

УДК 556

ФАКТОРЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Грязнов О. Н., Гуляев А. Н., Рубан Н. В., Савинцев И. А., Черкасов С. А.

Рассмотрены факторы инженерно-геологических условий г. Екатеринбурга: физико-географические; региональные геологические (геологическое строение, тектоника, история геологического развития; региональный метаморфизм; флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы; вещественные инженерно-геологические комплексы; природные геологические процессы; гидрогеологические условия); техногенные (промышленный, сельскохозяйственный техногенез; урбанизация территорий; техногенные и техноприродные геологические процессы; химическое и радиоактивное загрязнение окружающей среды).

Ключевые слова: факторы физико-географические, региональные геологические, техногенные; инженерно-геологические условия.

В материалах конференции «17 Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций» (19–20 марта 2015 г.) нами предложена сокращенная версия доклада «Инженерно-геологические условия г. Екатеринбурга как основа разработки и совершенствования генерального плана развития города» [1]. Настоящая статья предлагает познакомиться с более полной характеристикой факторов, определяющих инженерно-геологические условия г. Екатеринбурга, находящегося в сложной геолого-тектонической позиции средней части Уральского складчатого пояса.

Инженерно-геологические условия территорий (ИГУ), по В. Д. Ломтадзе [2], – это геологические условия, «определяющие планирование, размещение и выбор районов и мест расположения различных сооружений, их проектирование, строительство, устойчивость и эксплуатацию, а также другие виды хозяйственного использования территорий». В свою очередь ИГУ определяются взаимодействием региональных геологических, зональных и техногенных факторов [3, 4].

Физико-географические факторы (орографические, гидрологические, климатические условия территории) – факторы, ответственные за современное состояние инже-

нерно-геологических условий.

Екатеринбург – самый крупный город Урала, являющийся административным, промышленным и культурным центром Свердловской области. Город расположен на рубеже восточных предгорий Среднего Урала (Восточно-Уральских увалов) и Зауральской складчатой возвышенности по берегам реки Исеть, на 50°50' северной широты и 60°38' восточной долготы на высотах 250–300 м над уровнем моря. Полоса восточных предгорий на широте города состоит из вытянутых с севера на юг невысоких, но длинных увалов, чередующихся с широкими понижениями. Высоты увалов колеблются от 280 до 300 м. Глубина вреза долины р. Исеть редко бывает больше 40–60 м. Из-за деятельности реки увалы расчленены на обособленные сопки-холмы. В понижениях, среди гранитных массивов этой полосы предгорий, расположены озёра (Шувакиш, Шарташ). Нередко понижения заняты болотами [5].

Долина р. Исеть на территории города довольно широкая, имеет хорошо выраженные пойменные террасы (низкую и высокую). Более древние террасы в городской черте почти не выражены. Большая часть территории города характеризуется выровненной поверхностью, несколько покатой к долине реки.

Главная водная артерия города р. Исеть – крупный левый приток Тобола. Основным источником питания реки является поверхностный сток от выпадения осадков и снеготаяния. Среднемноголетний расход реки – 5,5 м³/с. Средние высоты левобережной части долины 250–270 м, правобережной – 280–300 м. Характерной особенностью реки в городе является ее сильная зарегулированность, из-за чего естественный сток сильно изменен. С постройкой четырех городских плотин и образованием водоемов (прудов) режим стока реки принял озерный характер. Самый большой приток Исети в городской черте – река Патрушиха на юге, сохранившийся северный приток р. Ольховка. Всего по данным схем города 1788, 1826 и 1947 годов в границах современного Екатеринбурга р. Исеть имела 10 притоков. Слева это (с севера на юг) – Ольховка (ранее Березовка), Мельковка (Основинка), Малаховка, Сухая, Ольховка и Черная. Справа – Алексеевка, Монастырка, Черемшанка и Патрушиха (ранее Уктус). Все притоки кроме Патрушихи и Ольховки взяты в трубы и бетонные коллекторы.

Уральский хребет, несмотря на сравнительно небольшие высоты, служит естественной преградой на пути преобладающего западного переноса воздушных масс. Влияние гор приводит к ослаблению западного потока, изменению направления движения циклонов и антициклонов, замедлению их движения, к деформации при переваливании через горы барических образований и атмосферных фронтов. Благодаря этим процессам Урал, с одной стороны, часто оказывается открыт для вторжения близко соседствующих холодных арктических масс воздуха или сильно выхолаженного континентального воздуха Западно-Сибирской равнины, с другой – для проникновения с юга теплых масс Прикаспия и среднеазиатских пустынь. Этим объясняется периодическое формирование характерных для Урала погодных аномалий: от сурово-морозной или необычно теплой погоды зимой, до жаркой или холодной ненастной погоды летом.

