих в фундаментах, стенах и несущих конструкциях. Деформационные процессы наблюдаются в зданиях разного возраста, включая современные сооружения, в объектах метро, транспортных развязках, дорогах и инженерных коммуникациях.

При исследовании деформационных явлений в сфере взаимодействия верхней части геологического разреза и инженерных сооружений следует опираться на понятие «геологическая среда». Под геологической средой понимается верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамическая система, находящаяся под воздействием инженерной деятельности человека (Сергеев Е.М., 1979; 1983).

Специалисты строительного и геологического профилей не дают на сегодняшний день однозначного ответа о возможных причинах деформаций и аварийности инженерных объектов. В связи с многообразием геологических и техногенных факторов единственной, главной причины для всех аварийных случаев не может существовать. Анализ конкретных ситуаций показывает, что современная геодинамическая активность геологической среды практически не рассматривается в качестве одного из ведущих факторов, вызывающего деформации инженерных объектов.

Территория города характеризуется сложным геологическим строением, наличием элювиальных грунтов, неровным рельефом скальных горных пород под покровными образованиями, что вызывает объективные трудности при изучении геологической среды в ходе инженерных изысканий. Наряду с вышеперечисленными особенностями территории при проектировании инженерных объектов необходимо принимать во внимание геодинамический фактор. Он включает в себя выявление тектонических структур на площадках намеченного строительства, определение степени их активности, прогноз и учет подвижек грунтов по этим структурам, возможное воздействие деформаций геологического основания на возводимые или существующие сооружения.

Объектом исследований является геологическая среда г. Екатеринбурга, которая служит основанием зданий и сооружений, а также вмещает разнообразные подземные коммуникации.

Предметом исследований являются деформационные процессы в геологической среде г. Екатеринбурга, возникающие в условиях современной геодинамической активности верхней части земной коры.

Идея работы. Напряжённое состояние верхней части земной коры Уральского региона проявляется в деформационных процессах, протекающих в геологической среде г. Екатеринбурга. Состояние подземных инженерных коммуникаций, имеющих повсеместное распространение на территории города, отражает уровень активизации геологической среды и может использоваться в целях геодинамического картирования и оценки степени тектонической опасности для конкретных объектов городской инфраструктуры.

Цель работы. Оценка геодинамической обстановки в геологической среде города с позиции напряженного состояния земной коры и активности тектонических нарушений с использованием техногенных элементов (трубопроводов, зданий, дорог и др.) в качестве деформационных индикаторов.

Основные задачи исследований:

1. Анализ современных представлений о геодинамической активности геологической среды, рассмотрение механизмов формирования активных тектонических разломов и их влияния на инженерные сооружения.

2. Обзор факторов, вызывающих подвижки грунтов верхней части земной коры и способствующих повреждениям инженерных сооружений, оценка их роли в деформационных процессах.

3. Оценка степени проявления современной геодинамики на территории г. Екатеринбурга с учетом особенностей геологического и тектонического строения, анализа сейсмических событий вблизи города, данных геодезических измерений (повторных нивелировок, GPS-наблюдений).

4. Определение ориентировки осей главных напряжений в геологической среде г. Екатеринбурга на основании изучения пространственной ориентировки трещин, разломов, данных прямых измерений напряжённо-деформированного состояния геологической среды рудных месторождений в окрестностях города.

5. Изучение геолого-тектонической обстановки и анализ пространственной локализации аварийных участков на линиях подземных коммуникаций.

6. Выявление геодинамически активных зон на территории г. Екатеринбурга посредством анализа линеаментов аварийных участков городского водопровода, тектонических структур, отображенных на геолого-структурной карте и схеме новейшей тектоники, а также зон с повышенным содержанием радона в почвенном воздухе.

7. Оценка геодинамических условий площадок аварийных и деформируемых зданий города на основании анализа геологической документации и посредством выполнения геофизических и геодезических исследований.

Исходные материалы. В основу диссертационной работы положены материалы по деформациям зданий и инженерных коммуникаций, собранные и проанализированные автором в период 2007–2010 гг. В работе использованы результаты геологических и инженерно-геологической съемок масштаба

1:10000 - 1:50000, геомеханические данные по месторождениям полезных ископаемых, опубликованные работы по территории города.

Личный вклад автора. Автор принимала непосредственное участие в сборе, обработке и анализе данных по аварийности инженерных сооружений; выполнении измерений трещиноватости в массивах горных пород на территории г. Екатеринбурга; оценке степени геодинамической активности геологической среды; в проведении экспериментальных полевых исследований в пределах ряда геодинамически активных зон города.

Методы исследований. Предмет исследований диссертационной работы находится на стыке ряда отраслей знаний, среди которых можно выделить инженерную геологию, гидрогеологию, геоэкологию, геомеханику, инженерную геотектонику, структурную геологию, тектонофизику. Основной теоретической базой для исследований послужили базовые положения научного направления «Гидрогеомеханика скальных массивов». В целом методика исследований направлена на изучение природного процесса тектонической активизации массивов горных пород в условиях геодинамического напряжённого состояния верхней части земной коры. Учитывается, что при техногенном воздействии на геологическую среду процессы тектонической активизации развиваются и проявляются более интенсивно.

Для решения поставленных задач были применены геолого-структурные, гидрогеологические, геофизические и геодезические методы исследований.

Научная новизна работы определяется следующими основными результатами:

1. Определена ориентировка осей главных нормальных напряжений в геологической среде г. Екатеринбурга.
2. Установлена приуроченность деформаций инженерных объектов к отдельным локальным участкам и линейным зонам, определена их пространственная ориентировка.
3. Выявлены геодинамически активные зоны на территории г.Екатеринбурга.
4. Разработаны предложения по выделению локальных тектонических нарушений на площадках аварийных зданий и намеченного строительства, обоснованы мероприятия, позволяющие повысить степень защищённости сооружений от геодинамического воздействия.

Основные защищаемые положения

1. На основании анализа тектонических структур и данных измерений напряжённого состояния верхней части земной коры выявлены ориентировки векторов главных нормальных напряжений и преобладающие азимуты простирания тектонических нарушений. Воздействие главных нормальных напряжений реализуется по двум сопряжённым направлениям, имеющим азимуты 260 и 285°. Активизация разломных структур происходит по направлениям, которые определяются современным полем тектонических напряжений.

2. Большинство аварийных участков городского водопровода образует чётко выраженные линейные цепочки – линеаменты, не связанные с ориентировкой сети подземных коммуникаций. Простирание линеаментов соответствует ориентировке активных структур в поле современных тектонических напряжений. Следует рассматривать аварии на линейных подземных сооружениях как деформационные индикаторы геодинамической активности геологической среды.

3. Схема геодинамически активных зон, основанная на результатах анализа тектонических структур и аварийности подземных коммуникаций, позволяет выявить основные факторы тектонической опасности и оценить уровень активизации геологической среды в различных частях города.

