

УДК 550.831:550.835:662.02

DOI 10.52928/2070-1683-2022-32-14-94-101

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ
(НА ПРИМЕРЕ ЕКАТЕРИНБУРГСКОГО МЕГАПОЛИСА)**

д-р геол.-минерал. наук, проф. В.В. ФИЛАТОВ
(Владимирский государственный университет)
канд. геол.-минерал. наук, доц. К.В. ВАНДЫШЕВА
(Уральский государственный горный университет, Екатеринбург)

Виды и качественно-количественная характеристика техногенных явлений на существенно урбанизированной территории в значительной мере определяются не только техногенной нагрузкой, но главным образом еще и тем, что из себя представляет земная кора в пределах этой территории в геологическом, структурно-тектоническом, геоморфологическом, инженерно-геологическом, динамическом и иных естественных (т.е. природных) отношениях. На территории одного из крупнейших в России Екатеринбургского мегаполиса площадью более 1000 км² и имеющей сложный рельеф поверхности земли проживает около 1,5 млн человек, находится огромное количество гигантских промышленных предприятий различного производственного назначения, метрополитен, четыре водохранилища-пруда. Следовательно, уровень техногенной нагрузки на геологическую среду здесь очень высок. Поэтому актуальной в научно-практическом и социально-экологическом отношениях является задача изучения ее естественного динамического состояния с целью последующего прогнозирования в ее пределах негативных динамических событий в виде техногенных землетрясений, горных ударов и т.п. Решению этой задачи посвящена настоящая статья. В содержательно-методическом отношении изучение естественного динамического состояния территории мегаполиса заключается в рассмотрении и анализе таких важнейших факторов, как: геологическое и структурно-тектоническое строение геологической среды, ее сейсмичность, характер современных движений поверхности земли и естественное напряженно-деформированное состояние, обусловленное тектонической и гравитационной (плотностной неоднородностью геологической среды) силами.

Ключевые слова: урбанизация, техногенез, геологическая среда, сейсмичность, современные движения поверхности земли, естественное поле напряжения, территория Екатеринбургского мегаполиса.

Введение. Одним из важнейших следствий урбанизации является техногенез, представляющий собой совокупность геоморфологических процессов, обусловленных производственной деятельностью человека. В результате техногенеза происходит нарушение естественного равновесного состояния геологической среды, восстановление которого сопровождается различными по интенсивности разрушительными динамическими событиями. В значительной мере эти события чаще всего наблюдаются в горно-промышленных районах, в районах крупных мегаполисов и агломераций. Поэтому проблема изучения техногенеза урбанизированных территорий имеет не только актуальное научное, но, что существенно, практическое и социально-экологическое значение. Техногенные явления реализуются в определенной геологической обстановке, которая характеризуется своим структурно-тектоническим строением, динамическим режимом и другими свойствами, оказывающими влияние на форму техногенных процессов. Следовательно, для изучения и прогнозирования техногенных событий необходимо, прежде всего, принимать во внимание особенности геологического строения и характер динамического состояния и режима исследуемой урбанизированной территории. Кроме того, поскольку геологическая среда, как известно, имеет иерархическое строение и, следовательно, иерархические свойства, то ее изучение для оценки различных явлений тектоногенеза необходимо осуществлять на различных масштабных уровнях: по крайней мере на двух, на региональном и на локальном.

Краткое геологическое и структурно-тектоническое описание строения геологической среды мегаполиса [1]. Территория мегаполиса расположена в пределах Восточно-Уральского поднятия: западная и центральная части мегаполиса находятся в пределах Свердловского синклиория, а восточная – в пределах Монетнинско-Седельниковского антиклиория. Синклиорий сложен в основном осадочно-вулканогенными породами нижнесилурийского возраста; антиклиорий – метаморфизованными до зеленых сланцев и амфиболитов вулканогенными породами основного состава предположительно верхнего ордовика и различными сланцами нижнесилурийского возраста.

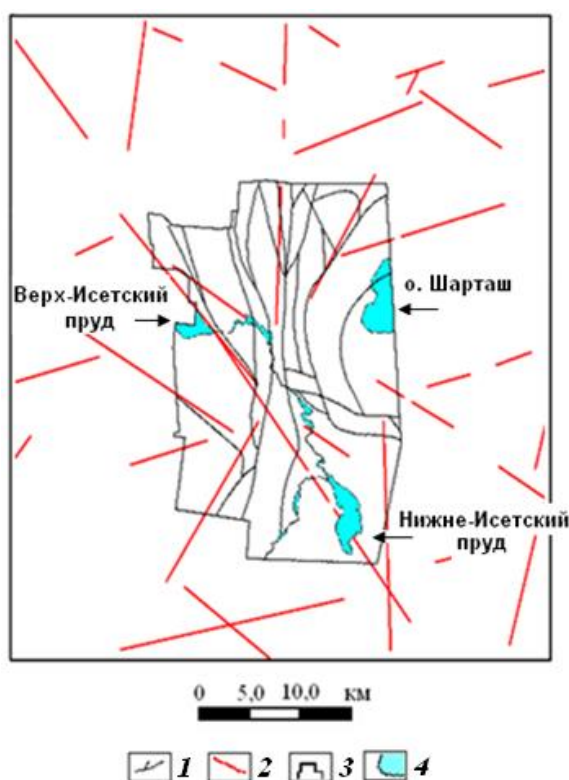
Геологическое и структурно-тектоническое строение территории мегаполиса характеризуется двумя важными особенностями:

– в пределах мегаполиса широко развиты разнообразные по возрасту, составу и формационной принадлежности интрузивные массивы: 1) позднедевонские массивы габбровой формации – Уктусский, Шувакишский и Ширококореченский; 2) позднепалеозойские массивы гранитоидной формации – Верх-Исетский, Шарташский и Свердловский сателлит Верх-Исетского батолита;

– геологическая среда мегаполиса представляет собой структуру, состоящую из большого числа разломов различного ранга, ориентировок и кинематических типов, образующих тектонический узел, центр которого расположен между Свердловским и Шарташским гранитными массивами; в этом узле находится большая часть мегаполиса (рисунки 1).

Сейсмичность. Инструментальные сейсмические наблюдения на Среднем Урале были начаты 4 октября 1913 г. Характеристика сейсмических событий, произошедших с этого времени по 2002 г., приведена в последнем по времени издания каталоге [2]. Характеристика сейсмичности, приведенная в [2; 3], является реальной. Она отличается от сейсмичности, указываемой на картах общего сейсмического районирования территории СССР или РФ [4; 5]. Эту сейсмичность следует называть виртуальной. Для Среднего Урала ее величину определяют для строительства в 6 баллов, а для особо важных объектов повышают до 8 баллов (по шкале МСК-64), что соответствует магнитуде равной 5 и 6. Такова региональная оценка сейсмичности Среднего Урала.

Сейсмичность территории Екатеринбургского мегаполиса, или локальная сейсмичность, существенно скуднее, чем региональная: 24 сентября 1996 г. в северо-западном пригороде мегаполиса в районе о. Мелкое было зарегистрировано сейсмическое событие магнитудой около 1; 10 октября 1997 г. такое же по магнитуде событие было зарегистрировано в юго-западном пригороде мегаполиса в 3-4 км южнее г. Арамиль. Оба события по своей природе являются техногенными, а их очаги – приповерхностными. Таких событий ежегодно в мире происходит более одного миллиона.



1 – разломы (по геологическим данным); 2 – линеаменты, отождествляемые с разломами (по геофизическим данным); 3 – контур г. Екатеринбурга; 4 – водоемы на территории г. Екатеринбурга

Рисунок 1. – Часть тектонической схемы района Екатеринбурга

Современные движения дневной поверхности. Экспериментальной основой для изучения современных движений дневной поверхности служат результаты повторных высокоточных нивелировок.

Региональная характеристика современных движений земной поверхности Среднего Урала была изучена путем проведения повторного высокоточного нивелирования по сети профилей, совмещенных с линиями крупных автомобильных и железных дорог, с 1925 по 1980 гг. при среднем расстоянии между пунктами измерения около 7 км [6]. По результатам нивелирования были вычислены горизонтальные градиенты скоростей вертикальных движений как годовые изменения превышений реперов в миллиметрах на 1 км хода по линиям повторного нивелирования, а также величины деформации сдвига и дилатации.