Положение города в центре Евразии на восточном склоне Уральского хребта опре-

деляет умеренно-континентальный климат. Среднегодовая температура воздуха составляет +12 °С. Средняя температура наиболее холодного месяца января –20 °С, средняя минимальная температура самого теплого месяца июля +22,9 °С. Распределение осадков зависит от циркуляции воздушных масс, рельефа, температуры воздуха. Основную часть осадков приносят циклоны с западным переносом воздушных масс. Среднегодовая сумма осадков составляет 550–650 мм. Максимум осадков приходится на теплый сезон, в течение которого выпадает около 60–70 % годовой суммы. В зимний период образуется снежный покров мощностью до 70 см. Коэффициент увлажнения колеблется в пределах 1,2–1,6. По степени увлажненности г. Екатеринбург относится к зоне достаточного увлажнения.

Региональные геологические факторы включают: геологическое строение, тектонику, историю геологического развития; региональный метаморфизм; флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы; вещественные инженерно-геологические комплексы; природные геологические процессы и связанные с ними явления; гидрогеологические условия. Природное загрязнение окружающей среды г. Екатеринбурга и прилегающих территорий на сегодня «искажено», а на большей части площади «перекрыто» техногенным химическим и радиоактивным загрязнением.

Геологическое строение, тектоника, история геологического развития. Территория города располагается в пределах юго-западного окончания Свердловского синклиория, граничащего на западе с Верхотурско-Верхисетским мегантиклинием. Их граница фиксируется Верх-Исетским разломом, входящим в систему регионального Серовско-Маукского разлома. Южная часть площади размещается на северном замыкании Сысертско-Ильменогорского мегантиклиория. Восточная граница Свердловского синклиория с Мурзинско-Адуйским антиклинием Сосьвинско-Коневского мегантиклиория расположена восточнее рассма-

триваемой территории. Названные структуры III-II порядка представляют среднюю часть Восточно-Уральского инженерно-геологического региона.

Наиболее древними комплексами стратифицированных горных пород являются основные эффузивы, их брекчии и туфы, метаморфические породы (порфиритоиды, зеленые сланцы с меняющимися соотношениями эпидота, актинолита и хлорита) нейвинской свиты O_3 . Стратиграфически выше они перекрыты переслаивающимися с фациальным замещением филлитизированными глинистыми, глинисто-кремнистыми, углесто-глинисто-кремнистыми, филлитовыми, графитисто-кварцевыми, хлорит-слюдисто-кварцевыми сланцами с подчиненным значением зеленых сланцев, порфиритоидов и порфиритов базальтового состава невянской свиты ландоверийского яруса S_1 . Выше по разрезу залегают базальтовые порфириты и диабазы, кварцевые альбитофиры, их брекчии и туфы, в разной степени метаморфизованные до порфиритоидов и зеленых сланцев, серицитовых кварцитов Кировградской свиты венлокского яруса S_1 . Более молодыми стратифицированными образованиями являются диабазы, диабазовые порфириты, их туфы, туффиты, туфопесчаники с прослоями известняков $D_{2,3}$ (рис. 1).

Широким распространением на площади пользуются интрузивные горные породы. Они представлены дунит-пироксенитовой ассоциацией Уктусского массива ($D_{2,3}$), гипербазитами (серпентинитами) юго-восточного окончания Пышминско-Ключевского массива и мелкими (от десятков-сотен метров до 1,5–2,2 км) линзовидными и неправильной формы телами апогипербазитовых тальк-карбонатных пород ($D_{1,2}$), габбро Балтымского массива ($D_{2,3}$), гранитоидами Верх-Исетского ($C_{1,3}$), Шарташского ($C_{1,3}$), Большеистокского ($C_{1,3}$) и других массивов, а также серий даек и малых тел гранитоидов ($C_{2,3}$).