4. В узлах пересечения тектонических нарушений, имеющих различное направление подвижек в поле современных напряжений, формируются зоны растяжений и вертикальных деформаций геологического основания зданий и сооружений. Для выявления зон значительных современных деформаций необходимо при проведении инженерно-геологических изысканий на участках высокой тектонической опасности и обследовании аварийных сооружений применять комплекс специальных геофизических, гидрогеологических и геодезических исследований.

Практическая значимость работы. Выявленные закономерности геодинамической активности геологической среды на территории города позволяют целенаправленно выполнять инженерные изыскания и оптимизировать состав инженерно-геологических работ. Исследования показали, что в геодинамически активных зонах необходимо дополнительное изучение площадок намеченного строительства посредством выполнения специальных геофизических и геодезических работ.

Основные положения работы используются предприятием «Горводопровод» при разработке генерального плана развития водопроводных сетей г. Екатеринбурга.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практической конференции «Проблемы инженерных изысканий для высотного строительства в Уральском регионе» (Екатеринбург, 2007 г.); на конференции «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей» (Екатеринбург, 2007 г.); на I Молодёжной научно-практической конференции «Проблемы недропользования», посвященной 45-летию ИГД УрО РАН (Екатеринбург, 2007 г.); на I Уральском международном экологическом конгрессе «Экологическая безопасность горнопромышленных регионов» (Екатеринбург, 2007 г.); на Международной конференции «Геофизические исследования Урала и сопредельных регионов», посвященной 50-летию Института геофизики УрО РАН (Екатеринбург, 2008 г.); на Международной научной конференции «Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка» (Москва, 2009 г.); на научно-практической конференции «Проблемы комплексных инженерных изысканий для всех видов строительства» (Екатеринбург, 2009 г.); на Международной

конференции «Геомеханика в горном деле» (Екатеринбург, 2009 г.); на II Всероссийской научно-практической конференции «Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий» (Екатеринбург, 2009 г.); на Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии» (Москва, 2010 г.); на конференциях, проводившихся в рамках Уральской горнопромышленной декады (Екатеринбург 2007-2010 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 2 работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 146 наименований.

Первая глава посвящена обзору представлений об активных тектонических разломах, геодинамически активных зонах, о влиянии их на инженерные объекты. Перечислены элементы проявлений современной геодинамики на территории г. Екатеринбурга.

Во второй главе приведена характеристика инженерно-геологических условий территории г. Екатеринбурга.

В третьей главе описаны основные методы определения ориентировки осей главных напряжений. Приведены результаты геомеханического и геолого-структурного анализа тектонических структур, определена ориентировка осей главных напряжений в верхней части земной коры территории г.Екатеринбурга.

В четвертой главе рассмотрены виды деформаций линейных сооружений города, установлены возможные причины их развития.

В пятой главе представлены результаты выявления геодинамически активных зон на территории г. Екатеринбурга.

В шестой главе описывается методика оценки геодинамических условий площадок намеченного строительства. Приведены результаты комплексных исследований, выполненных на двух площадках деформируемых зданий г.Екатеринбурга.

Объём диссертации составляет 160 страниц машинописного текста, включая 55 рисунков, 18 таблиц.

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю доктору технических наук, профессору С.Н. Тагильцеву за содержательные консультации и советы при выполнении диссертационной работы.

Автор признателен с.н.с. ИГФ УрО РАН А.Н. Гуляеву за постоянное внимание к научной деятельности диссертанта, помощь в выборе направления исследования, содействие в сборе материалов; специалистам ИГФ УрО РАН м.н.с. В.Ю. Осипову, с.н.с., д.г-м.н. В.А. Щапову, н.с., к.г-м.н. В.В. Носкевичу, м.н.с. А.В. Климшину, м.н.с. М.Ю. Луковскому, заведующему лабораторией технологий снижения риска катастроф при недропользовании ИГД УрО РАН В.В. Мельнику и м.н.с. ИГД УрО РАН А.Л. Замятину за большую помощь в

проведении комплексных геофизических и геодезических исследований, результаты которых легли в основу данной диссертационной работы.

Диссертант благодарен коллективу кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии УГГУ во главе с заведующим кафедрой профессором, доктором геолого-минералогических наук О.Н. Грязновым за полезные замечания и советы.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. На основании анализа тектонических структур и данных измерений напряжённого состояния верхней части земной коры выявлены ориентировки векторов главных нормальных напряжений и преобладающие азимуты простираания тектонических нарушений. Воздействие главных нормальных напряжений реализуется по двум сопряжённым направлениям, имеющим азимуты 260 и 285°. Активизация разломных структур происходит по направлениям, которые определяются современным полем тектонических напряжений.

В соответствии с основными научными представлениями, процесс деформации скального массива, образование массовых трещин и тектонических разломов с той или иной кинематикой смещения полностью зависят от пространственной ориентировки векторов главных нормальных напряжений, действующих в приповерхностной части земной коры в настоящее время. Современное напряженное состояние оказывает существенное воздействие на состояние и подвижность геологической среды.

Напряженное состояние земной коры г. Екатеринбурга изучено слабо. Непосредственно на территории города планомерных серьезных исследований напряженного состояния земной коры не проводилось. Но в целом по Уралу, в связи с разработкой рудных месторождений, исследования напряжённого состояния земной коры выполнялись в течение многих лет.

Изучение напряженного состояния горных пород с помощью прямых измерений проводилось в районах рудных месторождений силами ряда организаций, но основные результаты были получены специалистами ИГД УрО РАН. Данные, приведённые в работах Влоха Н.П. (1994), Зубкова А.В. (2001), свидетельствуют о том, что массивы горных пород находятся под воздействием значительных напряжений. Средние значения горизонтальных напряжений составляют 10÷30 МПа, а иногда, особенно с глубиной, превышают 50 МПа. Азимуты действия главных нормальных максимальных напряжений находятся в диапазоне 230-300°, чаще встречаются азимуты от 260 до 290°. Для месторождений городов Березовский и Дегтярск, которые расположены в окрестностях Екатеринбурга, эти значения составляют 260 и 270°.

На ряде месторождений Урала, при проведении гидрогеомеханических исследований, применен геолого-структурный метод анализа полей напряжений. На основании этих работ установлена закономерность пространственной ориентировки активных водоносных зон в поле современных

тектонических напряжений (Тагильцев С.Н., 2003) и составлена типовая роза-диаграмма (рис. 1а).

Результаты этих исследований показали, что в современную геологическую эпоху главное нормальное максимальное напряжение в породных массивах имеет переменную ориентировку, но чаще всего действует по двум сопряженным направлениям. Периодичность изменения ориентировки воздействия главного нормального напряжения, т.е. переход воздействия одного главного нормального максимального напряжения к другому, пока не установлены. Два направления действия главного нормального максимального напряжения образуют между собой характерный угол, равный 25-35°. На разных объектах азимуты двух направлений оси главного нормального максимального напряжения могут варьировать в пределах 10-20° и, как правило, укладываются в два диапазона: 255-275° и 285-305°.

