

## **НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ФАКТОРЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ СО СТОРОНЫ АКТИВНОГО СЛОЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЕКАТЕРИНБУРГА**

УДК: 550.2

ББК: 26.3+85.11

Идентификационный номер Информрегистра: 0421200020\0040

**Гуляев Александр Николаевич**

старший научный сотрудник лаборатории сейсмометрии  
Институт геофизики УрО РАН,  
г. Екатеринбург, Россия



**Осипова Анастасия Юрьевна**

кандидат геолого-минералогических наук,  
младший научный сотрудник лаборатории сейсмометрии,  
Институт геофизики УрО РАН,  
г. Екатеринбург, Россия



### **Аннотация**

*На территории Екатеринбурга аварии на линиях подземных коммуникаций, повреждения фундаментов и стен наземных сооружений, ускоренный износ дорожного покрытия происходят в значительной степени вследствие негативного воздействия на них со стороны грунтов и пород активного слоя земной коры, в котором они размещены. Активный слой земной коры приурочен к пограничной зоне атмосферы и литосферы, сложен неоднородными по составу и физико-механическим свойствам грунтами, и чутко реагирует как на внешние воздействия со стороны атмосферы, лунно-солнечных приливов, техногенных явлений, так и на внутренние тектонические и гидрогеологические процессы в земной коре. Предложен ряд мер по ослаблению негативного воздействия активного слоя земной коры на инженерные сооружения.*

### **Ключевые слова:**

*активный слой земной коры, неоднородность грунта, физико-механические свойства грунтов, геодинамика, динамопара, аварии, коммуникационные тоннели*

По данным МУП «Водоканал», в Екатеринбурге каждый год происходит около 1000 аварий на линиях городского водопровода (рис.1) [1]. Невозможно все эти аварии списать за счет изношенности труб и оборудования, на качество прокладки и ремонта линий подземных коммуникаций. Кроме того, на территории города имеется достаточно большое число наземных зданий и сооружений с поврежденными фундаментами и стенами (рис.2). Все эти повреждения невозможно отнести на счет невысокого качества строительных материалов, нарушения технологий строительных работ. Нашими исследованиями установлено, что серьезное негативное воздействие на инженерные сооружения на территории Екатеринбурга оказывается со стороны активного слоя земной коры.

Активный слой – это верхний горизонт земной коры мощностью до 7-10 м, приуроченный к пограничной зоне атмосферы и литосферы [2]. Он чувствителен как к внешним (атмосферным, приливным и техногенным) воздействиям, так и к внутренним геолого-тектоническим и гидрогеологическим процессам в земной коре. В

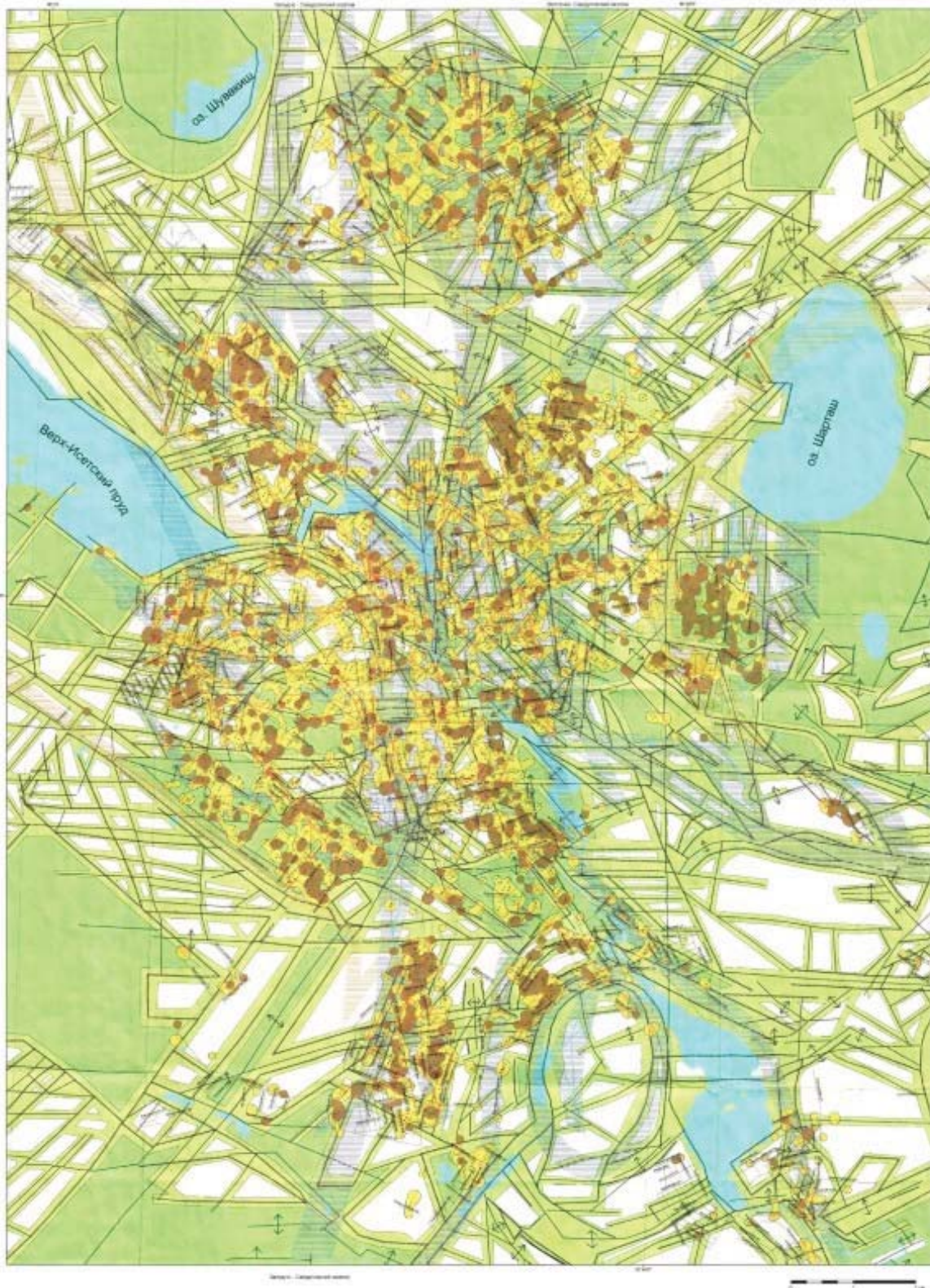


Рис. 1. Схема аварийных участков на линиях подземных коммуникаций Екатеринбурга за период 1995–2005 г.г., совмещенная со структурно-геоморфологической схемой. Составили Гуляев А.Н., Осипова А.Ю., 2006 г.

**Коричневым** цветом показаны участки, где за этот период произошло более 1 аварии.

**Желтым** цветом показаны участки, где за этот период произошло по 1 аварии.

**Зеленым** цветом показаны эрозионно-структурные депрессии и денудационно-тектонические впадины.

**Белым** цветом показаны возвышенные участки.

**Черными** линиями показаны оси предполагаемых зон деформации верхней части земной коры. Линиями с разнонаправленными стрелками показаны оси предполагаемых зон растяжения в верхней части земной коры





Рис. 2. Поврежденные здания. Девятиэтажный дом № 6 по ул. Мусоргского (верхний и правый нижний снимки) и пятиэтажный дом № 7 по ул. Новосибирская (левый нижний снимок) в Екатеринбурге

пределах активного слоя размещаются линии подземных коммуникаций, фундаменты наземных сооружений. Слагающие его морозо- и водо- пучинистые глинистые грунты изменяют свой объем при промораживании и вымачивании (гидратации) и оказывают сильное механическое воздействие на трубы подземных коммуникаций, способствуя их повреждению. Интервал глубин размещения линий подземных коммуникаций (2,5-