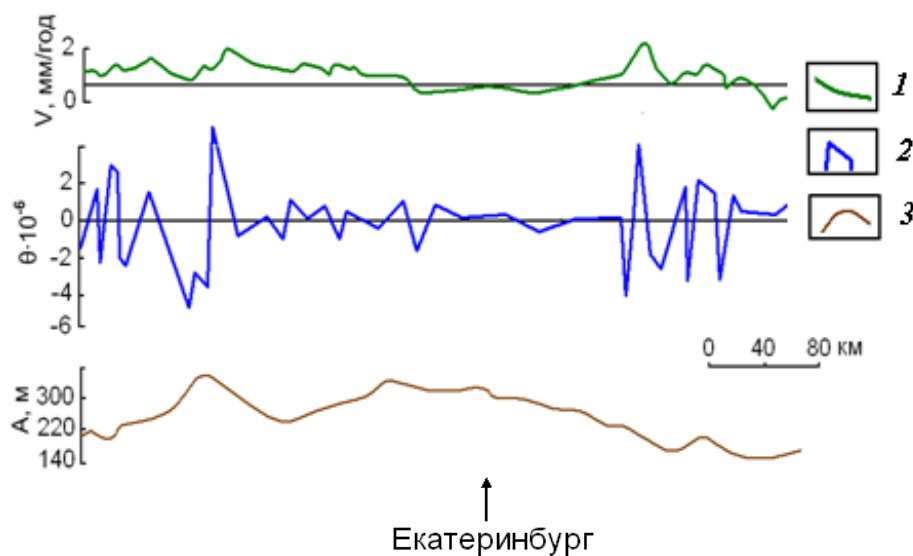
Из анализа результатов нивелирования следует, что по величине и знаку горизонтальный градиент скорости и деформация сдвига и дилатации существенно дифференцированы. Это позволяет сделать вывод о том, что земная кора Среднего Урала разбита на блоки различных рангов (размеров), границами которых являются глубинные разломы, а также разломы более высоких рангов [7]. Наиболее отчетливо связь аномальных значений горизонтальных градиентов и деформации проявляется с системами меридиональных и широтных по простиранию глубинных разломов, которые являются наиболее активными на современном этапе тектоногенеза, поскольку ориентировка разломов соответствует ориентировке главных осей современного поля напряжения [8].

Сопоставление планового положения осевых линий разломов и точек с экстремальными значениями горизонтальных градиентов скоростей и деформаций показало, что в зонах разломов находится около 80% аномалий градиентов и около 84% аномалий деформаций. Это совпадение – следствие повышенной тектонической мобильности (динамической активности) зон глубинных разломов; узлы пересечения разломов различных рангов и различных ориентировок являются самыми активными.

Повышенная тектоно-динамическая активность свойственна как глубинным разломам, так и разломам более высоких рангов. Индикаторами этой активности служат различные трубопроводы, точнее аварии на них. В^{1, 2, 3} [9] показаны результаты изучения этого явления и отмечено, что около 80% аварий на магистральных трубопроводах приходится на места их пересечения с зонами тектонических нарушений. Таким местам присуща высокая вероятность их повторяемости: для двухкратных – 0,75–0,80, для трехкратных и более – 0,95.

Ширина области динамического влияния разломов высоких рангов оценивается в 100–500 м. Поэтому аварии трубопроводов происходят на локальных участках. Тензометрическими измерениями установлено, что максимальное напряжение, которое испытывает материал трубы, составляет 80–120 МПа, что соответствует деформации растяжения в 99 мм на базе измерения равной 500 м. Относительная деформация, вызываемая такими напряжениями, составляет $2 \cdot 10^{-4}$, т.е. и напряжение, и деформация далеки от тех значений, при которых происходит разрушение трубы. Труба разрушается только под действием многократных нагрузок.

Региональное изучение современных движений в районе Екатеринбургского мегаполиса было выполнено вдоль профиля глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ): Ижевск – Красноуфимск – Полевской – Ишим (рисунок 2). Район мегаполиса характеризуется отрицательной скоростью движений поверхности земли менее 0,3 мм/год и знакопеременной дилатацией от $+0,3 \cdot 10^{-6}$ до $-0,7 \cdot 10^{-6}$, т.е. величина скорости и величина дилатации сопоставимы с погрешностью их измерения, поэтому их можно считать нулевыми. Таким образом, тот блок земной коры, в пределах которого находится мегаполис, следует рассматривать в региональном плане как устойчивый и консолидированный. Скорость движения и деформация в соседних блоках существенно выше. Поэтому современные движения как фактор, способствующий нарушению динамического равновесия геологической среды в районе мегаполиса, следует рассматривать малозначимым. Об этом же свидетельствуют и неотектонические данные (рисунок 3): вершинная доорогенная поверхность выравнивания на Среднем Урале представляет очень пологое поднятие, не нарушенное разломами, а мегаполис находится восточнее области, охваченной новейшими горообразовательными процессами [10].



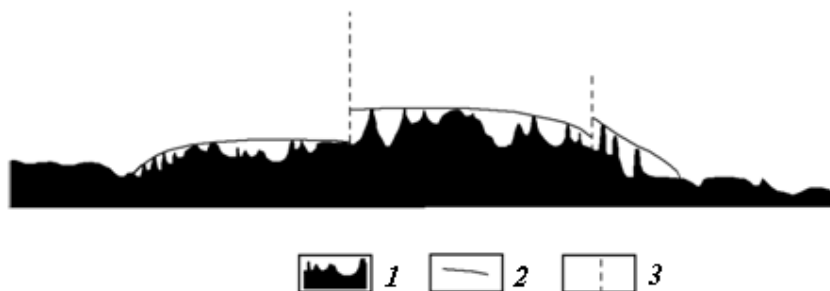
1 – скорость современных вертикальных движений;
2 – накопленные значения дилатации; 3 – рельеф поверхности Земли

Рисунок 2. – Деформации земной коры и их характеристика по Свердловскому профилю ГСЗ

¹ Кострюкова, Н.К. Динамика приливных деформационных процессов в локальных разломах земной коры в связи с безаварийной работой продуктопроводов / Н.К. Кострюкова, О.М. Кострюков // Геомеханика в горном деле – 2000 : докл. Междунар. конф., Екатеринбург, 2000 г. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2000. – С. 295–305.