В условиях напряженного состояния земной коры могут возникать, развиваться и активизироваться основные типы тектонических нарушений: надвиги (взбросы), сдвиги, сбросы, раздвиги. Эти структуры имеют различную ориентировку (простираие) относительно направления действия главного нормального максимального напряжения.

Надвиги образуют с осью максимального напряжения прямой угол. Раздвиги и сбросы развиваются параллельно оси действия главного напряжения. При построении роз-диаграмм лучи, отражающие простираие раздвигов (сбросов) и надвигов, образуют между собой угол в 90°. Это угловое соотношение является важным диагностическим признаком, позволяющим уточнять кинематический тип тектонических нарушений. Сдвиги, в зависимости от преимущественной реализации хрупкой или пластичной деформации, могут образовывать с направлением действия главного нормального максимального напряжения угол от 25 до 60°.

Непосредственно на территории г. Екатеринбурга для выявления ориентировки осей главных максимальных напряжений были применены два метода, основанные на построении роз-диаграмм ориентировки разломов и построении круговых диаграмм трещиноватости. Оба метода учитывают тот факт, что главное максимальное напряжение может действовать по двум и более направлениям, отстоящим друг от друга на угол 25-35°.

В процессе исследований были проанализированы геолого-структурная карта города (Левитан Г.М., Ершова К.А., Кудрявцева Т.А., 1976), схема новейшей тектоники территории Екатеринбурга (Гуляев А.Н., 1998). Результаты анализа ориентировки тектонических структур представлены в виде роз-диаграмм (рис. 1б, в). Построение роз-диаграмм осуществлялось путём суммирования относительных длин линейных элементов в пределах одного диапазона азимутов простираия.

На диаграммах можно выделить наиболее выраженные (длинные) лучи, а также слабовыраженные (короткие) лучи. Длинные лучи отражают простираие наиболее распространённых и протяжённых структур.

На диаграмме, представленной на рисунке 1б, ориентировки выраженных пиков укладываются в диапазоны азимутов 305-325°, 355-15°, 35°-55°.

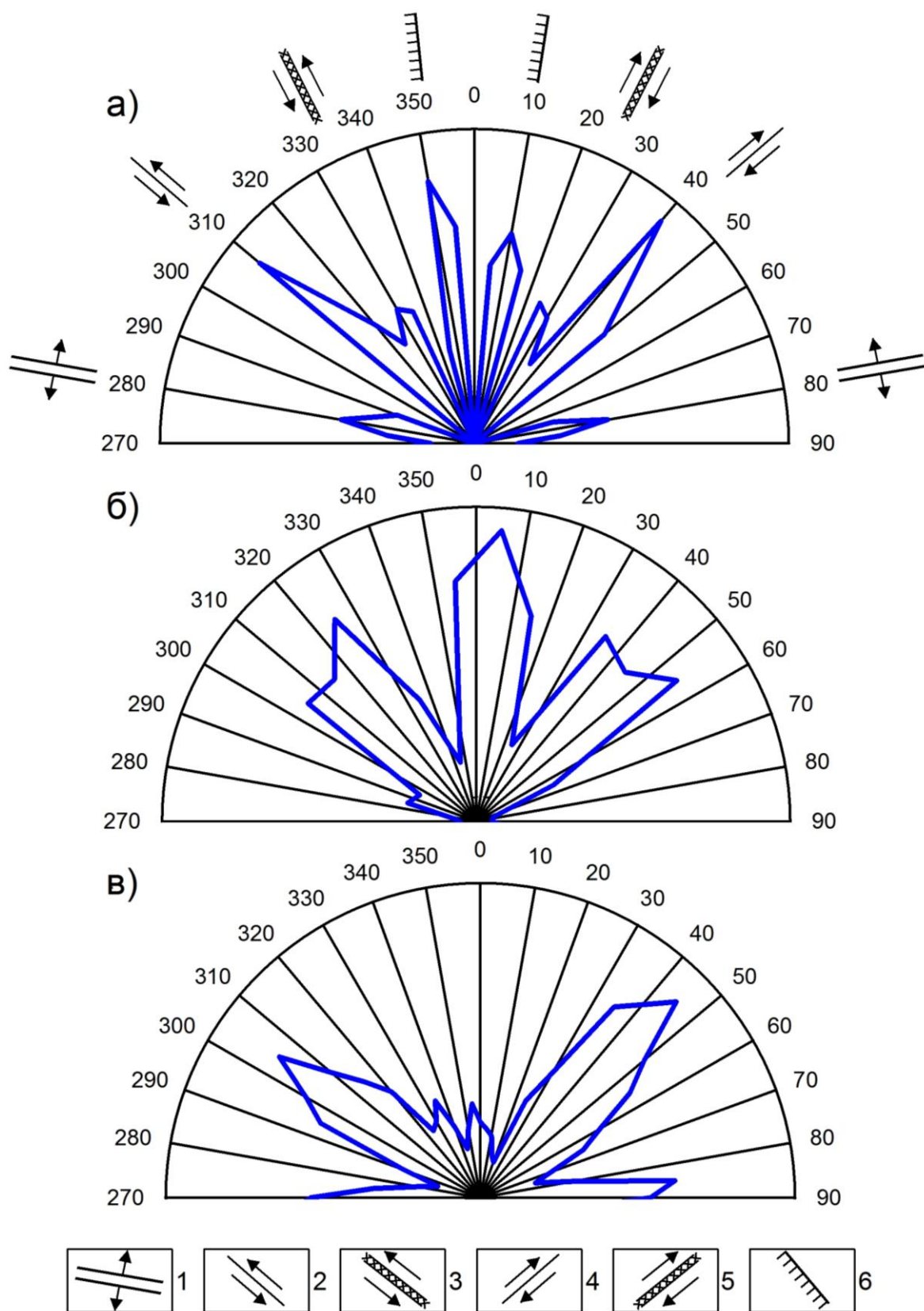


Рис. 1. Роза-диаграмма: а) теоретическая, б) построенная по геолого-структурной карте, в) построенная по схеме новейшей тектоники (1 – раздвиг; 2 – левый хрупкий сдвиг; 3 – левый хрупко-пластичный сдвиг; 4 – правый хрупкий сдвиг; 5 – правый хрупко-пластичный сдвиг; 6 – надвиг)

Слабовыраженный пик соответствует азимуту 285° . Следует полагать, что ось главного максимального напряжения ориентирована по азимуту 285° . Структуры, имеющие данную ориентировку, связаны с развитием раздвигов (сбросов). С раздвигами (сбросами) образуют прямой угол надвиги (азимут линеаментов - 15°). Основными структурами являются сдвиги, имеющие среднее простирание 315 и 45° .