Тектоническая позиция территории города обусловила широкое развитие разно-масштабных разрывных нарушений, представленных системами субмеридиональных,

диагональных и близширотных разломов. Мезозойские коры выветривания и четвертичные образования (делювиальные, аллювиальные, озерно-болотные) формируют чехол покровных отложений, перекрывающих коренные горные породы на всей территории города. Лишь на возвышенных участках элювиальных ландшафтов на поверхности обнажаются, как правило, интрузивные горные породы.

Региональный метаморфизм представлен образованиями пяти геологических типов: региональных зеленокаменного и зеленосланцевого, симатического (фемического) плутонометаморфизма, дислокационного и контактного метаморфизма (рис. 2). Региональный зеленокаменный метаморфизм зеленосланцевой фации проявился в вулканогенных горных породах и гипербазитах. Он выразился в зеленокаменном изменении (актинолитизации, эпидотизации, хлоритизации) эффузивов и их туфов, серпентинизации гипербазитов, их отальковании и карбонатизации. Региональным зеленосланцевым метаморфизмом фации зеленых сланцев вулканогенные горные породы преобразованы в эпидот-актинолит-хлоритовые сланцы, а терригенные породы – в альбит-хлорит-серицитовые, хлорит-серицит-кварцевые сланцы. Симатический (фемический) плутонометаморфизм связан со становлением офиолитовых комплексов. К их числу принадлежит Уктусский массив метагипербазитов, горные породы которого образованы в условиях гранулитовой, амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций, а также тела серпентинитов линзовидной и сложной формы, контролируемые разломной тектоникой (см. рис. 1), преобразованные в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Дислокационный метаморфизм фации зеленых сланцев обусловил образование в зонах разломов хлоритовых, хлорит-серицитовых, кварц-серицитовых сланцев. В экзоконтактах Верх-Исетского, Шарташского и Большеистокского гранитных массивов вмещающие горные породы метаморфизованы в условиях амфибол-роговиковой и амфибол-эпидот-роговиковой фаций до образования

Остановимся на кратком описании метасоматитов на прилегающей к г. Екатеринбург территории и отчасти в пределах городской черты. К ним относятся метасоматиты лиственит-березитовой формации Березовского рудного поля, района г. Верхней Пышмы и юго-восточной части площади, гумбеиты

Шарташского гранитного массива, кварц-хлорит-серицитовые метасоматиты и тальк-карбонатные породы (рис. 2).

На рис. 2 представлен фрагмент карты рудоносных метасоматических формаций и метаморфизма листа О-41-XXV М 1:200000 (г. Екатеринбург и его окрестностей). Большая