² Панжин, А.А. Непрерывный мониторинг смещений и деформаций земной поверхности с применением комплексов спутниковой геодезии GPS / А.А. Панжин // Геомеханика в горном деле – 2000 : докл. Междунар. конф., Екатеринбург, 2000 г. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2000. – С. 320–324.

³ Сашурин, А.Д. Геофизические исследования земной коры при оценке аварийности Красноуфимского участка многониточного газопровода / А.Д. Сашурин, А.А. Кошкар, В.В. Копырин // Горная геофизика : Междунар. конф., С.-Петербург, Россия, 22–25 июля 1998 г. – СПб. : ВНИИ, 1998. – С. 329–333.



1 – рельеф поверхности Земли; 2 – линия вершинной поверхности рельефа;
3 – предполагаемые зоны разломов, нарушающих положение вершинной поверхности

Рисунок 3. – Профиль деформаций вершинной (неоген-четвертичной) поверхности Среднего Урала

Характер современных движений земной поверхности в пределах мегаполиса, т.е. на локальном уровне, был изучен по результатам повторных нивелировок в 28 пунктах [11]. По этим данным были установлены следующие пространственно-временные закономерности современных движений:

- для годичных интервалов измерения величина скорости современных движений составляет первые мм/год;
- для временных интервалов измерения в несколько десятков лет величина скорости почти на порядок меньше и составляет первые десятые и даже сотые доли мм/год; кроме того, скорость движения остается практически постоянной как во времени, так и в пространстве;
- для обоих интервалов измерения скорости движения могут быть как положительными, так и отрицательными; инверсия знака скорости происходит на небольших расстояниях в десятки и первые сотни м.

Естественное напряженное состояние. Основные закономерности естественного напряженного состояния верхней части земной коры Среднего Урала были установлены на основании результатов их измерения в горных выработках эксплуатируемых месторождений полезных ископаемых [12; 13]. Причинами напряженного состояния являются действия литостатического давления и тектонической силы. Горизонтальные напряжения тектонической силы в 10–15 раз превосходят горизонтальные компоненты напряжения, что обусловлено литостатическим давлением; вертикальная компонента напряжения, вызываемая литостатической нагрузкой и тектонической силой, примерно одинаковы; широтные горизонтальные напряжения являются сжимающими, меридиональные бывают как растягивающими, так и сжимающими; на глубинах в первые сотни метров горизонтальные сжимающие напряжения могут достигать 50 МПа; с глубиной все компоненты напряжения возрастают по линейному закону. Наибольшие по величине широтные сжимающие напряжения наблюдаются от широты г. Екатеринбурга до широты г. Челябинска. Концентрация напряжений в этом районе генетически обусловлена воздействием Уфимского выступа Русской платформы на породы палеозойского возраста складчатого Урала. Давление этого выступа привело к развитию глубинных сдвигов с преимущественным горизонтальным смещением блоков земной коры при небольшой амплитуде подвижек в вертикальном направлении.

Таковы региональные закономерности естественного поля напряжения. Они обусловлены тектоническими структурами первого порядка. Поэтому следует полагать, что в первом приближении район мегаполиса находится под действием постоянного по величине и по знаку естественного напряжения. На это поле напряжения как на фон накладывается напряжение, которое обусловлено плотностной неоднородностью геологической среды [11].

Деформационное состояние геологической среды мегаполиса по геологическим данным и по данным тектонофизического анализа гравитационного поля. Анализ данных^{4,5} [1; 11] указывает на то, что участок земной коры, на котором расположен мегаполис, образует крупный тектонический узел. Данный участок имеет многочисленные тектонические нарушения различных рангов, ориентировок в пространстве и кинематических типов.

Тектонические нарушения узловых структуры мегаполиса были активизированы в палеозое и омоложены в мезо-кайнозойское время, имеют субмеридиональную, широтную и диагональную (северо-западную и северо-восточную) ориентировки. Значительная часть является активной и на современном этапе тектоногенеза, что способствует возникновению аварий на линиях подземных коммуникаций⁶.

Субмеридиональные разломы различных рангов на территории мегаполиса в кинематическом отношении представляют собой структуры сжатия и являются в основном взбросо-надвигами. Субширотные разломы – это структуры растяжения, а диагональные разломы имеют сколовый тип.