На диаграмме, представленной на рисунке 1в, главное максимальное напряжение ориентировано по азимуту 265° . Основными структурами являются сдвиги, имеющие среднее простирание 305 и 45° . На диаграмме отразились также линеаменты, имеющие азимуты 335 и 355° .

Полученные угловые соотношения лучей диаграмм, построенных по геолого-структурной карте и схеме новейшей тектоники, хорошо соотносятся с вышеотмеченными закономерностями, которые характерны для Уральского горно-складчатого региона.

В пределах Уктусского габбро-перидотитового массива и Шарташского гранитного карьера были выполнены массовые замеры пространственной ориентировки трещин. Для каждого съемочного участка построены круговые диаграммы трещиноватости.

Распределение трещин в породах Шарташского карьера и Уктусского массива имеет общие закономерности. На всех диаграммах можно выделить два направления действия главного нормального максимального напряжения (σ_1). Их азимуты составляют $255-260^\circ$, $285-295^\circ$. Им соответствуют направления действия главного промежуточного напряжения (σ_2) с азимутами соответственно около $345-350^\circ$, $190-200^\circ$.

Субвертикальные трещины образуют несколько отдельных генераций, которые могут быть как трещинами отрыва, так и трещинами сдвига. Следует полагать, что генерации субвертикальных трещин, совпадающие с направлениями максимальных действующих напряжений, такие как $260-270^\circ$, $280-290^\circ$, в поле современных напряжений проявляются преимущественно как трещины отрыва. Трещины в генерациях $220-230^\circ$, $310-330^\circ$ отражают сдвиговые перемещения.

Использование геомеханического и геолого-структурного анализа пространственного положения тектонических нарушений позволило определить направление современного тектонического воздействия. Методы определения ориентировки осей главных напряжений при помощи роз-диаграмм разломов и круговых диаграмм трещиноватости дополнили друг друга и показали высокую степень схождения.

Таким образом, с достаточной степенью достоверности для территории Екатеринбурга можно выделить два направления действия главного максимального напряжения, образующих так называемую «действующую пару». Два направления действия главного максимального напряжения σ_1 имеют азимуты 285 и 260° .

2. Большинство аварийных участков городского водопровода образует чётко выраженные линейные цепочки – линеаменты, не связанные с ориентировкой сети подземных коммуникаций. Простирание линеаментов

соответствует ориентировке активных структур в поле современных тектонических напряжений. Следует рассматривать аварии на линейных подземных сооружениях как деформационные индикаторы геодинамической активности геологической среды.

В поле современных тектонических напряжений значительная часть разломов проявляет геодинамическую активность. Активность разломов выражается в периодических разнонаправленных подвижках по тектоническим швам. Эти подвижки, как правило, хорошо проявляются в приповерхностном слое земной коры. Смещения по разлому могут быть небольшими, могут происходить возвратно-поступательные или разнонаправленные движения, или небольшие пульсации. В пределах шовных зон породы имеют повышенную раздробленность и трещиноватость. Очень важным показателем современной активности тектонических нарушений следует считать формирование в зоне тектонического шва или прилегающих участков активного пронизываемого пространства для различных флюидов.

Наиболее чувствительными к деформациям верхней части геологического разреза являются протяженные подземные инженерные коммуникации. На участках пересечения данными объектами тектонических структур нередко возникают аварийные ситуации.

Согласно представлениям ряда специалистов (Коновалова Ю.П., 2009; Макаров В.И., Григорьева С.В., 2010; Сашурин А.Д., Боликов В.Е., 2004; Султангареев Р.Х., 2009; Тагильцев С.Н., 2010), при пересечении трубами различного назначения активных тектонических структур к возникновению деформаций могут привести:

- силовое воздействие при криповых подвижках по разлому;
- формирование зон относительного растяжения при взаимодействии разломов с разнонаправленными движениями;
- накопление усталостных деформаций в результате циклических движений по разлому;
- возникновение резонансных явлений, вследствие совпадения внутренней (собственной) частоты колебаний в трубопроводе с внешней (возбуждающей) частотой слабых вибраций в окружающем трубопровод массиве;
- техногенно-природные процессы, наиболее ярко проявленные в геодинамически активных зонах и узлах их пересечений. В частности, вдоль этих структур активно развиваются карст, суффозия, процессы выветривания, наблюдаются вариации геофизических полей.

Проявление тектонической активности в деформациях линейных коммуникаций, зданий и сооружений позволяет использовать их в качестве индикаторов активных геодинамических зон.

В данной работе представлен анализ данных по аварийности труб городского водопровода. Водопроводная сеть представляет собой систему относительно хрупких чугунных и стальных труб, заглубленных в грунт на глубину примерно 3 м. Трубы городского водопровода достаточно жестко

взаимодействуют с геологической средой и являются наименее защищенными по сравнению с другими видами подземных коммуникаций.

По данным предприятия «Горводопровод» на территории г. Екатеринбурга ежегодно происходит порядка 1000 аварий на линиях городского водопровода. Анализ данных по аварийности водопроводной сети показал, что значительная часть аварий происходит в пределах одних и тех же достаточно компактных участков.

Сопоставление вариаций числа аварий на линиях городского водопровода во времени с данными GPS-мониторинга расстояния между зданием Института горного дела УрО РАН в Екатеринбурге и геофизической обсерваторией «Арти» показало прямую зависимость аварийности с процессами, протекающими в земной коре (Овчаренко А.В., Гуляев А.Н., 2008).

Характер повреждений на линиях городского водопровода различный. В течение эксплуатации происходят переломы и разрывы труб, возникают трещины, свищи, свищевая коррозия. Причин возникновения аварий достаточно много, в том числе и естественный износ труб. При анализе фактических данных, в первую очередь, учитывались переломы и трещины, которые явно указывают на высокий уровень силового динамического воздействия. Повреждения такого характера составляют порядка 30% от общего количества аварийных ситуаций.

При нанесении на карту города мест аварий, которые произошли в 2004 - 2007 гг., было замечено, что большинство аварийных участков образуют на карте линейные «цепочки» (рис. 2). Такие образования принято называть линеаменами. Наличие линеаментов, не связанных с ориентировкой сети подземных коммуникаций, заставляет полагать, что значительная часть аварий возникает в результате деформаций в пределах линейных зон тектонических нарушений.

В ходе исследований для территории г. Екатеринбурга построен ряд схем аварийных линеаментов. Для каждого года составлены отдельно схемы линеаментов по участкам переломов, разрывов и трещин труб и отдельно по участкам свищей, свищевой коррозии труб. Также составлены обобщенные схемы по всем типам аварий для каждого года отдельно и по разным типам аварий обобщенные по годам. Для выявления закономерностей в ориентировке линеаментов построены розы-диаграммы по обычной методике, но с учётом различий в длине линеаментов.