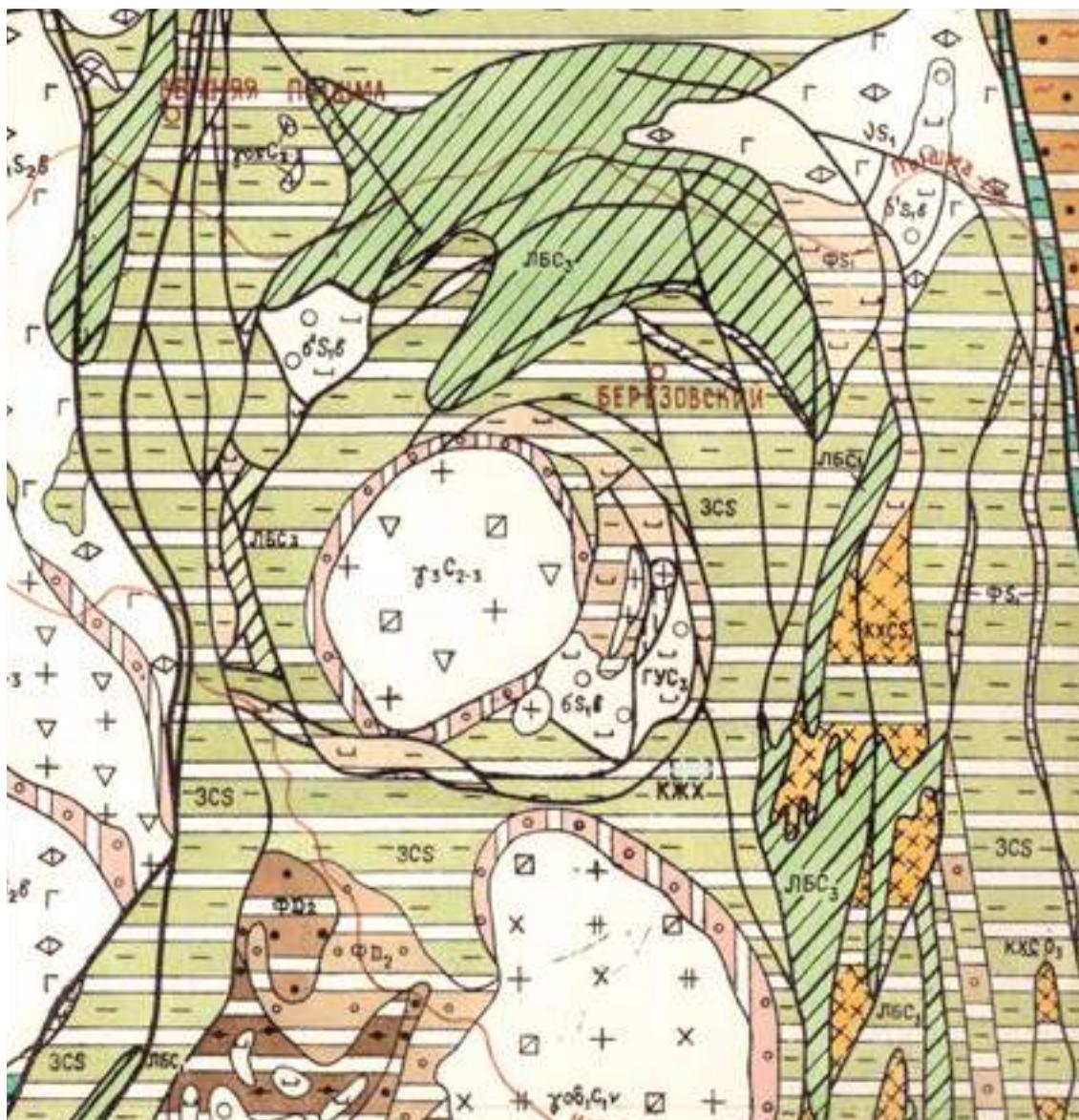


Рис. 2. Фрагмент карты рудоносных метасоматических формаций и метаморфизма листа О-41-XXV М 1:200000. Сост. Грязнов О. Н., 1991 г. Пояснения в тексте.

часть территории принадлежит Свердловскому синклинию, вулканогенно-осадочные комплексы которого (О-S₁) метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации регионального зеленосланцевого метаморфизма (ЗС₃) с реликтами зеленокаменного метаморфизма вулканитов. Уктусский массив метаги-

пербазитов (южная часть площади) представлен породами, претерпевшими симатический (фемический) плутонометаморфизм от гранулитовой и амфиболитовой фаций в центре до эпидот-амфиболитовой фации на периферии (ФД₂). Гипербазиты (серпентиниты), окружающие Шарташский гранитный массив (см.

рис. 1) изменены на уровне эпидот-амфиболитовой фации симатического плутонометаморфизма (ΦS_1). Свердловский синклиорий на западе через систему Верх-Исетских разломов граничит с Верхотурско-Верх-Исетским мегантиклиорием, представленным южно-восточным сателлитом одноименного массива гранитоидов, прорывающим Балтымский габбровый массив. На северо-востоке синклиорий через систему разломов граничит с Мурзинско-Адуйским антиклиорием, горные породы которого пережили сиалический плутонометаморфизм на уровне амфиболитовой фации. В экзоконтактах массивов гранитоидов вмещающие горные породы подверглись контактовому метаморфизму на уровне эпидот-амфиболитовой (амфибол-эпидот-роговиковой) фации. Автометасоматические изменения в массивах интрузивных горных пород: в гранитах – калишпатизация, окварцевание, мусковитизация, в габброидах – уралитизация, в гипербазитах – серпентинизация. Рудоносные метасоматические формации представлены широко распространенными ареалами листовенит-березитовой формации ($ЛБС_2$), формации кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов ($КХС_1$). Локально проявлены гумбеиты в пределах Шарташского массива и тальк-карбонатные метасоматиты в серпентинитах S_1 .