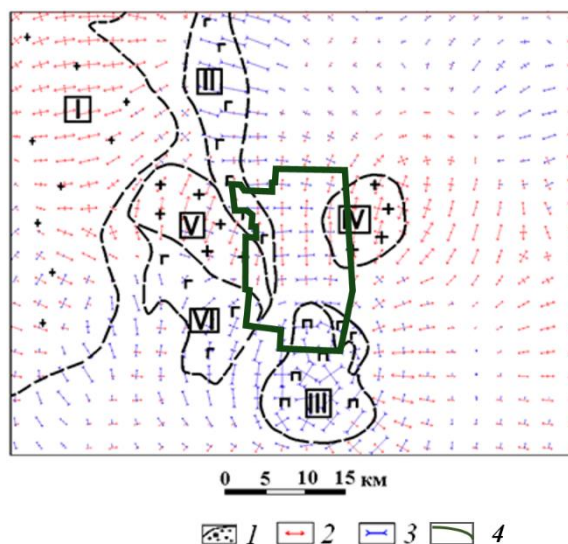
⁴ Геологическое доизучение масштаба 1:200000 и подготовка к изданию Госгеолкарты – 200 (новая серия) листов О-41-XXV и О-41-XXXI Среднеуральской серии (Ольховская площадь) : отчет Ольховской ГСП за 1991–1999. Кн. 1. Текст / В.Ф. Копанев [и др.]. – Екатеринбург : Уралгеолфонд, 1999. – 282 с.

⁵ Кузовков, Г.Н. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXV / Г.Н. Кузовков, Д.А. Двоглазов, Д.С. Вагшаль. – Свердловск : Уралгеолфонд, 1987. – 170 с.; с графич. прилож.

⁶ Гуляев, А.Н. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Схематическое сейсмическое районирование территории Екатеринбурга» ; работа по договору №01/066 Ек от 20/08/01 с Уральским региональным центром экологической эпидемиологии / А.Н. Гуляев, В.С. Дружинин. – Екатеринбург, 2001. – 72 с.

Деформация геологической среды территории мегаполиса кроме тектонических сил обусловлена также ее плотностной неоднородностью – интрузивными массивами. По сравнению с плотностью вмещающих пород, гранитные и гранитоидные массивы являются менее плотными, т.е. они «всплывают» во вмещающей среде, формируя в ней деформацию растяжения. «Тяжелые» ультраосновные массивы габбровой формации «погружаются» во вмещающую их среду, способствуя в ней деформации сжатия. Таким образом, деформация геологической среды, которая обусловлена плотностной неоднородностью, имеет следующие характеристики (рисунок 4):

- первая и вторая главные оси деформации, которые лежат в горизонтальной плоскости, (e_1 , e_2) ориентированы субмеридионально и субширотно, т.е. параллельно и перпендикулярно простиранию основных структур палеозойского возраста; третья главная ось субвертикальная;
- первое и второе главные значения деформации (e_1 , e_2) являются растяжением и сжатием, третье главное значение является сжатием, т.е. в этом случае в геологической среде будут развиваться и активизироваться, прежде всего, разрывы сдвигового кинематического типа;
- активизация разрывов, обусловленных гравитационной силой, подтверждается геологическими данными: широким развитием глубоких карманов выветрелых пород по контактам даек гранит-порфиров в осевых зонах разломов, проявлением в рельефе поверхности земли новейших тектонических движений⁷;
- флексурно-разрывные зоны, формируясь в режиме растяжения, обеспечивают высокую проницаемость геологической среды, т.к. в почвенном воздухе и в подземных водах повышенная концентрация радона⁸.



1 – массивы интрузивных пород: **I** – Верх-Исетский; **II** – Шувакишский; **III** – Уктусский; **IV** – Шарташский; **V** – Свердловский; **VI** – Ширококореченский;
2 – растяжение; **3** – сжатие; **4** – контур территории г. Екатеринбурга

Рисунок 4. – Поле главных компонент деформации e_1 и e_2

В пределах мегаполиса геологическая среда представляет собой различные типы метаморфических пород. Изучая деформационные свойства этих пород, можно сказать, что исходная порода подвергается вторичным структурно-деформационным изменениям при метаморфических процессах, что приводит к снижению ее прочности⁹ [14]. Геологическая среда, представляющая собой крупный тектонический узел, в структурно-тектоническом отношении находится в стабильном напряженном состоянии и может быть благоприятна на проявления в ней динамических событий, которые будут не высоки по интенсивности, но часты по времени. В такой среде будет накапливаться упругая энергия. Но в связи с ее невысокой прочностью из-за большого количества тектонических нарушений различного ранга и различных кинематических типов будет происходить разрядка напряжений (динамические события) на невысоком уровне накопленной в ней упругой энергии, что связано с невысокой сейсмичностью, характером современных движений, стабильным напряженным состоянием и пространственной закономерностью.