На рисунке 3 приведена роза-диаграмма линеаментов, построенных по участкам аварий городского водопровода с характером повреждений «перелом» за период с 2004 по 2007 гг. Наиболее выражены лучи с ориентировкой $65^{\circ}(245^{\circ})$ - $85^{\circ}(265^{\circ})$, 285° , $305-335^{\circ}$. Менее выражена ориентировка лучей с азимутами 355° , $15^{\circ}(195^{\circ})$, $45^{\circ}(225^{\circ})$.

Сравнительный анализ роз-диаграмм аварийных линеаментов в вышеуказанных сочетаниях позволяет с вариациями $5-10^{\circ}$ и с разной степенью выраженности выделить на всех диаграммах направления линеаментов: $275-285^{\circ}$, $300-310^{\circ}$, $320-330^{\circ}$, 355° , $15^{\circ}(195^{\circ})$, $35^{\circ}(215^{\circ})-45^{\circ}(225^{\circ})$, $75^{\circ}(255^{\circ})-85^{\circ}(265^{\circ})$. Таким образом, простираение аварийных линеаментов соответствует

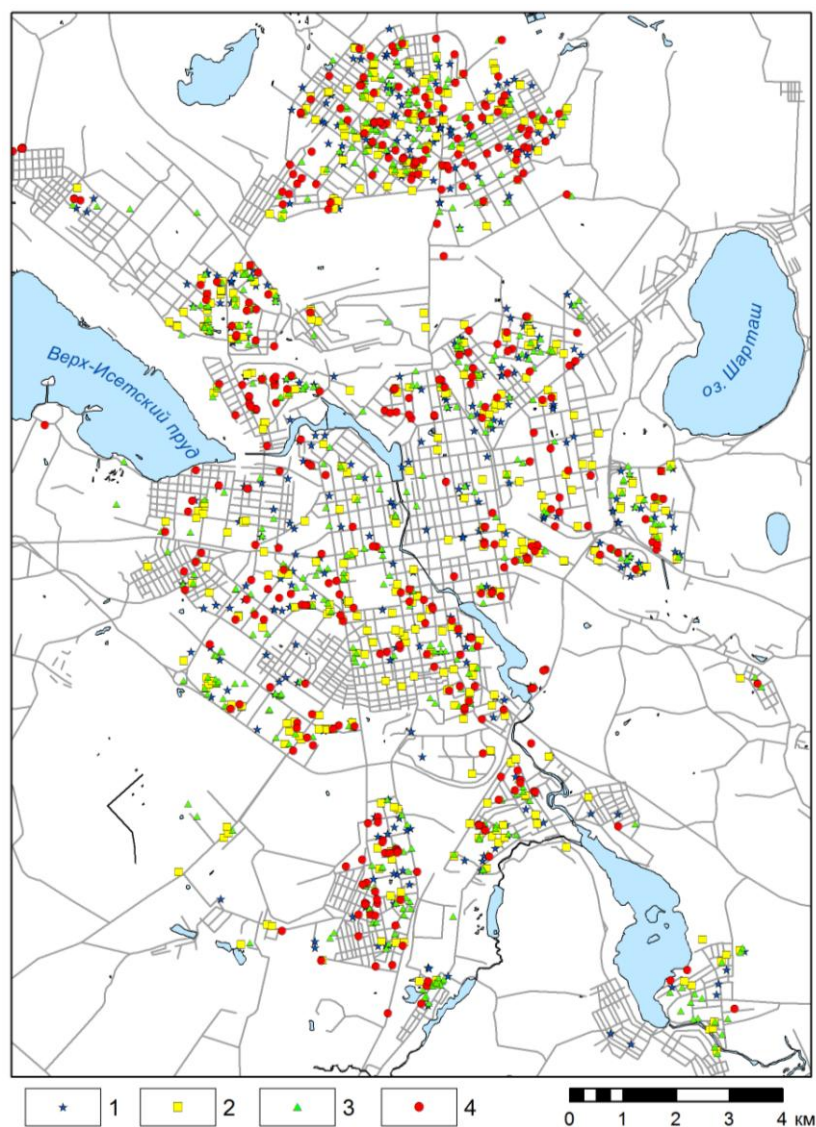


Рис. 2. Схема аварийных участков труб городского водопровода с характером повреждений «перелом» за период 2004-2007 гг. на территории Екатеринбурга: 1 – 2004 г.; 2 – 2005 г.; 3 – 2006 г.; 4 – 2007 г.

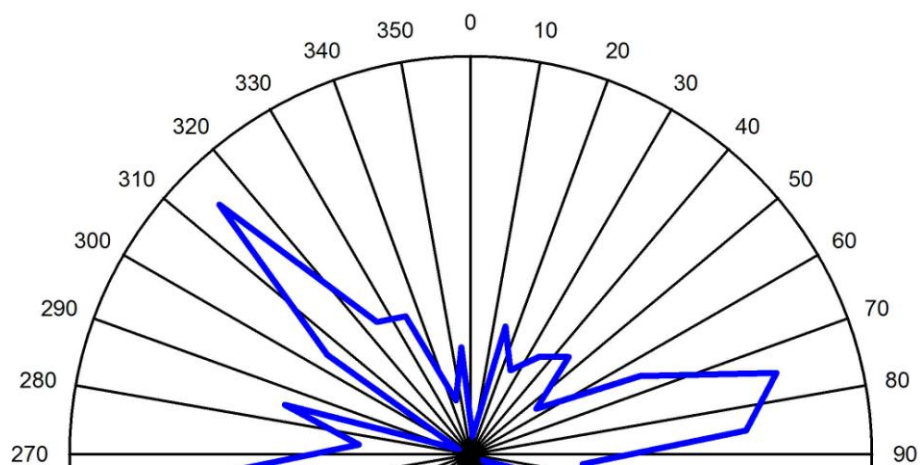


Рис. 3. Роза-диаграмма линеаментов аварийных участков труб городского водопровода с характером повреждений «перелом» за период 2004-2007 гг.

ориентировке активных структур в поле современных тектонических напряжений. Вследствие этого аварии на линейных подземных сооружениях следует рассматривать как деформационные индикаторы геодинамической активности геологической среды.

3. Схема геодинамически активных зон, основанная на результатах анализа тектонических структур и аварийности подземных коммуникаций, позволяет выявить основные факторы тектонической опасности и оценить уровень активизации геологической среды в различных частях города.

Для выявления геодинамически активных зон в геологической среде г.Екатеринбурга были сопоставлены линеаменты, построенные по участкам «переломов» труб городского водопровода за период 2004-2007 гг., тектонические структуры, отображенные на геолого-структурной карте и схеме новейшей тектоники, а также зоны с повышенным (свыше 10 кБк/м³) содержанием радона в почвенном воздухе (Илларионов В.Д., Зейгермахер А.Л., Усольцев Ю.С. и др. 1996). Результаты анализа вышеперечисленного материала представлены в виде схемы геодинамически активных зон г. Екатеринбурга (рис. 4). К данной схеме составлена таблица основных характеристик этих зон (длина структуры, азимут простирания), а также основные критерии их выявления.