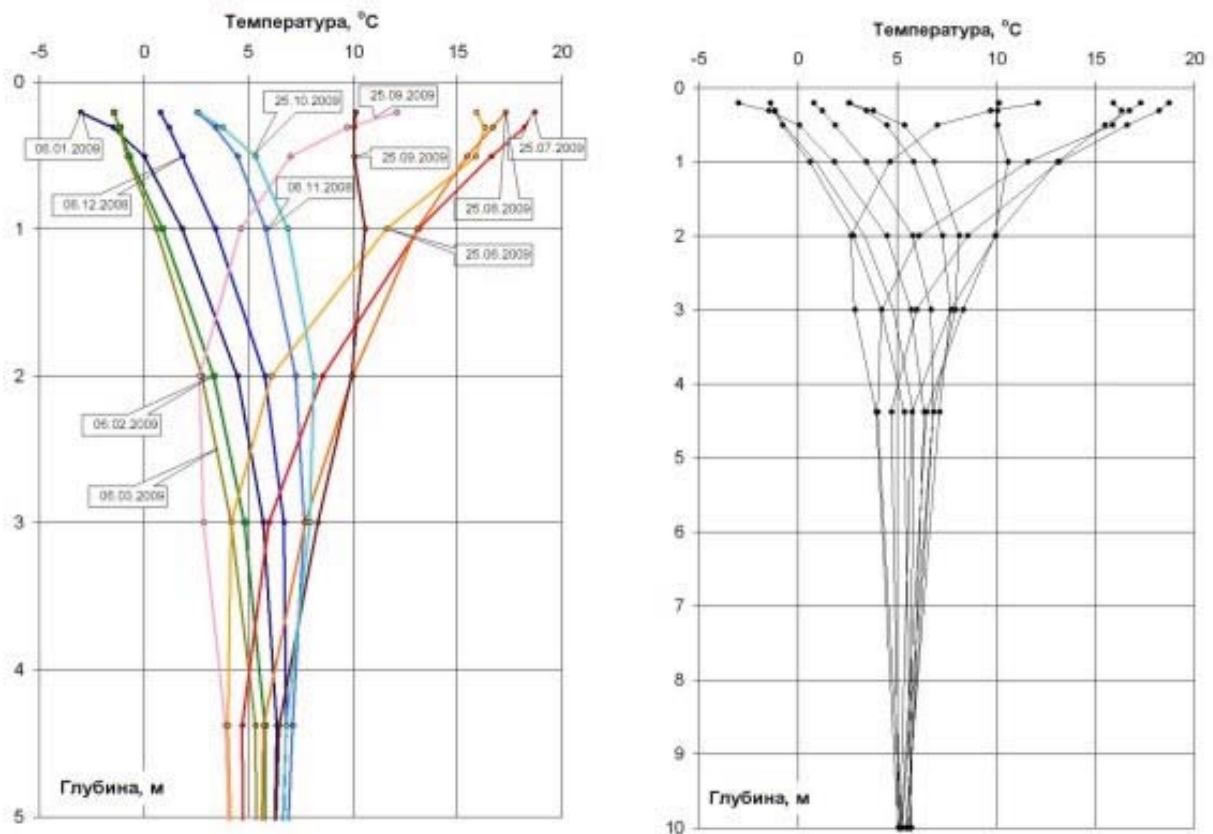


Рис. 3. Графики температур в разные времена года на скважине геотермического стационара Института геофизики УрО РАН в период 2008-2009 г.г., по Демежко Д.Ю.

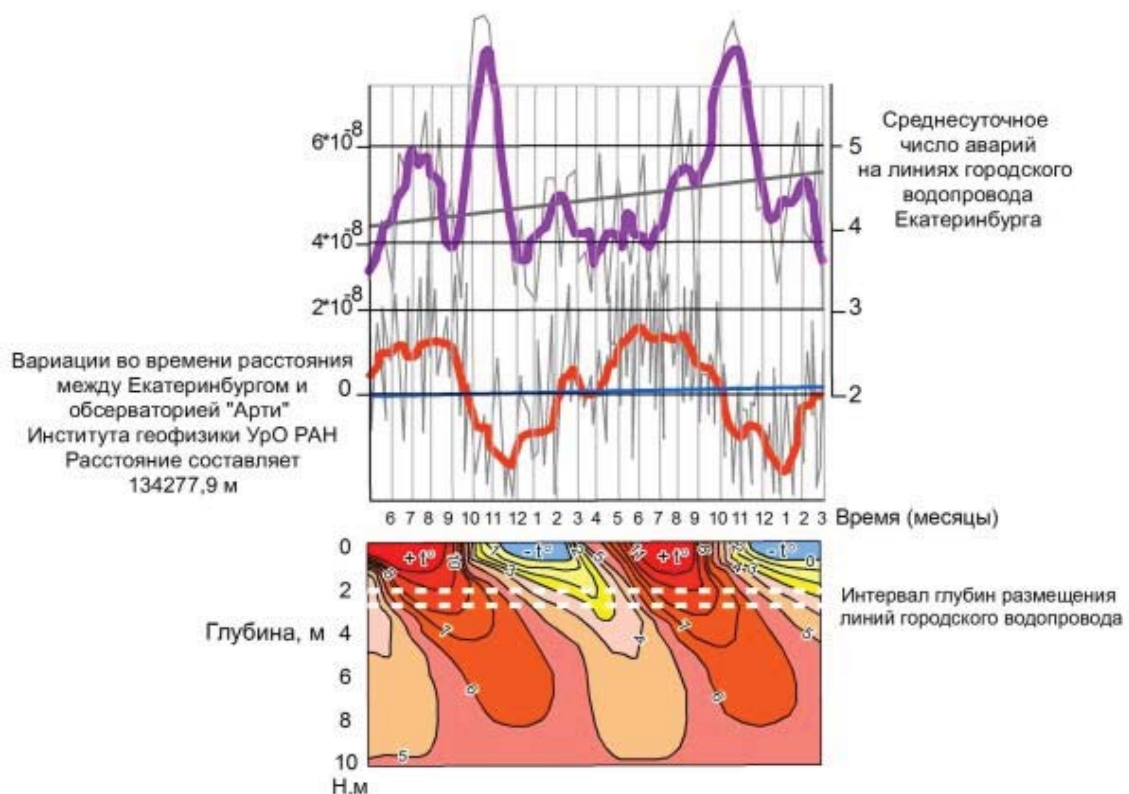


Рис. 4. Разрез вариаций во времени температур в скважине геотермического стационара Института геофизики УрО РАН в период 2008-2009 г.г., по Демежко Д.Ю., совмещенный с графиками вариаций во времени числа аварий на линиях городского водопровода Екатеринбурга.





Рис. 5. Геологическая карта г.Екатеринбурга и районов перспективной застройки. Авторы: Р.Д. Калугина, В.Ф. Копанев, Ильясова Г.А., Стороженко Е.В., Лукин В.Г., Степанов А.Е, Черняк З.Б. Редактор Рапопорт М.С., ОАО Уральская геолого-съёмочная экспедиция, 1999 г.

*Интрузивные палеозойские породы*

**Красным и малиновым** цветом показаны гранитоиды (диориты, grano-диориты и граниты) Верх-Исетского массива, его Визовского сателлита, Шарташского массива, Карасьезерского (Седельниковского), Шабровского массивов и более мелкие тела гранитоидов. **Зеленым и темно-зеленым** цветом показаны Балтымский, Широкореченский, Уктусский, Березовский массивы габбро, а так же более мелкие массивы. **Фиолетовым** цветом показаны тела ультрабазитов - серпентинитов и гарцбургитов. Сиреневым цветом показаны тела тальк-карбонатных пород.

*Осадочно-вулканогенные палеозойские породы*

**Бледнозеленым и зеленым** цветом в пределах Шарташско-Березовской спирально-вихревой структуры (северо-восточная часть рассматриваемой территории) и в северной части Сысертского антиклинория (южная часть рассматриваемой территории) показаны метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы ордовикского и силурийского возраста (риолиты, риодациты). **Коричневым** цветом показаны метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы девонского возраста, слагающие Свердловский синклиний (базальты и их туфы, тела мраморизованных известняков, филлитовые сланцы, зеленые сланы и др.). **Светло-серым** цветом с точечным крапом показаны песчаники, гравелиты, конгломераты раннекаменноугольного возраста. Имеются в осевой зоне Свердловского синклиория и в Арамилском синклинии (восточная часть рассматриваемой территории). **Черными** линиями показаны оси палеозойских разломов. **Тонкими черными** линиями показаны границы между массивами пород разного состава и возраста.