Закономерности разрушения трубопроводов на территории мегаполиса. В Екатеринбурге ежегодно происходит множество переломов и разрывов водопроводных труб¹⁰. Значительная часть таких аварий вызвана

⁷ См. сноску 5.

⁸ Илларионов, В.Д. Карта районирования по степени потенциальной радоновой опасности территории Екатеринбурга масштаба 1:25000 : отчет о результатах работ за 1996 год по договору №9-96-Э с администрацией г. Екатеринбурга ГПП «Зеленогорскгеология», Центрально-Уральская партия № 75 / В.Д. Илларионов. – Екатеринбург, 1997. – 112 с.

⁹ Турчанинов, И.А. Некоторые представления о напряженном состоянии горных пород / И.А. Турчанинов // Прикладные задачи механики горных пород : материалы 5-й Всесоюз. конф. по механике горных пород. – М. : Наука, 1977. – С. 18–21.

¹⁰ См. сноску 6.

тектоническими причинами, а именно движением по разломам, разрывам и трещинам блоков геологической среды. Изучая места аварий, можно предположить, что они практически равномерно рассредоточены по той части территории г. Екатеринбурга, где вышеупомянутые разломы, разрывы и трещины установлены. Аварии наблюдаются в одном месте многократно, т.е. для них характерна повторяемость. В геологической среде динамический режим сохраняется и поддерживается на одном уровне в пространственном и временном отношениях, т.е. является стабильным из-за закономерности в аварийности. Большая плотность мест аварий свидетельствует о том, что геологическая среда разделена тектоникой на большое количество блоков, поперечные размеры которых невелики (рисунок 5).

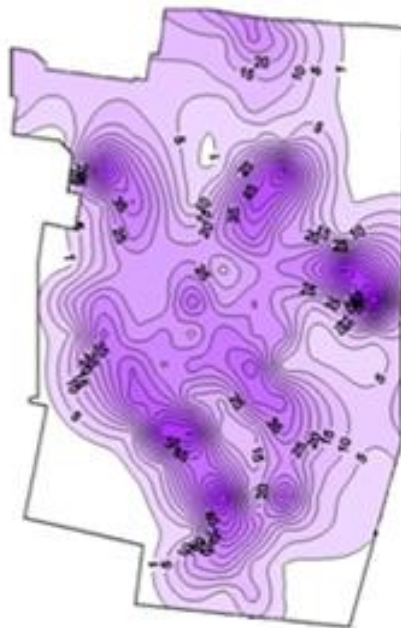


Рисунок 5. – План плотности аварий на линиях водопровода на территории мегаполиса за 1995–1999 гг.; изолинии оцифрованы в кол./км²

В кинематическом отношении блоки ограничены тектоническими нарушениями сбросовой и сбросо-взбросовой природы, т.е. они сформировались под действием касательных напряжений. За счет упругой энергии, аккумулированной в геологической среде, и происходит разрушение водопроводных труб. Исходя из кинематики разрывов труб под действием сдвиговых деформаций поверхности земли, их размеров, толщины стенок, материала и инженерно-геологических условий, в которых трубы залегают, была оценена потенциальная энергия, затрачиваемая на разрушение в год одной тысячи труб. Расчетами было установлено, что для разрушения тысячи стальных труб диаметром от 1,220 до 0,089 м с толщиной стенок от 0,009 до 0,005 м затрачивается от $4,56 \cdot 10^7$ до $7,63 \cdot 10^6$ Дж энергии. Много это или мало? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо сравнить количество энергии, затрачиваемой на разрушение тысячи труб, с количеством энергии, выделяемой при землетрясениях разной магнитуды. Магнитуда землетрясений в районе мегаполиса оценена в 1–2. При землетрясениях такой магнитуды выделяемая энергия оценивается в $2 \cdot 10^6$ – $6,3 \cdot 10^7$ Дж, т.е. энергия, идущая на разрушение водопроводов, равна с точностью до порядка энергии, которая выделяется при землетрясении.

Заключение. Из анализа факторов, определяющих естественное динамическое состояние геологической среды Екатеринбургского мегаполиса на региональном и локальном уровнях (геологический, структурно-тектонический, сейсмичность, современные движения, естественное напряженное состояние, плотностная неоднородность и др.), следует, что основную роль в динамическом состоянии среды мегаполиса играют ее плотностные неоднородности (интрузивные массивы). Плотностные неоднородности (гравитационная сила), обладая различной относительной плотностью (избыточная плотность, дефект плотности), являются источниками напряжения, деформирующими геологическую среду. Сопоставление главных значений и главных направлений деформации, обусловленных плотностными неоднородностями, с простираемостью и кинематикой разрывных нарушений, установленных геологическими методами, свидетельствует, что их активизация на современном этапе тектоногенеза принадлежит гравитационной силе. Тектоническая сила имеет второстепенное значение.