В условиях субширотного сжатия земной коры г. Екатеринбурга следует полагать, что зоны, имеющие ориентировку, параллельную направлению действия главного максимального напряжения, связаны с развитием сбросов или раздвигов. Преобладающий азимут этих структур составляет 255-265°, в меньшей степени развиты на территории города структуры с азимутом 285°. Сбросы следует рассматривать как наиболее опасные для наземных сооружений в связи с существенной вертикальной компонентой тектонической деформации. Такие структуры развиты преимущественно в юго-западной и северо-восточной частях города.

Основные угловые закономерности развития тектонических структур Уральского региона и г. Екатеринбурга позволяют охарактеризовать геодинамически активные зоны субмеридионального направления как надвиговые (взбросовые) структуры, зоны северо-восточного и северо-западного направлений – как сдвиги правой и левой кинематики.

Преобладающие структуры на территории города – сдвиги. Сдвиги левой кинематики развиваются по направлению 305-325°. Сдвиги правой кинематики развиваются по направлению 225-235°.

Знание кинематического типа тектонических структур, их расположения, степени геодинамической активности позволяет прогнозировать их воздействие на инженерные сооружения и разрабатывать рекомендации по устранению возможного негативного воздействия данных структур на различные объекты.

4. В узлах пересечения тектонических нарушений, имеющих различное направление подвижек в поле современных напряжений, формируются зоны растяжений и вертикальных деформаций геологического основания зданий и сооружений. Для выявления зон значительных современных деформаций,

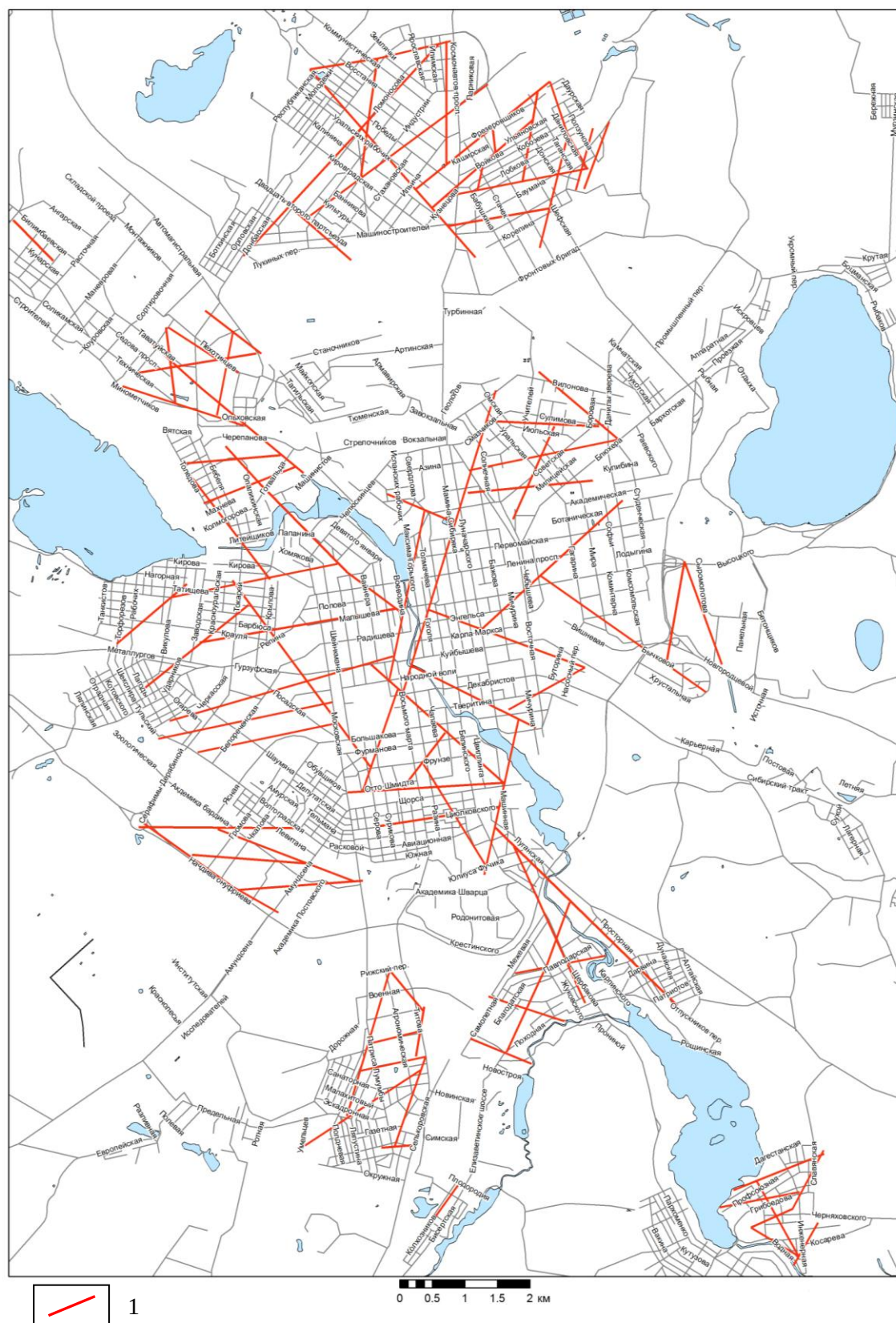


Рис. 4. Схема геодинамически активных зон г. Екатеринбурга
Составили: Осипова А.Ю., Тагильцев С.Н., 2010 г.

Условные обозначения: 1 – геодинамически активные зоны, выявленные в результате анализа линементов аварийных участков городского водопровода, тектонических структур, отображенных на геолого-структурной карте и схеме новейшей тектоники, а также зон с повышенным содержанием радона в почвенном воздухе

при проведении инженерно-геологических изысканий на участках высокой тектонической опасности и обследовании аварийных сооружений, необходимо применять комплекс специальных геофизических, гидрогеологических и геодезических исследований.

На сегодняшний день сотрудниками ИГФ УрО РАН составлен каталог повреждённых зданий и сооружений, включающий в себя порядка 1000 объектов на территории г. Екатеринбурга. Информацией по аварийным домам обладает ОАО «Уралгражданпроект», в каталоге которого таких объектов более 100. Деформации наблюдаются в зданиях разного возраста, включая современные сооружения.

Инициативной группой сотрудников УГГУ, ИГД УрО РАН и ИГФ УрО РАН были проведены комплексные геофизические и геодезические исследования на ряде деформируемых объектов.

В научном и практическом отношении большой интерес представляет аварийный 9-этажный 144-квартирный дом на ул. Мусоргского, 6. Здание построено в 1982 году по типовому проекту на ленточном фундаменте с глубиной заложения 3,0 м. В 2002 году дом был отселен в связи со значительными деформациями здания. Деформации начались сразу же после его возведения. На сегодняшний день видимые деформации особо чётко выражены на дворовом фасаде (сеть наклонных и вертикальных трещин с шириной раскрытия от первых сантиметров до десятков сантиметров).