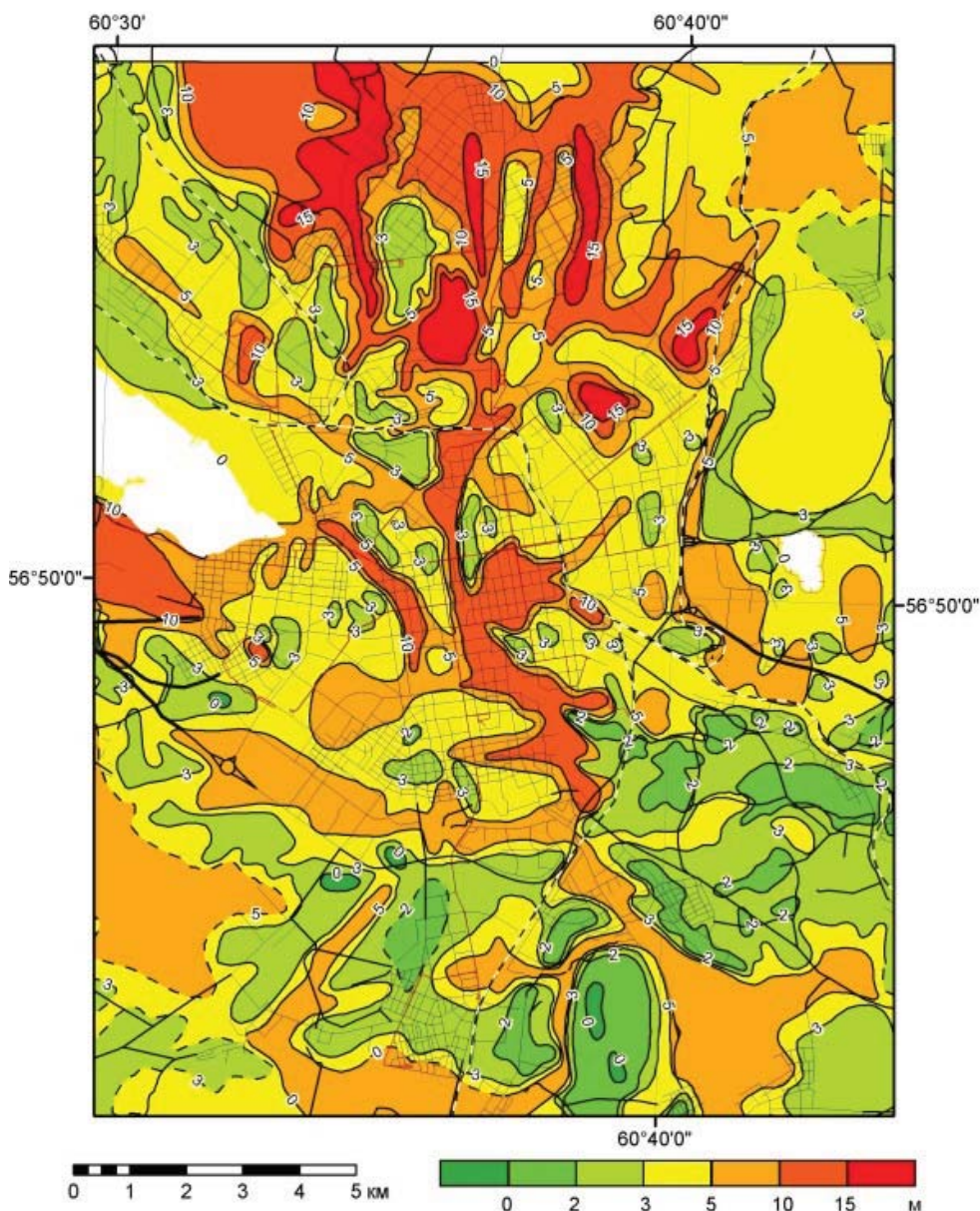


Рис. 6. Схема глубин залегания подошвы чехла коры выветривания Екатеринбурга. Составили Демина А. Ю., Гуляев А. Н., 2005 г.

3,0 м) и фундаментов наземных сооружений в течение всего года характеризуется значительными вертикальными градиентами температур порядка 2,5-3,0 градуса на метр (рис. 3,4), вследствие чего в этом интервале глубин активного слоя действуют значительные термоупругие напряжения, так же негативно воздействующие на трубы водонесущих подземных коммуникаций.

Результаты наших многолетних исследований свидетельствуют о том, что авариям на линиях городского водопровода Екатеринбурга, повреждению фундаментов и стен наземных сооружений, ускоренному износу дорожного покрытия способствуют:

Неоднородность строения активного слоя земной коры,

Геодинамические процессы в верхней части земной коры, обусловленные:

а) эндогенными (внутренними) геолого-тектоническими и гидрогеологическими процессами в верхней части земной коры;

б) воздействием на верхнюю часть земной коры экзогенных (внешних) факторов – вариаций основных атмосферных параметров (атмосферного давления, температуры воздуха, осадков), как сезонных, так и обусловленных прохождением через Урал циклонов



Рис. 7. Неоднородность грунтов активного слоя земной коры в Екатеринбурге Авария на ул. Белореченская, 24 в августе 2010 г. ( Фото Осиповой А.Ю)

Перелом чугунной трубы 100 мм диаметром субширотного (запад - северо-западного) направления по азимуту около 310 градусов. Сверху 1,5-2,0 м илы болотные серо-черные, торф. В левой части раскопа на глубине 1,5-2,0 м желто-коричневая дресва гранитов и смесь дресвы гранитов с болотными отложениями. В правой части раскопа – серо-черные и черные илы болотные, которые локализованы возможно в кармане техногенного происхождения (там проходит еще одна труба). Труба могла треснуть на контакте грунтов с разными физико-механическими свойствами (более плотных и прочных дресвяных грунтов гранитов, а так же грунтов с дресвой гранитов в восточной части раскопа и текучих малоплотных болотных илов в западной части раскопа). Вследствие насыщения водой земная поверхность на аварийном участке просела, образовалась депрессия

и атмосферных фронтов, а также лунно-солнечных приливов;

в) воздействием на верхнюю часть земной коры техногенных факторов – упругих волн от взрывов в карьерах в окрестностях города, а также сейсмических воздействий при забивке свай на стройплощадках, вибрациями от движения транспорта и работы промышленных установок.

Согласованное действие этих факторов может способствовать возникновению аварий на линиях подземных коммуникаций, повреждению фундаментов и стен наземных сооружений, ускоренному износу дорожного покрытия.

Неоднородность строения верхней части земной коры Екатеринбурга обусловлена достаточно высокой сложностью ее геологического строения. Участок земной коры, на котором располагается Екатеринбург, сложен палеозойскими породами, представленными метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами ранне-среднепалеозойского возраста (возрастом около 400 - 450 млн. лет), вмещающими интрузивные тела гранитов, габбро, перидотитов, серпентинитов (змеевиков), даек гранит-аплитов, кварцевых жил [3,4,5] (рис.5). Породы смяты в складки и нарушены зонами деформаций. Различные виды палеозойских пород, развитых на территории Екатеринбурга, обладают различными физико-механическими свойствами. Вариации плотности горных пород разного генезиса и разной степени выветрелости достаточно большие и составляют порядка 0,8-0,9 г/см<sup>3</sup> (от 2,25 г/см<sup>3</sup> у выветрелых серпентинитов, до 3,15-3,20 г/см<sup>3</sup> у неветрелых гарцбургитов Уктусского габбро-перидотитового массива). Вариациям плотности пропорциональны вариации прочности (сопротивления одноосному сжатию) горных пород от единиц МПа у выветрелых пород (рухляков), до десятков МПа у неветрелых гранитов, перидотитов.