Березовское золоторудное месторождение жильного типа расположено на северной периферии Шарташского гранитного массива во вмещающих горных породах кровли его экзоконтакта (рис. 2). Оно является первым золоторудным месторождением России, открыто крестьянином деревни Шарташ Ерофеем Марковым в 1745 г. и до сих пор является действующим градообразующим объектом. Рудные жилы месторождения сопровождаются ореолами березитов и листовенитов. Березиты формируются по дайкам гранит-порфиров и имеют состав: кварц + серицит (мусковит) + карбонат (анкерит, доломит) + пирит. По порфиритам и серпентинитам образуются серые (с хлоритом) и зеленые (с фукситом) листовениты состава: кварц + хлорит (фуксит) + карбонат (доломит, браннерит) + пирит.

Рудное поле Березовского месторождения своим юго-западным и западным флангом примыкает к городской черте г. Екатеринбурга. Его разработка подземным способом длится уже 270 лет. В пределах рудного поля, по данным краеведческого музея г. Березовского, пройдены десятки шахт и глубоких шурфов, документация по которым не сохранилась. Ее отсутствие серьезно осложняет работы изыскателей при изучении инженерно-геологических условий и строителей.

Гумбеиты слабозолотоносных кварцевых жил Шарташского массива гранитоидов сложены микроклином (29 %), серицитом (33 %) с примесью карбоната (анкерита) и пирита (1,5 %). Остальной объем породы представлен реликтовыми минералами исходных гранодиорит-порфиров (плагиоклаз, кварц).

Кварц-хлорит-серицитовые метасоматиты на Урале контролируют локализацию колчеданных месторождений в горных породах базальтового состава S-D возраста. На рассматриваемой территории колчеданных месторождений не выявлено. На Среднем Урале медно-колчеданные месторождения относятся к типу метаморфизованных. В окружении Екатеринбурга на расстоянии 15–60 км известны отработанные промышленные месторождения Дегтярское, Пышминско-Ключевское (Верхняя Пышма), Калотинское (Кировград), рудопроявления Первоуральского и Полевского районов. В обобщающем виде зональность месторождений (по составу рудоносных пород) выглядит следующим образом: кварц-хлорит-эпидотовые сланцы (по пропилитам) – кварц-хлоритовые сланцы – кварц-хлорит-серицитовые сланцы – кварц-серицитовые сланцы. В метасоматитах и сланцах постоянно присутствует пирит в количестве 1–5 % и более.

Под термином *тальк-карбонатные породы* объединены метасоматиты тальк-магнезитовой формации: тальк-магнезитовые, тальк-хлоритовые метасоматиты, талькиты (тальк, хлорит, карбонат). Последний представлен магнезитом, доломитом, кальцитом, брейнеритом. Тальк-карбонатные метасоматиты развиваются в гипербазитах (серпентинитах)

под влиянием сиалического плутонометаморфизма либо под воздействием постгранитных флюидно-гидротермальных процессов. Оталькование развивается в краевых частях линзовидных тел гипербазитов, согласных со складчатостью, или внутри них по зонам рассланцевания, трещиноватости и дробления. Ближайшим к городу является крупное Шабровское месторождение талька и талькового камня.

Флюидно-гидротермальные процессы существенно преобразуют состав и свойства горных пород коренной основы, что влияет на их физико-механические свойства. Метасоматические горные породы представляют собой тип горных пород, в большей части не-

устойчивых в зоне гипергенеза [7, 8].

Вещественные инженерно-геологические комплексы в нашем понимании – массивы горных пород коренной основы и перекрывающие их покровные отложения различных генетических типов со свойственными им инженерно-геологическими характеристиками: составом, структурой, текстурой и свойствами [9].

На территории г. Екатеринбурга горные породы коренной основы представлены разнообразными сланцами, базальтовыми, андезибазальтовыми порфиритами и их туфами, гранитами, габбро и гипербазитами. Некоторые физико-механические свойства коренных пород отражены в табл. 1.

Таблица 1

Плотность и предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии горных пород коренной основы г. Екатеринбурга [1]