Гравитационная сила (плотностные неоднородности), деформируя геологическую среду, создает в ней режим растяжения на большей части территории мегаполиса, способствуя увеличению ее проницаемости, особенно в зонах разрывных нарушений высоких рангов.

В структурно-тектоническом отношении территория мегаполиса расчленена разрывными нарушениями на большое число блоков, поперечные размеры которых измеряются первыми десятками метров. Режим растяжения создает благоприятные условия для взаимного перемещения блоков, главным образом по вертикали, о чем свидетельствуют многочисленные разрывы водопроводов. В таких условиях в геологической среде мегаполиса

невозможно накопление упругой энергии в количествах, необходимых для того, чтобы могло произойти интенсивное динамическое событие, и сейсмологический мониторинг подтверждает этот вывод. Геологическая среда мегаполиса обладает невысокими прочностными свойствами и находится в близком к разгрузке режиме, поскольку большая часть упругой энергии среды диссипатирует, переходя в тепло, лишь незначительно нагревая ее¹¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология СССР. Т. XII. Ч. 1. Кн. 2 / под ред. П.И. Аладинского [и др.]. – М. : Недра, 1968. – 304 с.
2. Сейсмические события Уральского региона за 1914–2002 гг. / В.С. Ломакин [и др.]. – М. ; Обнинск : ЦСГНЭО, 2002. – 86 с.
3. Гуляев, А.Н. Сейсмичность и сейсмическое районирование Урала / А.Н. Гуляев // Изв. вузов. Гор. журн. – 2016. – № 6. – С. 116–124.
4. Ананьин, И.В. Европейская часть СССР, Урал, Западная Сибирь: Новейший каталог сильных землетрясений территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / И.В. Ананьин. – М. : Наука, 1977. – С. 465–470.
5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М. : Наука, 1977. – 534 с.
6. Блюмин, М.А. Схема вертикальных деформаций земной коры Урала. Масштаб 1: 2 500 000 / М.А. Блюмин, Р.В. Улитин. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1983. – 2 л.
7. Филатов, В.В. О подобии и иерархии тектонических структур / В.В. Филатов, Л.А. Болотнова // Изв. вузов. Гор. журн. – 2019. – № 1. – С. 52–59.
8. Филатов, В.В. Гравиразведка. Метод тектонофизического анализа гравитационного поля / В.В. Филатов, Л.А. Болотнова. – Екатеринбург : УГГУ, 2015. – 284 с.
9. Панжин, А.А. Наблюдения за движением земной поверхности на горных предприятиях с использованием GPS / А.А. Панжин // Изв. Урал. гос. гор.-геол. акад. Сер. Гор. дело. – 2000. – Вып. 11. – С. 196–203.
10. Бачманов, Д.М. Неотектоника Урала (проблемы и решения) / Д.М. Бачманов, Н.Н. Говоров // Геотектоника. – 2001. – № 5. – С. 61–75.
11. Болотнова, Л.А. Гравиразведка. Тектонофизический анализ гравитационного поля Екатеринбургского мегаполиса / Л.А. Болотнова, В.В. Филатов. – Екатеринбург : УГГУ, 2010. – 176 с.
12. Влох, Н.П. Управление горным давлением на железных рудниках / Н.П. Влох, А.Д. Сашурин. – М. : Недра, 1974. – 184 с.
13. Зубков, А.В. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры / А.В. Зубков // Литосфера. – 2016. – № 5. – С. 146–151.
14. Звягинцев, Л.И. Деформация горных пород и эндогенное рудообразование / Л.И. Звягинцев. – М. : Наука, 1978. – 174 с.