В верхней части земной коры Урала и Екатеринбурга, в том числе, палеозойские породы в мезозойское и кайнозойское время (в последние 250 - 300 млн. лет) подверглись выветриванию. В результате, образовался чехол коры выветривания средней мощности 2-5 м, покрывающий коренные неветрелые консолидированные палеозойские породы, сложенный менее консолидированными, чем коренные палеозойские породы, грунтами (рис.6). По палеозойским зонам деформации земной коры и по зонам контактов пород





Рис. 8. Неоднородность грунтов активного слоя земной коры Екатеринбурга. Авария на ул. Амундсена, 52. Август 2010 года. В раскопе справа от сотрудника «Водоканала» относительно прочный выветрелый гранит, слева – смесь рыхлых торфянистых грунтов с дресвой гранитов. Труба повредилась в зоне контакта гранитов и рыхлых торянистых грунтов. (Фото Осиповой А.Ю.)



Рис. 9. Неоднородность грунтов верхней части земной коры на территории Екатеринбурга. Зона тектонизированного контакта гранитов Визовского сателлита и габбро Балтымского массива приблизительно в 170 - 200 м к юго-западу от перекрестка ул. Амундсена и Объездной автодороги. Трещины в скальных породах габбро. Часть из них выполнена гранитоидами (светло-рыжие породы в темной серо-зеленой массе габбро). (Фото Осиповой А.Ю.)

разного состава развились карманы выветривания глубиной более 25 м [6]. Разновидности грунтов чехла коры выветривания так же имеют достаточно большие различия между собой по физико-механическим свойствам. Так, плотность варьируется в пределах 0,4-0,5 г/см<sup>3</sup> от 2,05 - 2,15 г/см<sup>3</sup> у элювиальных суглинков и сапролитов, до 2,45-2,50 г/см<sup>3</sup> у рухляков метаморфизованных базальтовых порфиритов. Пропорционально плотности варьируется и модуль деформации грунтов от 15-20 МПа до 35 – 40 МПа.

С поверхности грунты чехла коры выветривания перекрыты неравномерной мощности чехлом четвертичных неконсолидированных отложений возрастом около 1 млн. лет. Наибольшую мощность (более 10 м) эти отложения имеют в новейших заболоченных впадинах – во впадине Верх-Исетского пруда, в Широкореченской, Парушихинской, Чистовской, Карасьеозерской, Шувакишской, Уралмашевской и заболоченных участка пойм рек.

Трубы линий подземных водонесущих коммуникаций Екатеринбурга и фундаменты большей части наземных сооружений размещаются преимущественно в грунтах чехла коры выветривания. Но из-за неодинаковой мощности этого чехла эти объекты размещаются частью в пределах участков развития относительно более консолидированных коренных





Рис. 10. Неоднородность грунтов верхней части земной коры на территории Екатеринбурга. Зона тектонизированного контакта гранитов Визовского сателлита и габбро Балтымского массива приблизительно в 170 - 200 м к юго-западу от перекрестка ул. Амундсена и Объездной автодороги. На нижнем снимке - трещина в скальных породах габбро, смещающая тело гранитоидов. (Фото Осиповой А.Ю.)



Рис. 11. Неоднородность грунтов верхней части земной коры на территории Екатеринбурга. (Фото Осиповой А.Ю.). Зона тектонизированного контакта гранитов Визовского сателлита Верх-Исетского массива и габбро Балтымского массива к югу от перекрестка ул. Московская – ул.Фурманова. Линии коммуникаций прокладываются частью в рухляках и разборной скале, частью в элювиальных суглинках.

палеозойских пород, частью в пределах участков развития слабо консолидированных четвертичных отложений. При этом напомним, что сами грунты чехла коры выветривания так же неоднородны по составу и физико-механическим свойствам.

В пограничных зонах участков развития грунтов, обладающих различными физико-



Рис.12. Иллюстрация действия значительных горизонтальных сил на трубы подземных водонесущих коммуникаций. Авария на водоводе диаметром 1000 мм на ул. Амундсена в начале августа 2011 г. (Фото Гуляева А.Н.) Стекловолоконная вставка голубоватого цвета в стальную трубу повреждена. Муфты, которыми она крепилась к стальной трубе, смещены. Сильные напряжения, вызвавшие повреждения, предположительно действовали вдоль трубы.

механическими свойствами, аварии на линиях подземных коммуникаций и повреждения наземных сооружений происходят из-за неравномерных осадок грунтов и различия степени их подвижности (рис. 7-11).

В палеозойских реликтовых зонах деформации земной коры аварии на линиях подземных коммуникаций и повреждения наземных сооружений происходят также вследствие неравномерной осадки грунта, обусловленной действием в этих зонах карстово-суффозионных процессов. Не исключено, что в зонах деформации земной коры на инженерные сооружения оказывают негативное воздействие внутриразломный мерцающий крип, описанный в работе [7], и явления квазитиксотропии, описанные в работе Сашурина А.Д., Боликова В.Е. [16]. Эти явления могли быть причиной повреждения девятиэтажного жилого дома № 6 на ул. Мусоргского в жилом массиве «Вторчермет» в Екатеринбурге [14].

Способствует возникновению аварий на линиях подземных коммуникаций и повреждению наземных сооружений рельеф земной поверхности. Действие рельефа земной поверхности проявляется в том, что на склонах возвышенностей на трубы подземных коммуникаций, на фундаменты наземных сооружений и вмещающие их грунты действует сила тяжести. Эта сила, действуя непосредственно на трубы, фундаменты и на вмещающие их грунты посредством поверхностных оползней [2], способствует возникновению аварий на линиях подземных коммуникаций (рис. 12,13).

Геодинамические процессы в активном слое проявляются в виде подвижек и смещений грунтов и пород верхней части земной коры (активного слоя), обусловленных как внутренними (эндогенными) причинами, так и внешними (экзогенными) факторами.



Северо-восток

Юго-запад



Рис. 13. Иллюстрация действия значительных горизонтальных напряжений в активном слое земной коры. Авария на городском водопроводе в районе перекрестка ул. Фрезеровщиков-Даурская в г.Екатеринбурге, август 2010 г. (Фото Осиповой А.Ю.)

Вид на юго-восток. Стальная труба диаметром 200 мм проложена вдоль границы мезозойских элювиальных суглинков светло-коричневого цвета (справа на фото) и четвертичных (голоценовых?) озерно-болотных отложений черного цвета (сапропель?) Камышинской новейшей эрозионно-структурной депрессии (слева на фото). Характер аварии: свищевая коррозия. Труба выгнута в направлении на запад, юго-запад возможно в результате воздействия на нее болотных суглинков и илов черного цвета (сапропель?), сползающих с возвышенности(слева) под действием гравитации.

На территории Екатеринбурга происходят как медленные (эпейрогенические) движения земной коры, обусловленные эндогенными факторами, так и более быстрые сезонные, суточные, обусловленные вариациями основных атмосферных параметров как сезонными, так и обусловленными прохождением через Урал циклонов и атмосферных фронтов, а также лунно-солнечными приливами, неравномерностью вращения Земли.