Горные породы	$\rho, \text{ г/см}^3$			$R_{c \text{ вод.}} \text{ МПа}$		
	$\frac{X_{\text{min}} - X_{\text{max}}}{X_{\text{cp}}}$	n	V	$\frac{X_{\text{min}} - X_{\text{max}}}{X_{\text{cp}}}$	n	V
Граниты малопрочные	$\frac{2,52-2,70}{2,60}$	16	0,02	$\frac{5,3-19,8}{10,8}$	70	0,25
Граниты прочные и очень прочные	$\frac{2,53-2,77}{2,67}$	21	0,03	$\frac{50,4-124,2}{71,9}$	96	0,23
Габбро малопрочные	$\frac{2,68-3,72}{2,87}$	19	0,08	$\frac{5,5-14,7}{8,6}$	115	0,23
Габбро прочные и очень прочные	$\frac{2,89-2,92}{2,90}$	3	0,00	$\frac{37,8-106,8}{69,8}$	53	0,26
Серпентинит малопрочный	$\frac{2,32-2,44}{2,40}$	11	0,01	$\frac{6,1-14,2}{9,9}$	45	0,10
Серпентинит прочный	$\frac{2,57-2,75}{2,67}$	24	0,03	$\frac{50,4-86,3}{66,7}$	16	0,27
Порфириты малопрочные	$\frac{1,75-2,84}{2,55}$	22	0,11	$\frac{5-13,7}{6,0}$	55	0,27
Порфириты прочные и очень прочные	$\frac{2,69-3,01}{2,88}$	10	0,04	$\frac{51,6-157,9}{98,2}$	26	0,30
Сланцы малопрочные	$\frac{2,53-2,84}{2,70}$	6	0,05	$\frac{5,1-12,7}{7,7}$	24	0,23
Сланцы прочные и очень прочные	$\frac{2,70-2,89}{2,82}$	6	0,03	$\frac{52,6-90,9}{70,7}$	13	0,21

ρ – плотность пород, $R_{c \text{ вод.}}$ – предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии; n – количество определений; V – коэффициент вариации.

Ведущая роль среди покровных образований (элювиальных, делювиальных, аллювиальных, озерно-болотных и техногенных) (рис. 3) принадлежит корам химического вы-

ветривания. Первая сводная характеристика элювиальных грунтов приведена в кандидатской диссертации Л. И. Подкорытовой в 1984 г. [10]. Ею выделены 3 морфологических

типа кор выветривания: площадной, трещинно-площадной и контактово-площадной. В разрезе коры выветривания гидрослюдисто-монтмориллонитового профиля обособлены

трещинная, обломочная и дисперсная зоны, разделенные, в свою очередь, на горизонты. Наиболее мощные коры сформировались на сланцах невянской свиты с дисперсной зо-