Инженерно-геологические изыскания на исследуемом участке были выполнены дважды: в 1979 году «УралТИСИЗом» и в 2000-м - по заданию ОАО «УралНИИАС» специалистами организации ООО «Николай-ИнГео». Дополнительные инженерно-геологические изыскания в основном подтвердили результаты изысканий, выполненных перед строительством жилого дома. Была проведена лишь некоторая корректировка геологического разреза при сгущении сети скважин. Причины разрушительных деформаций не были выявлены.

Для изучения геодинамической обстановки на площадке аварийного дома выполнены полевые исследования комплексом геофизических методов, включающим сейсмозондирование, вертикальное электрическое зондирование, георадарное зондирование, и комплексом геодезических методов, включающим GPS-наблюдения и нивелирование.

Инженерно-геофизические исследования, выполненные тремя независимыми методами, позволили в пределах исследуемого участка выявить локальные тектонические нарушения и построить геомеханическую схему площадки аварийного здания. Пространственное расположение выделенных тектонических зон полностью соответствует представлениям о современном напряженном состоянии земной коры в пределах Уральского региона. В поле современных действующих напряжений, при субширотной ориентировке оси главного максимального напряжения, данные разломы активизируются как левый сдвиг с азимутом простирания 330° , правый сдвиг с азимутом простирания 230° , взброс с азимутом простирания 355° и сброс с азимутом простирания 260° .

Полученные данные позволяют связать максимальные деформации в центральной части дома с зоной относительного растяжения верхней части геологического разреза, образованной вследствие пересечения двух разнонаправленных тектонических структур. Западная часть здания испытывает схожие деформации, поскольку также попадает в зону относительного растяжения, образованную вследствие пересечения сбросовой структуры и зоны правого сдвига. Выявленный левый сдвиг в пределах крайней восточной части площадки не оказывает видимого влияния на здание.

При сопоставлении полученных результатов с инженерно-геологическим разрезом было отмечено, что деформации центральной части здания наблюдаются на участке, где кровля коренных пород (порфиритов) средней прочности залегает ближе к дневной поверхности. Значения плотности грунтов в пределах выявленной зоны относительного растяжения ниже, чем за её пределами.

Еще одним показательным примером является здание гаража, расположенное по адресу ул. Крылова, 26 в Верх-Исетском районе Екатеринбурга. Здание гаража построено в середине 70-х годов прошлого века по проекту Свердловского филиала института «Гипроавтотранс». С самого начала эксплуатации здание испытывает значительные деформации, которые выражаются в виде трещин, отклонения колонн от вертикали и перекосов несущих конструкций. Данные наблюдений показывают, что деформации протекают в вялотекущем режиме на протяжении всего времени эксплуатации здания, а в некоторые периоды приобретают более резкий характер.

Изучением причин деформаций здания гаража в разные годы занимались специалисты различных организаций. Проводилось дополнительное изучение грунтов основания, строительное обследование здания гаража. Объективных причин деформаций выявлено не было.

В процессе исследований на данном объекте было проведено обследование территории, прилегающей к гаражу, комплексом методов, направленных на выявление локальных тектонических нарушений. Выполнен анализ материалов по деформационным наблюдениям, инженерно-геологических и гидрогеологических данных, построена карта гидроизогипс. Кроме того, были проведены геофизические работы, направленные на изучение изменения объемной активности радона в пределах предполагаемого участка расположения тектонического разлома.

Результаты исследований позволили выявить на площадке деформируемого здания три зоны тектонических нарушений: левый сдвиг с азимутом простирания $320-330^\circ$, правый сдвиг с азимутом простирания $220-230^\circ$ и надвиг (взброс) с азимутом простирания $340-350^\circ$.

Надвиг имеет восточное падение и относительно пологое залегание. Полученные данные позволяют связать максимальные деформации в северо-восточном углу здания гаража с движениями по двум активным тектоническим структурам – надвигу и правому сдвигу. Указанная часть здания попадает в зону относительного растяжения, в которой по надвигу происходит смещение в западном направлении, а по правому сдвигу – в северо-восточном.

Таким образом, исследования, выполненные комплексом геофизических, геодезических и гидрогеологических методов на площадках деформируемых зданий по ул. Мусоргского, 6 и ул. Крылова, 2б, позволили выявить причины деформации объектов. В обоих случаях деформации зданий связаны с наличием в пределах исследуемых участков локальных активных тектонических структур. Причем наибольшие деформации сооружений происходят в зонах относительного растяжения верхней части геологического разреза, образованных при взаимодействии тектонических структур с разнонаправленными движениями.

Результаты выполненных исследований заставляют полагать, что наибольшую опасность тектоническая активность представляет на участках с неглубоким положением скального основания, которое хорошо передаёт тектонические подвижки на инженерные сооружения. В этих случаях следует избегать жёсткого сцепления фундамента и геологического основания, например, с помощью свай. При проектировании сооружений необходимо учитывать вероятное направление тектонических движений.

При ликвидации аварийных ситуаций следует опираться на геомеханическую модель процесса. В зонах относительного растяжения можно компенсировать снижение несущей способности с помощью, например, нагнетания цементных растворов. Для снижения активности горизонтальных движений возможно формирование разгрузочных щелей в геологическом основании. При вертикальных движениях целесообразно проектирование и устройство деформационных швов в зданиях. В каждой конкретной ситуации следует искать оптимальный вариант взаимодействия с геологической средой.

В ходе планирования и выполнения инженерно-геологических изысканий необходимо учитывать вероятность проявления геодинамической активности геологической среды. При выявлении геологических, деформационных и гидрогеологических признаков современной разломной тектоники необходимо производить специальные геофизические и геодезические работы. Геофизические исследования должны выявлять положение и ориентировку разломных зон. Анализ их простираения в условиях современного напряженного состояния земной коры дает представление о кинематическом типе тектонических структур, что, в свою очередь, позволяет прогнозировать возможные деформации геологического основания. Окончательный вывод о современной активности разломных зон следует делать, базируясь на результатах высокоточных геодезических исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы, определяющие научную новизну и практическую значимость работы, заключаются в следующем:

1. Определена ориентировка осей главных нормальных напряжений в геологической среде г. Екатеринбурга. Воздействие главных нормальных напряжений реализуется по двум сопряжённым направлениям, имеющим азимуты 260 и 285°.

2. Установлена приуроченность деформаций инженерных объектов к отдельным локальным участкам и линейным зонам. Простираение этих зон соответствует ориентировке активных структур в поле современных тектонических напряжений.