Средние скорости медленных (эпейрогенических) современных вертикальных движений на территории Екатеринбурга, по данным повторных нивелировок, за период 1923-1996 гг. составляют порядка сотых - десятых долей мм в год относительно фундаментального репера 340, расположенного в юго-западной части сквера Оперного театра (рис. 14) [1]. В виде области современных медленных воздыманий выделяется новейшая Кольцовско-Сортировская гряда поднятий (возраст около 30 млн.лет), пересекающая территорию города с юго-востока на северо-запад и соответствующая палеозойской Визовской мегантиклинали (возраст около 400 млн. лет), предположительно развившейся по крупной палеозойской зоне деформации земной коры северо-западного

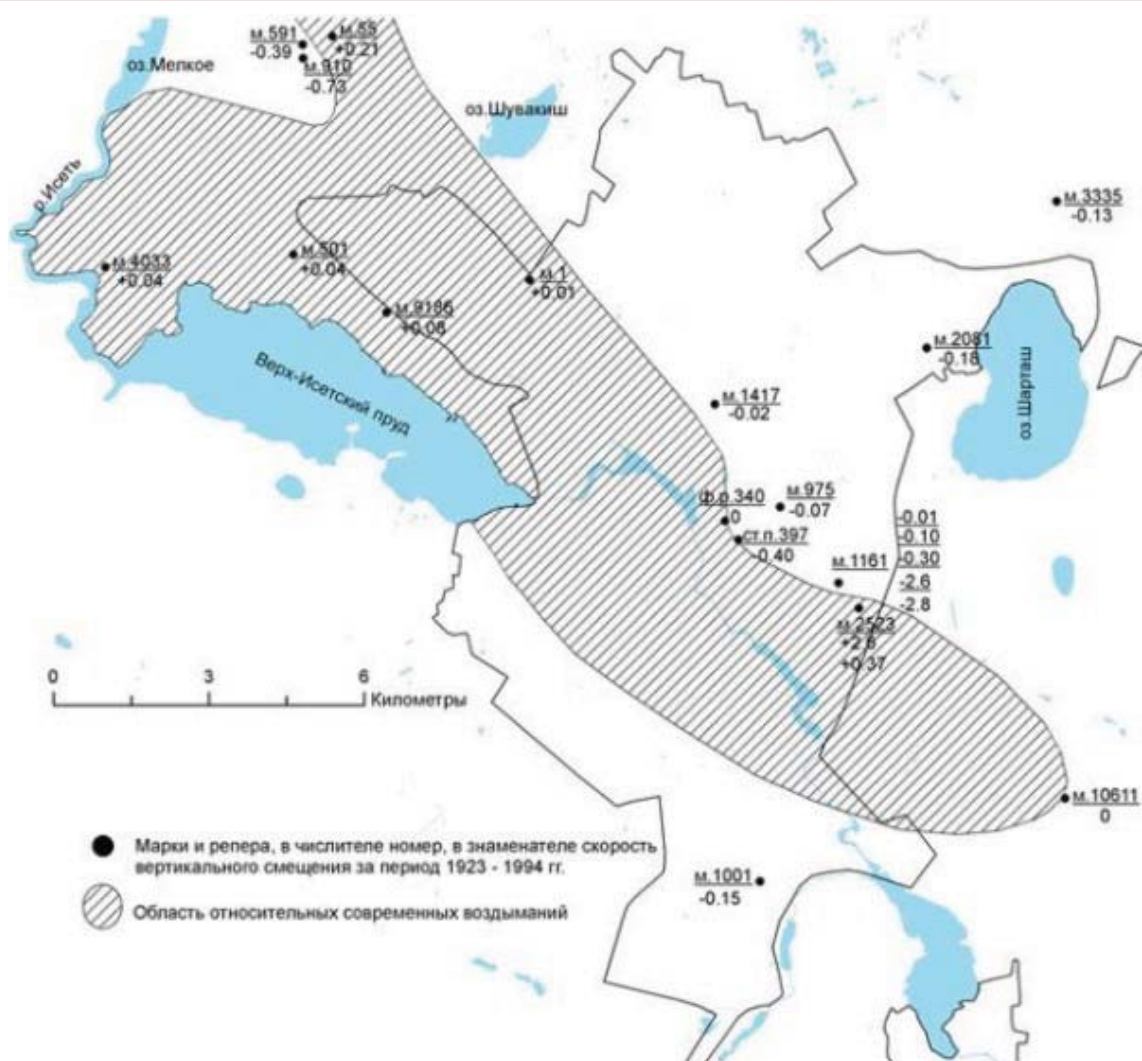


Рис. 14. Схема скоростей современных вертикальных движений земной поверхности на территории Екатеринбурга за период с 1923 по 1994 г.г.

Составил: Гуляев А.Н., Институт геофизики УрО РАН, 2000 г. по материалам объединения «Уралгеодезия».

Схема построена по данным повторных нивелировок первого и второго класса, выполненных объединением «Уралгеодезия» по линиям железных дорог, относительно фундаментального репера 340, расположенного в юго-западной части сквера Оперного театра в Екатеринбурге.

Цифрами возле марок и реперов указаны: в числителе - номер марки или репера, в знаменателе - скорость современных вертикальных движений земной коры в мм в год.

направления. Амплитуды и скорости многолетнего тренда вертикальных движений земной коры Среднего Урала, по данным GPS-мониторинга, сопоставимы с результатами повторных нивелировок и составляют от десятых долей мм до миллиметра в год (рис. 15). Горизонтальные градиенты амплитуд и скоростей многолетних вертикальных движений земной коры на территории Екатеринбурга незначительные и составляют порядка стотысячных – миллионных долей мм на метр.

Сезонная составляющая амплитуд и скоростей вертикальных движений (деформаций) земной поверхности, по данным GPS-мониторинга, на два порядка больше амплитуд и скоростей многолетних трендовых движений и составляет 4-6 см в год (рис. 15) [8]. Такие значения при неравномерном характере движений разных по составу блоков земной коры уже могут представлять серьезную неблагоприятность для труб линий подземных водонесущих коммуникаций, фундаментов и стен наземных сооружений.

Амплитуды и скорости горизонтальных движений (деформаций) земной коры Екатеринбурга, по данным GPS-мониторинга, составляют 2-4 мм в год и менее и соизмеримы с современной точностью определения координат пунктов GPS-наблюдений.



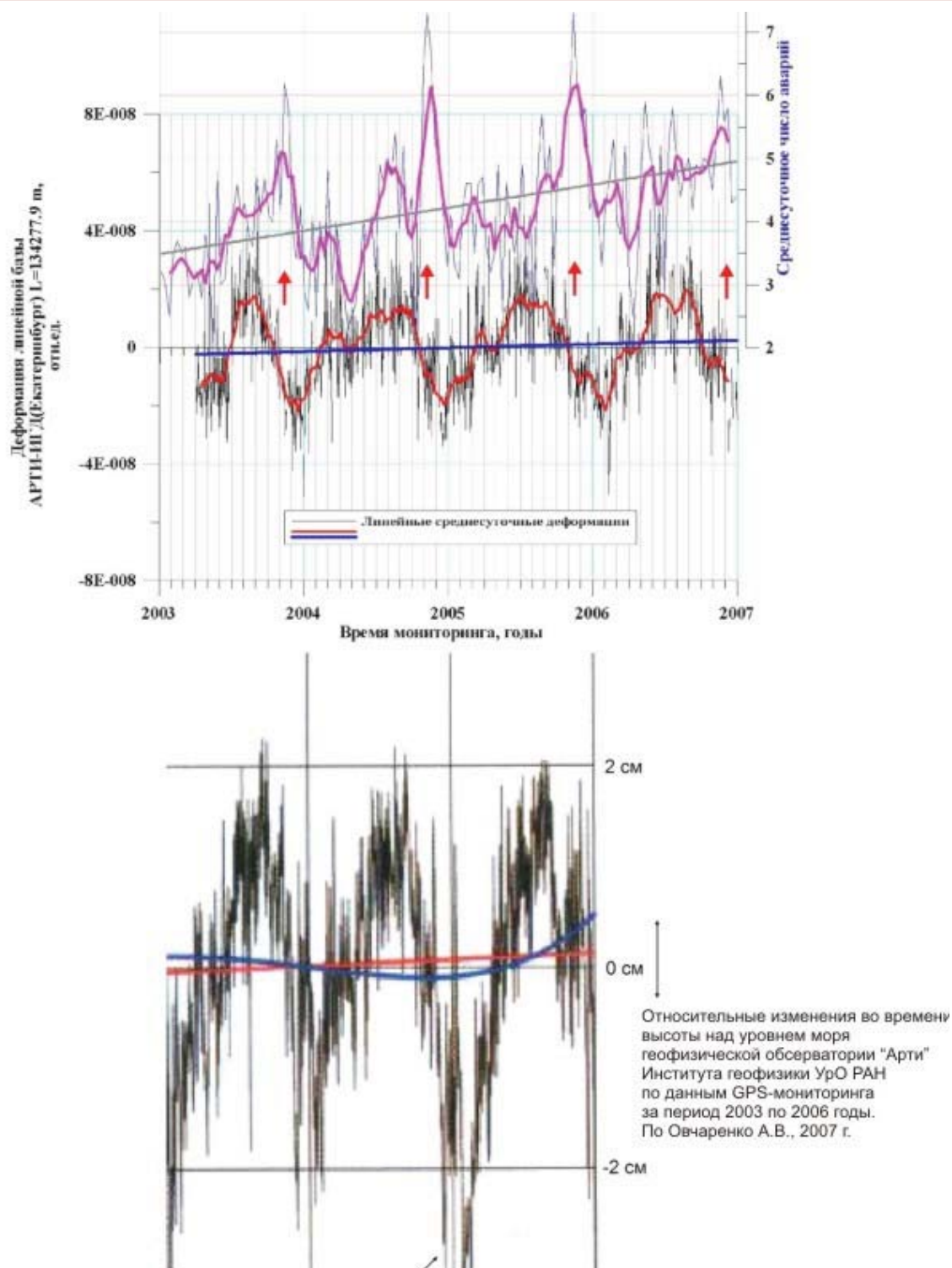


Рис.15. Сопоставление результатов GPS мониторинга деформаций земной коры и вариаций во времени числа аварий на линии городского водопровода Екатеринбурга