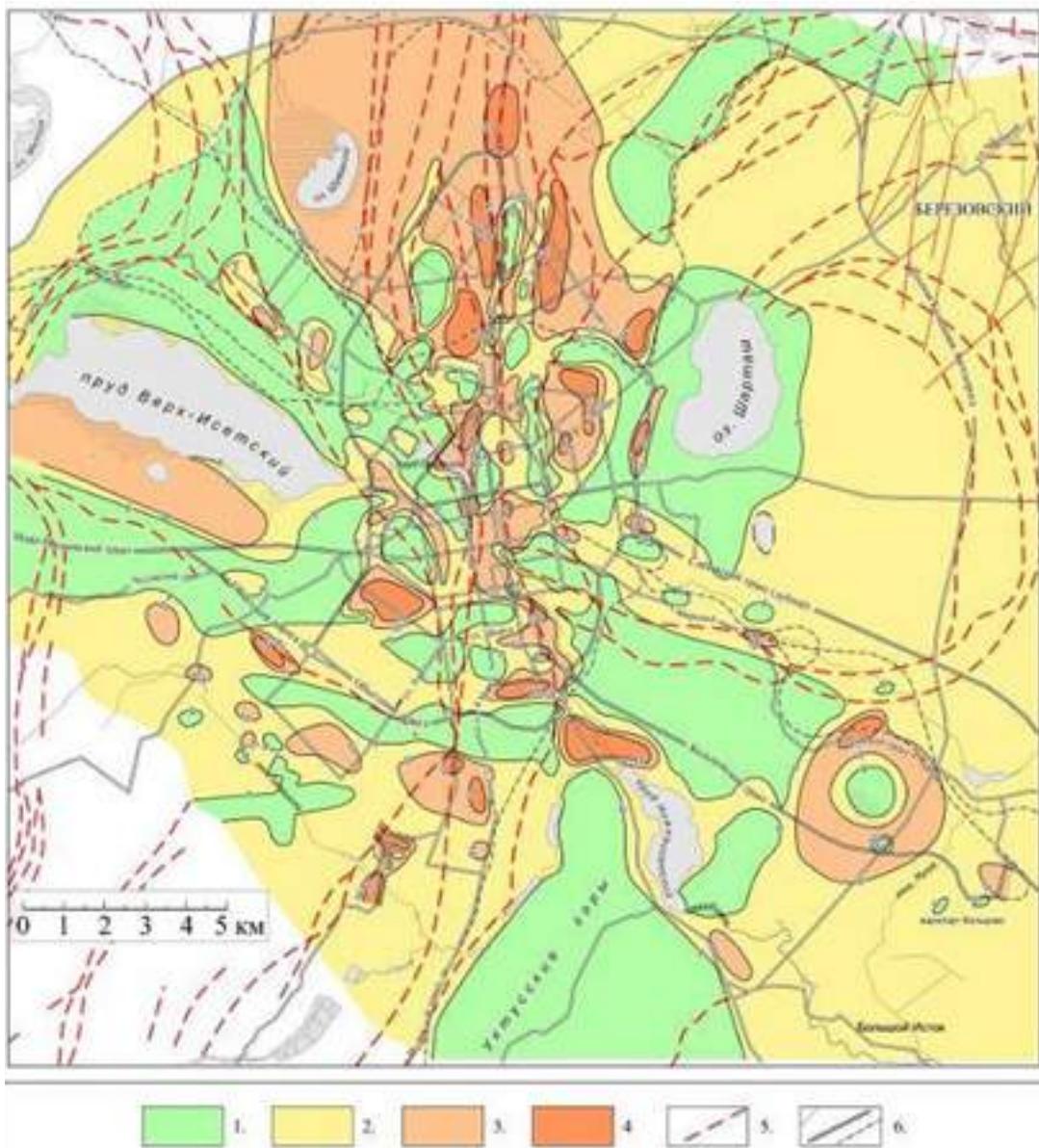


Рис. 3. Схема совокупной мощности грунтов чехла коры выветривания, четвертичных отложений и техногенных насыпных грунтов (мощности грунтов второй категории по сейсмическим свойствам по классификации СНиП II-7-81*) на территории Екатеринбурга, м (сост. Гуляев А. Н., Институт геофизики УрО РАН, 2015 г., по данным инженерно-геологических изысканий, выполненных различными организациями на территории города. Компьютерная графика Михайловой Н. В.):

1-4 – участки, в пределах которых совокупная мощность грунтов чехла коры выветривания, четвертичных отложений и техногенных насыпных грунтов (грунтов второй категории по сейсмическим свойствам по классификации СНиП II-7-81*) составляет 1 – менее 5 м, 2 – от 5 до 10 м, 3 – от 10 до 15 м, 4 – более 15 м; 5 – разломы, отраженные на Государственной геологической карте СССР масштаба 1:200 000. Серия Среднеуральская. Лист О - 41- XXV, сост. Кузовковым Г. Н., Двоглазовым Д. А., Вагшалем Д. С., ред. Рапорт М. С., НПО «Уралгеология», 1987; 6 – улицы, дороги, железные дороги

ной 10–18 м и эффузивах кировградской свиты с дисперсной зоной мощностью от 1–15 до 50 м. На габбро Балтымского массива

кора выветривания неполного профиля имеет меньшую мощность при дисперсной зоне 3–8 м супесчаного и суглинистого состава. На

Физико-механические свойства грунтов дисперсной и обломочной зон коры выветривания горных пород коренной основы г. Екатеринбург