3. Выявлены геодинамически активные зоны на территории г.Екатеринбурга. В условиях субширотного сжатия геологической среды следует полагать, что зоны, имеющие ориентировку, параллельную направлению действия главного максимального напряжения, связаны с развитием сбросов или раздвигов. Преобладающий азимут этих структур составляет $255-265^\circ$, в меньшей степени развиты на территории города структуры с азимутом 285° . Зоны северо-восточного и северо-западного направлений можно охарактеризовать как сдвиги правой и левой кинематики. Направления развития этих структур: $225-235^\circ$ и $305-325^\circ$ соответственно.

4. На основании анализа геологической документации и посредством выполнения геофизических и геодезических исследований проведена оценка геодинамических условий площадок двух деформируемых зданий города.

5. Разработаны предложения по выявлению локальных тектонических нарушений на площадках аварийных зданий и намеченного строительства, обоснованы мероприятия, позволяющие повысить степень защищённости сооружений от геодинамического воздействия.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК России:

1. Предполагаемые зоны повышенной подвижности верхней части земной коры на территории Екатеринбурга / *Осипова (Дёмина) А.Ю.*, Гуляев А.Н., Дружинин В.С., Осипов В.Ю. // Известия вузов. Горный журнал. 2007. № 6. С. 111-114.

2. Тагильцев С.Н., *Осипова А.Ю.* Лукьянов А.Е. Анализ ориентировки осей главных напряжений в геологической среде г. Екатеринбурга // Известия вузов. Горный журнал. 2010. № 3. С. 42-48.

В научных сборниках, журналах и материалах конференций:

3. Предполагаемые зоны деформаций верхней части земной коры на территории Екатеринбурга / *Осипова (Дёмина) А.Ю.*, Гуляев А.Н., Дружинин В.С., Осипов В.Ю. // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения: материалы XII Междунар. конф. (г. Воронеж, 18-23 сентября 2006 г.). Воронеж, 2006. С. 177-180.

4. Предполагаемые зоны нарушения сплошности и деформаций верхней части земной коры, проявляющие активность на современном этапе на территории Екатеринбурга / *Осипова (Дёмина) А.Ю.*, Дружинин В.С., Гуляев А.Н. и др. // Проблемы недропользования: материалы I молодежной науч.-практ. конф., посвящ. 45-летию ИГД УрО РАН (г.Екатеринбург, ИГД УрО РАН, 14 февраля 2007 г.). Екатеринбург, 2007. С. 116-125.

5. Тагильцев С.Н., Кибанова Т.Н., *Осипова (Дёмина) А.Ю.* Закономерности развития современных тектонических структур на территории г. Екатеринбурга // Проблемы инженерных изысканий для высотного строительства в Уральском регионе: материалы науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, ЗАО «УралТИСИЗ», 14 июня 2007 г.). Екатеринбург, 2007. С. 33-35.

6. Современные активные зоны нарушения сплошности верхней части земной коры на территории Екатеринбурга / Гуляев А.Н., Дружинин В.С., *Осипова (Дёмина) А.Ю.* и др. // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических

полей. Четвертые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича: материалы конф. (г.Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, 2-6 июля 2007). Екатеринбург, 2007. С. 102-105.

7. Тагильцев С.Н., Кибанова Т.Н., *Осипова (Дёмина) А.Ю.* Закономерности образования активных разломов в районе г. Екатеринбурга // Экологическая безопасность горнопромышленных регионов: материалы 1-го Уральского междунар. экологического конгресса. Том I (г. Екатеринбург, 12-14 октября 2007 г.). Екатеринбург, 2007. С. 234-238.

8. Современные активные зоны нарушения сплошности верхней части земной коры на территории Екатеринбурга / Гуляев А.Н., Дружинин В.С., *Осипова (Дёмина) А.Ю.* и др. // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов: материалы Междунар. конф. (г. Казань, 12-16 ноября 2007 г.). Казань, 2007. С. 23-27.

9. Проявления четвертичной и современной геодинамики на территории Екатеринбурга / Гуляев А.Н., Дружинин В.С., *Осипова (Дёмина) А.Ю.*, Косолапов А.А. // Геофизические исследования Урала и сопредельных регионов: материалы Междунар. конф., посвящ. 50-летию Института геофизики УрО РАН (г. Екатеринбург, ИГФ УрО РАН, 4-8 февраля 2008 г.). Екатеринбург, 2008. С. 58-62.

10. Современные активные зоны нарушения сплошности верхней части земной коры на территории Екатеринбурга / Гуляев А.Н., Дружинин В.С., *Осипова (Дёмина) А.Ю.* и др. // Инженерная геология, март 2008. № 1. С. 13-16.

11. *Осипова (Дёмина) А.Ю.* Выделение предполагаемых зон тектонических нарушений на территории г. Екатеринбурга // Уральская горнопромышленная декада: материалы науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, УГГУ, 14-23 апреля 2008 г.). Екатеринбург, 2008. С. 53-54.

12. Тагильцев С.Н., *Осипова А.Ю.* Выделение предполагаемых зон тектонических нарушений, проявляющих активность на современном этапе на территории г. Екатеринбурга // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: труды Междунар. науч. конф. (г. Москва, геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 29-30 января 2009 г.). М., 2009. С. 113-114.

13. Тагильцев С.Н., *Осипова (Дёмина) А.Ю.* Современные активные тектонические структуры на территории г. Екатеринбурга // Уральская горная школа – регионам: материалы Междунар. науч.-пром. симпозиума (г. Екатеринбург, УГГУ, 21-28 апреля 2009 г.). Екатеринбург, 2009. С. 21-22.

14. Тагильцев С.Н., *Осипова (Дёмина) А.Ю.*, Лукьянов А.Е. Оценка тектонической опасности геологической среды Екатеринбурга // Проблемы комплексных инженерных изысканий для всех видов строительства: материалы науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, ЗАО «УралТИСИЗ», 16-17 июля 2009 г.). Екатеринбург, 2009. С. 116-120.

15. Тагильцев С.Н., *Осипова А. Ю.*, Лукьянов А.Е. Выделение активных тектонических структур на территории г. Екатеринбурга // Геомеханика в горном деле: материалы науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, ИГД УрО РАН, 14-16 октября 2009 г.). Екатеринбург, 2009. С. 28-36.

16. Тагильцев С.Н., *Осипова А.Ю.*, Лукьянов А.Е. Напряженное состояние геологической среды и активные тектонические структуры г. Екатеринбурга // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий: материалы Второй Всерос. науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, УГГУ, 26-27 ноября 2009 г.). Екатеринбург, 2009. С. 155-158.

17. Тагильцев С.Н., *Осипова А.Ю.*, Лукьянов А.Е. Исследование геодинамической активности геологической среды г. Екатеринбурга // Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии: материалы науч.-практ. конф. (г. Москва, геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 25-26 мая 2010 г.). М., 2010. С. 183-184.

Подписано в печать 22.11.2010. Бумага писчая. Формат 60×84 1/16
Печать на ризографе Печ. л. 1.0. Тираж 100 экз. Заказ _____

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. Издательство Уральского
государственного горного университета

Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники
издательства УГГУ