В целом, по данным GPS- мониторинга, деформации верхней части земной коры в Северной Евразии и, соответственно, на Среднем Урале и в Екатеринбурге имеют отчетливо выраженный сезонный характер (рис.15). Первую половину года земная поверхность воздымается на 4-6 см, и горизонтальные расстояния между пунктами GPS- мониторинга увеличиваются на  $10^{-7}$  -  $10^{-9}$ , происходит растяжение верхней части земной коры. Во второй половине года земная поверхность опускается, а горизонтальные расстояния уменьшаются с такой же амплитудой, т.е. происходит сжатие верхней части земной коры. Не исключено, что эти явления обусловлены воздействием на верхнюю



Рис. 16. Пример воздействия грунтов активного слоя земной коры на трубы городского водопровода, обусловленного сезонными изменениями объема и физико-механических свойств морозопучинистых грунтов. Авария на перекрестке ул. Амундсена и Краснолесья в январе 2010 года. (Фото Осиповой А.Ю.) Чугунная труба диаметром 300 мм сломана по причудливой траектории. Коренные породы, представленные габбро, вмещающими тело гранитоидов, залегают на глубине около 2,5-3,0 м. Возможно, что промороженные сверху грунты (на верхнем фото светлые образования в верхней части разреза), увеличив свой объем и ставшие более твердыми прижали трубу к консолидированным скальным породам, что способствовало ее разрушению.



Рис.17. Авария на городском водопровode на ул. Амундсена, 100 в г. Екатеринбурге возле крыльца Института геофизики УрО РАН в ноябре 2009 г. Фото Осипова В.Ю., 2009 г. Чугунная труба диаметром 100 мм, проложенная в элювиальных суглинках по габбро, разорвана поперечной трещиной, по которой произошло смещение участков трубы.

часть земной коры экзогенного фактора – сезонных вариаций температуры воздуха и почвы Северной Евразии. Это глобальное явление согласуется с сезонными вариациями скорости вращения Земли [9]. В первую половину года, в период воздымания поверхности Евразии, скорость вращения Земли уменьшается, а во вторую, в период опускания поверхности, – увеличивается, особенно сильно в период с сентября по декабрь.





Рис. 18. Результат действия значительных давлений в элювиальных суглинках верхней части земной коры Екатеринбурга. Повреждение стенок из бетонных блоков в колодце по ул. Умельцев, 5 в г. Екатеринбурге. (Фото Осиповой А.Ю.)

Данное явление неблагоприятно воздействует на размещенные в активном слое земной коры линии подземных коммуникаций. Каждую вторую половину года, в особенности в период с сентября по декабрь, отмечается резкое увеличение числа аварий на линиях водопровода Екатеринбурга (рис.15). Данный всплеск числа аварий предположительно обусловлен сезонным сжатием грунтов и пород активного слоя земной коры Северного полушария, вследствие понижения температуры воздуха. Результатом этого может являться защемление труб городского водопровода и их структурирование (разрыв их на куски) вследствие действия в них термоупругих напряжений в условиях охлаждения и большой разницы коэффициентов температурного расширения – сжатия материала труб (чугун, сталь) и грунтов, в которых они проложены (рис.16). Повреждение труб в этот период, кроме того, возможно: а) непосредственно вследствие их защемления (сдавливания) в неоднородных по плотности и прочности охлаждающихся грунтах и породах активного слоя, б) вследствие действия в активном слое земной коры термоупругих напряжений, вызывающих деформации (подвижки) его грунтов и пород.

В холодный период морозопучинистые грунты активного слоя при замерзании в них воды увеличивают свой объем, воздействуя на смежные с ними грунты, на линии подземных водонесущих коммуникаций и на фундаменты наземных сооружений. Участки подземных коммуникаций, оказавшиеся между увеличившими свой объем морозопучинистыми грунтами верхней части разреза и залегающими ниже прочными коренными породами (оказавшиеся, образно говоря, между «молотом» и «наковальной»), подвергаются сильному механическому воздействию и могут повреждаться. Пример такой аварии на перекрестке ул. Амундсена и Краснолесья в январе 2010 года представлен на рисунке 16.

Вследствие разницы температур верхнего и более глубоких горизонтов активного слоя земной коры в нем всегда действует динамопара напряжений. Действие такой динамопары описано в работе [10]. В холодное время года верхний горизонт активного слоя находится в состоянии относительного сжатия из-за охлаждения, а более глубокие