REFERENCES

1. Aladinskii, P.I. (Eds.), Zoloev, K.K. (Eds.), Pervago, V.A. (Eds.) & Sidorenko, A.V. (Eds.) (1968). *Geologiya SSSR*, T. XII, Ch. 1, Kn. 2. Moscow: Nedra. (In Russ.).
2. Lomakin, V.S., Godzikovskaya, A.A., Pribylova, N.E., Silina, I.K. & Mitenkova, N.V. (2002). *Seismicheskie sobytiya Ural'skogo regiona za 1914–2002 gg.* Moscow; Obninsk: TSSGNEO. (In Russ.).
3. Gulyaev, A.N. (2016). Seismichnost' i seismicheskoe raionirovanie Urala [Seismicity and seismic zoning of the Urals]. *Izv. vuzov. Gor. zhurn. [News of Universities. Mining magazine]*, (6), 116–124. (In Russ., abstr. in Engl.).
4. Anan'in, I.V. (1977). *Evropeiskaya chast' SSSR, Ural, Zapadnaya Sibir': Noveishii katalog sil'nykh zemletryaseni territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* Moscow: Nauka. (In Russ.).
5. Kondorskaya, N.V. (Eds.) & Shebalin, N.V. (Eds.) (1977). *Novyi katalog sil'nykh zemletryaseni na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* Moscow: Nauka. (In Russ.).
6. Blyumin, M.A. & Ulitin, R.V. (1983). *Skhema vertikal'nykh deformatsii zemnoi kory Urala. Masshtab 1: 2 500 000.* Sverdlovsk: UNTs AN SSSR. (In Russ.).
7. Filatov, V.V. & Bolotnova, L.A. (2019). O podobii i ierarkhii tektonicheskikh struktur [About similarity and hierarchy of tectonic structures]. *Izv. vuzov. Gor. zhurnal [News of Universities. Mining magazine]*, (1), 52–59. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Filatov, V.V. & Bolotnova, L.A. (2019). *Gravirazvedka. Metod tektonofizicheskogo analiza gravitatsionnogo polya.* Yekaterinburg: UGGU. (In Russ.).
9. Panzhin, A.A. (2000). Nablyudeniya za sdvizheniem zemnoi poverkhnosti na gornykh predpriyatiyakh s ispol'zovaniem GPS [Observations of the Earth's Surface Movement at Mining Enterprises Using GPS]. *Izv. Ural. gos. gor.-geol. akad. Ser. Gor. delo [Proceedings of the Ural State Mining and Geological Academy. Series Mining]*, (11), 196–203. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Bachmanov, D.M. & Govorov, N.N. (2001). Neotektonika Urala (problemy i resheniya) [Neotectonics of the Urals (problems and solutions)]. *Geotektonika [Geotectonics]*, (5), 61–75. (In Russ., abstr. in Engl.).
11. Bolotnova, L.A. & Filatov, V.V. (1983). *Gravirazvedka. Tektonofizicheskii analiz gravitatsionnogo polya Ekaterinburgskogo megapolisa.* Yekaterinburg: UGGU. (In Russ.).
12. Vlokh, N.P. & Sashurin, A.D. (1974). *Upravlenie gornym davleniem na zheleznykh rudnikakh.* Moscow: Nedra. (In Russ.).
13. Zubkov, A.V. (2016). Zakon formirovaniya prirodnogo napryazhennogo sostoyaniya zemnoi kory [The law of formation of the natural stress state of the earth's crust]. *Litosfera [Lithosphere]*, (5), 146–151. (In Russ., abstr. in Engl.).
14. Zvyagintsev, L.I. (1978). *Deformatsiya gornykh porod i endogennoe rudoobrazovanie.* Moscow: Nauka. (In Russ.).

Поступила 09.11.2022

¹¹ Шапов, В.А. Геотермические исследования Урала : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук : 25.00.10. – Екатеринбург, 2006. – 216 л.

**METHODS AND RESULTS OF STUDYING THE DYNAMIC STATE
OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE URBANIZED AREA
(USING THE EXAMPLE OF THE YEKATERINBURG METROPOLIS)**

V. PHILATOV

(Vladimir State University)

K. VANDYSHEVA

(Ural State Mining University, Yekaterinburg)

The types and qualitative and quantitative characteristics of man-made phenomena in a significantly urbanized territory are largely determined not only by the man-made load, but mainly also by the fact that the earth's crust within this territory is in geological, structural-tectonic, geomorphological, engineering-geological, dynamic and other natural relations. About 1.5 million people live on the territory of one of the largest Yekaterinburg metropolis in Russia with an area of more than 1000 km² and, having a complex surface relief, there are a huge number of gigantic industrial enterprises for various production purposes, a metro, four pond reservoirs. Consequently, the level of technogenic load on the geological environment is very high here. Therefore, relevant in scientific, practical and social-ecological relations is the task of studying its natural dynamic state in order to subsequently predict negative dynamic events within its limits in the form of man-made earthquakes, mountain impacts, etc. This is the problem of this article. In a substantive and methodological respect, the study of the natural dynamic state of the territory of the metropolis consists in the consideration and analysis of such important factors as: the geological and structural-tectonic structure of the geological environment, its seismicity, the nature of modern movements of the earth's surface and the natural stressed-deformed state due to tectonic and gravitational (density heterogeneity of the geological environment) forces.

Keywords: *urbanization, technogenesis, geological environment, seismicity, modern earth surface movements, natural stress field, territory of Yekaterinburg metropolis.*