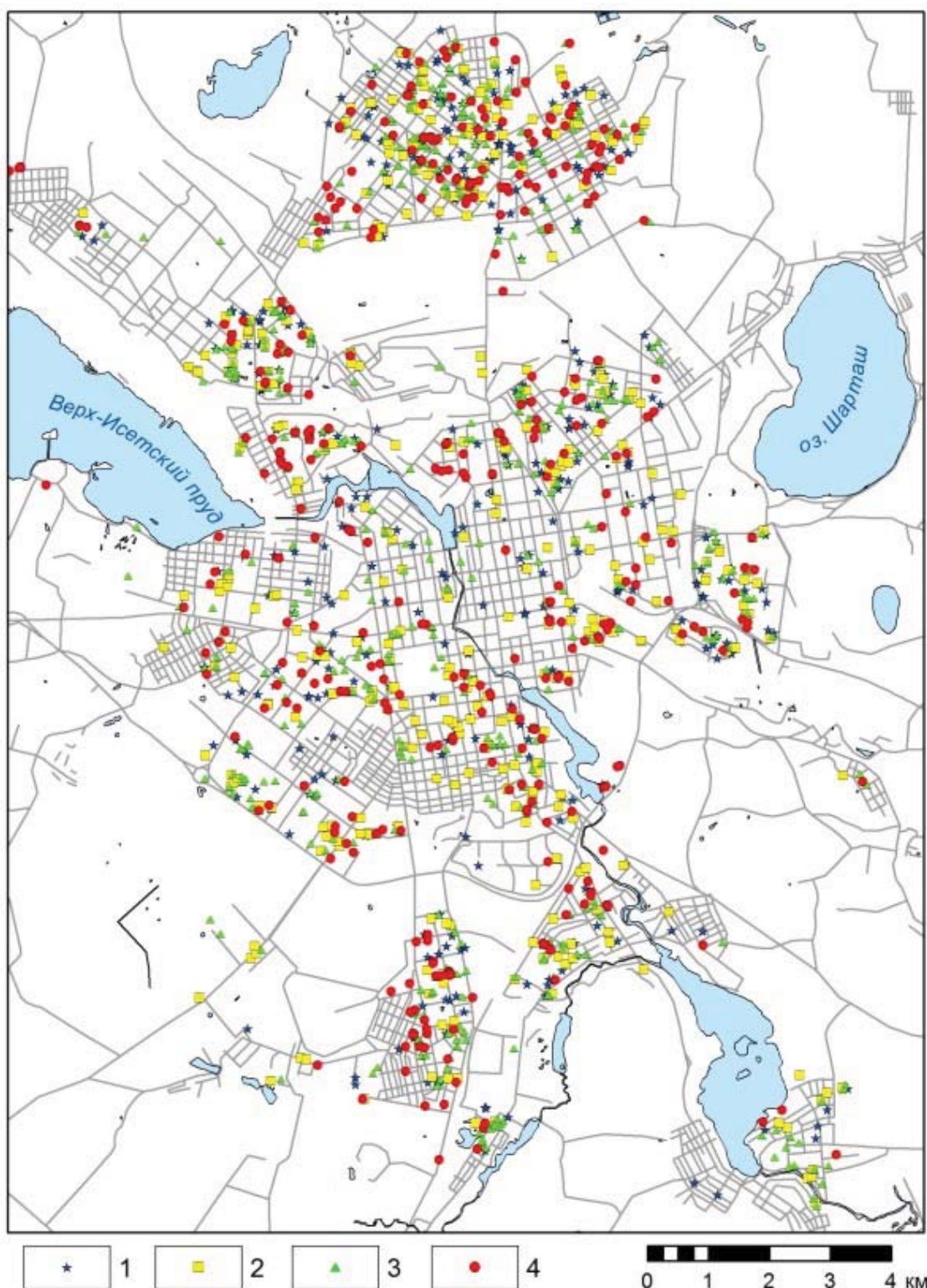


Рис. 19. Схема аварийных участков труб городского водопровода с характером повреждений «перелом» за период 2004-2007 гг. на территории Екатеринбурга:  
 Составила Осипова А.Ю., 2010 г.  
 1 – 2004 г.; 2 – 2005 г.; 3 – 2006 г.; 4 – 2007 г.

горизонты, как более теплые, – в условиях относительного растяжения. В теплое время – наоборот верхний горизонт находится в состоянии относительного растяжения, а нижний – в условиях относительного сжатия. Трубы подземных коммуникаций и фундаменты наземных сооружений всегда оказываются под воздействием этой динамопары напряжений. В переходный период от теплого сезона к холодному в диапазоне глубин



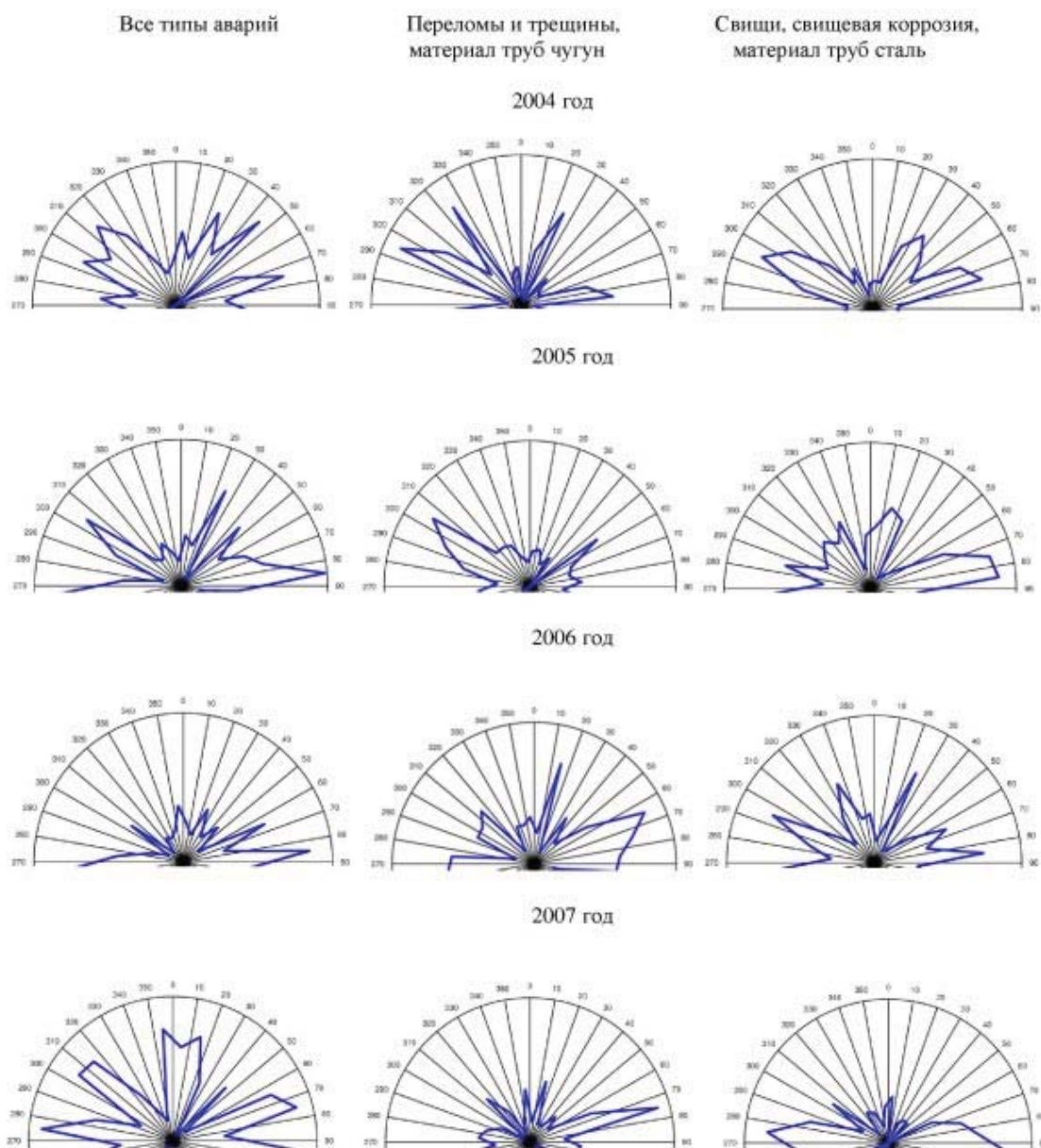


Рис. 20. Розы – диаграммы линейментов аварийных участков на линиях городского водопровода Екатеринбурга за период 2004-2007 гг. Составили: Осипова А.Ю., Тагильцев С.Н., 2010 г.

2,5-3,0 м, где проложены линии водопровода и размещена большая часть фундаментов наземных сооружений, возникают наиболее неблагоприятные в инженерно-геологическом отношении условия (рис. 17).

Данный фактор, условно названный геодинамическим, воздействует со стороны активного слоя земной коры на линии подземных водонесущих коммуникаций, фундаменты наземных сооружений и дорожное полотно непрерывно. Его можно уподобить непрерывно происходящему медленному землетрясению с низкими скоростями и ускорениями смещения грунта, но результаты его воздействия на линии подземных коммуникаций, фундаменты наземных сооружений и дорожное покрытие опостылимы с последствиями 6,5-7,0 балльных по шкале MSK-64 землетрясений (разрывы, переломы труб водопровода, повреждение фундаментов и ускоренный износ дорожного покрытия), хотя на территории Среднего Урала и Екатеринбурга за последние 250-300 лет землетрясений такой силы не отмечалось [11,12,13].

Если сейсмичность Среднего Урала инструментально (путем регистрации

сейсмических событий высокоточной аппаратурой) изучается в течение последних 100 лет и учет ее заложен в СН и П–П–7-81\*, то инструментальное изучение деформационных процессов в активном слое земной коры на Среднем Урале посредством GPS- мониторинга начато недавно, около 10 лет назад, и в нормативных документах проектировщиков и строителей обязательное изучение и учет геодинамики активного слоя не содержится. Такое исследование в настоящее время может быть проведено только по желанию заказчика (застройщика) объекта.

Возникновению аварий на линиях подземных коммуникаций, повреждению фундаментов и стен наземных сооружений, ускоренному износу дорожного покрытия способствует и подвижность грунтов активного слоя. Грунты активного слоя земной коры, в особенности супеси и суглинки, в теплое время года характеризуются относительно повышенной подвижностью и пластичностью. Вследствие этого они оказывают достаточно сильное давление на трубы подземных коммуникаций, подземные сооружения (колодцы, скважины), на фундаменты наземных сооружений (рис.18). Движение этих грунтов обеспечивается силой тяжести, даже если углы наклона земной поверхности или подошвы глинистого слоя небольшие и составляют первые градусы, как это бывает в поверхностных оползнях.

Воздействуют на инженерные сооружения и более медленные вариации напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры, обусловленные вариациями солнечной активности. В периоды максимумов солнечной активности наблюдается относительное растяжение земной коры, а в периоды минимумов – относительное сжатие [15]. Изменение напряженно-деформированного состояния отражается в ориентировке аварийных линеаментов, образованных цепочками аварий на линиях городского водопровода Екатеринбурга (рис. 19,20). Рисунки 19 и 20 взяты из работы [18]. Предполагается, что аварийные линеаменты соответствуют новейшим и современным зонам деформации земной коры [17]. На рисунках 19,20 можно видеть, что на фоне постепенной смены условий относительного растяжения верхней части земной коры в период максимума 23 цикла солнечной активности (1998-2004 гг.) на условия относительного сжатия в период минимума между 23 и 24 циклами солнечной активности (2004-2010 гг.) произошло изменение преобладающей ориентировки аварийных линеаментов, отражающее изменение напряженно-деформированного состояния земной коры на территории Екатеринбурга.

Для уменьшения и нейтрализации негативного воздействия активного слоя земной коры на инженерные сооружения рекомендуется:

1. Устройство коммуникационных тоннелей для подземных водонесущих коммуникаций. В условиях сурового уральского климата это пусть и дорогое, но наиболее радикальное и адекватное мероприятие.

2. В случаях использования традиционной технологии прокладки линий труб водонесущих подземных коммуникаций в траншеях рекомендуется применение засыпки труб слабозащемляющими грунтами и использование труб не из чугуна и стали а из полимерных армированных материалов – стекловолокна и пластика.

3. При сооружении фундаментов наземных объектов, строительстве дорог рекомендуется удаление водопучинистых и морозопучинистых грунтов верхней части земной коры и замена их насыпными техногенными грунтами (щебнем). При строительстве дорог удаление неблагоприятных грунтов рекомендуется до глубины нормативного промерзания. На Среднем Урале глубина нормативного промерзания составляет порядка 2,0 м. При сооружении котлованов для наземных объектов и выемок для дорог на участках развития элювиальных суглинков и сапролитов необходимо по возможности избегать вымачивания и вымораживания данных грунтов, для этого необходимо фундаменты наземных объектов строить быстро и быстро осуществлять



подсыпку насыпных техногенных грунтов на трассах дорог.

4. Инструментальное изучение геодинамики верхней части земной коры на площадках намеченного строительства инженерных сооружений посредством GPS-технологий. И на основании результатов этих исследований применять адекватные инженерные мероприятия (удалять неблагоприятные грунты, отсыпать более благоприятные техногенные грунты в основания фундаментов, усиливать фундаменты, укреплять грунты в основании фундаментов).

### Библиография

1. Гуляев А.Н. Проявления четвертичной и современной геодинамики на территории Екатеринбурга / А.Н. Гуляев, В.С. Дружинин, А.Ю. Дёмина, А.А. Косолапов // Геофизические исследования Урала и сопредельных регионов: мат. междунар. конф., посвященной 50-летию института геофизики УрО РАН 4-8 февраля 2008 г. – Екатеринбург, 2008. – С.58-62.
2. Заруба К., Менцл. В. Инженерная геология / К. Заруба, В. Менцл. – М.: Мир, 1979. – 468 с.
3. Геология СССР, т. XII, ч. 1, кн. 2. – М.: Недра, 1969. – 304 с.
4. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. / Г.Н. Кузовков, Д.А. Двоглазов, Д.С. Вагшаль. // Серия Среднеуральская. Лист О - 41- XXV. – Свердловск, 1987. – 170 с.
5. Геологическая карта Екатеринбурга и его окрестностей масштаба 1:100 000. / Р.Д. Калугина, В.Ф. Копанев, Г.А. Ильясова и др.; ред. Рапопорт М.С.– Екатеринбург: Уральская геологосъемочная экспедиция 1998.
6. Гуляев А.Н. Оценка потенциальной сейсмичности территории города Екатеринбурга / А.Н. Гуляев // Горный журнал. Известия высших учебных заведений. – Екатеринбург. – 2009. – № 6. – С. 91-97.
7. Несмеянов С.А. Введение в инженерную геотектонику / С.А Несмеянов. – М.: Научный мир, 2004. – 214 с.
8. Овчаренко А.В., Баландин Д.В. Первые результаты площадного высокоточного GPS-мониторинга на Среднем Урале // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: V науч. чтен. памяти Ю.П. Булашевича. – Екатеринбург, 2009. – С.375-378.
9. Сидоренков Н.С. Природа нестабильностей вращения Земли / Н.С. Сидоренков // Природа. – 2004. – № 5. – С. 6-18.
10. Ромашов А.Н. Планета Земля: тектонофизика и эволюция / А.Н. Ромашов. – М.: УРСС 2003. – 258 с.
11. Кашубин С.Н. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / С.Н. Кашубин, В.С. Дружинин, А.Н. Гуляев и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 124 с.
12. Вейс-Ксенофонтова З.Г., Попов В.В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала / З.Г. Вейс-Ксенофонтова, В.В. Попов // Труды Сейсмологического института АН СССР. – М., 1940. – № 104. – 12 с.
13. Степанов В.В. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы, ЦСГНЭО / В.В. Степанов, А.А. Годзиковская, В.С. Ломакин. – М., 2002. – 135 с.
14. Гуляев А.Н., Осипова А.Ю. Неоднородность грунтов в основании фундаментов как основная причина повреждений зданий в Екатеринбурге / А.Н. Гуляев, А.Ю. Осипова // Архитектон: известия вузов. – URL: [http://archvuz.ru/2011\\_4/20](http://archvuz.ru/2011_4/20).
15. Тимуш А.В. Сеймотектоника литосферы Казахстана / А.В. Тимуш. – Алматы, 2011. – 590 с.
16. Сашурин А.Д., Боликов В.Е. Геодинамический фактор риска аварий и катастроф в комплексном освоении подземного пространства г. Екатеринбурга / А.Д. Сашурин, В.Е.

---

Боликов // Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений: тр. междунар. конф. – Екатеринбург, 2004. – С.90-93.

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

18. Осипова А.Ю. Исследование геодинамической активности геологической среды г. Екатеринбурга: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.08 / А.Ю. Осипова. – Екатеринбург, 2010. – 22 с.

Статья поступила в редакцию 22.05.2012

---

## CITY AS ECOSYSTEM

# ADVERSE FACTORS IN THE ACTIVE LAYER OF THE EARTH CRUST AFFECTING THE CIVIL ENGINEERING STRUCTURES OF EKATERINBURG

**Gulyaev Alexander N.**

Senior Researcher, Laboratory of Seismometry,  
Institute of Geophysics, Ural Division of the Russian Academy of Science,  
Ekaterinburg, Russia

**Osipova Anastasia Yu.**

PhD (Geology and Mineralogy), Assistant Researcher,  
Seismometric Laboratory Institute of Geophysics,  
Ural Division of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg, Russia

### Abstract

*In the city of Ekaterinburg, buried utility lines, most of the foundations and road and railway and tramway beds are located in the so-called «active layer» of the earth's crust, i.e. in the top 2.5-3.0 m. The active layer of the earth's crust is associated with the boundary zone between the atmosphere and the lithosphere, consists of non-uniform ground in terms of composition and physical and mechanical properties and is sensitive to external effects from the atmosphere, lunar and solar tides, technogenic events and to internal tectonic and hydro-geological processes in the earth's crust. The results of such sensitivity are movements of ground and rock and seasonal and other slower changes in their physical and mechanical properties. These precipitate failures of buried lines and cause damage to the foundations and walls of land structures, and accelerated wear of road surfaces. A number of measures are proposed to mitigate the impact of the crustal active layer on civil engineering structures.*

### Key words

*active layer of the earth's crust, heterogeneity of ground, physical and mechanical properties of ground, geodynamics, failure dynamopair, utility line tunnels*