Показатели свойств	Сланцы						Порфирилы						Граниты						Габбро											
	Суглинок			Щебенистый грунт			Суглинок			Щебенистый грунт			Суглинок			Щебенистый грунт			Суглинок			Щебенистый грунт								
	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	<i>V</i>	<i>n</i>	<i>x_{ср}</i>	
<i>P_d</i> , г/см ³	31	1,99	0,01	12	2,21	0,07	8	2,07	0,05	11	2,09	0,04	7	2,39	0,14	12	2,03	0,04	25	1,96	0,06	28	2,06	0,08	33	2,01	0,02	12	2,14	0,03
<i>P_{ср}</i> , г/см ³	31	1,60	-	5	1,83	-	-	-	-	11	1,71	-	8	2,09	-	12	1,66	-	17	1,66	-	11	1,68	-	33	1,71	-	12	1,92	-
<i>P_p</i> , г/см ³	31	2,83	-	11	2,84	-	4	2,78	-	11	2,82	-	8	2,83	-	12	2,86	-	25	2,77	-	11	2,68	-	33	2,81	-	12	2,94	-
<i>W_d</i> , д. е.	31	0,25	0,03	16	0,11	-	4	0,19	-	20	0,22	0,05	18	0,12	-	12	0,22	0,08	27	0,19	0,04	23	0,10	-	34	0,18	0,03	19	0,12	-
<i>W_p</i> , д. е.	31	0,40	-	15	0,27	-	9	0,32	-	11	0,37	-	13	0,27	-	12	0,35	-	30	0,29	-	30	0,26	-	36	0,32	-	19	0,27	-
<i>W_p</i> , д. е.	31	0,26	-	15	0,18	-	9	0,25	-	11	0,26	-	13	0,18	-	12	0,26	-	30	0,24	-	30	0,21	-	36	0,23	-	19	0,20	-
<i>I_p</i> , д. е. д.	31	0,14	-	17	0,08	-	9	0,07	-	11	0,10	-	13	0,08	-	12	0,08	-	30	0,06	-	34	0,04	-	36	0,09	-	19	0,07	-
<i>n</i> , %	31	44	-	11	32	-	4	40	-	11	40	-	7	33	-	12	42	-	25	40	-	10	35	-	33	39	-	12	35	-
<i>e</i> , д. е.	31	0,78	-	11	0,47	-	4	0,66	-	11	0,66	-	7	0,49	-	12	0,73	-	25	0,69	-	10	0,55	-	33	0,65	-	12	0,53	-
<i>φ</i> , град	24	22	0,20	-	-	-	-	-	-	10	26	0,16	-	-	-	5	25	0,17	16	29	0,11	3	35	0,12	25	23	0,12	-	-	-
<i>C</i> , МПа	23	0,042	0,26	-	-	-	-	-	-	10	0,045	0,20	-	-	-	5	0,036	0,23	16	0,031	0,42	3	0,030	0,22	23	0,030	0,28	-	-	-
<i>E</i> , МПа	23	4,8	0,46	-	-	-	-	-	-	7	3,9	0,13	-	-	-	6	4,5	0,32	14	5,0	0,31	5	4,9	0,30	25	4,9	0,26	-	-	-
Гранулометрический состав, мм		27		5		1					71						27		5				5		7				1	
		40		13		4					0						0		15				6		28				9	
		17		21		15		10		11	14		22	16		4	22		43			60	30		55			21		
		10		30		14		14			12		18	18			33		29				34		7			17		
		6		31		66		66			2		54	54			18		9				25		2			52		

P – плотность грунта, *P_d* – плотность сухого грунта, *P_s* – плотность минеральной части, *W* – влажность, *W_L* – влажность на границе текучести, *W_p* – влажность на границе раскатывания, *I_p* – число пластичности, *φ* – коэффициент пористости, *e* – пористость, *n* – пористость, *φ* – коэффициент пористости, *φ* – угол внутреннего трения, *E* – модуль деформации. Грансостав грунтов по фракциям в %.

Физико-механические свойства дисперсных грунтов г. Екатеринбург

Вид грунта	Плотность, г/см ³	Влажность, д. е.	Пористость, %	Коэфф. пористости, д. е.	Предел текучести, д. е.	Предел раскатывания, д. е.	Число пластичности, д. е.	Компр. модуль общей деформации, МПа	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа
<i>Элювиальные грунты по границам</i>										
Суглинки	1,77–2,18 ^а 2,04 (28)	0,102–0,522 0,228 (34)	31,0–48,76 41,5 (29)	0,449–0,951 0,709 (29)	0,235–0,672 0,393 (39)	0,164–0,414 0,291 (39)	0,070–0,167 0,102 (39)	2,1–5,4 3,6 (13)	13–29 24 (11)	0,013–0,063 0,038 (11)
Супеси	1,76–2,16 2,00 (8)	0,133–0,245 0,190 (8)	32,9–43,46 38,1 (8)	0,490–0,770 0,623 (8)	0,246–0,335 0,295 (7)	0,181–0,295 0,237 (7)	0,026–0,067 0,058 (7)	4,5–8,3 6,4 (2)	21–32 27 (2)	0,023–0,030 0,026 (2)
<i>Элювиальные грунты по метаморфическим горным породам</i>										
Глины	1,69–2,09 1,86 (25)	0,160–0,475 0,348 (26)	41,5–60,0 51,0 (25)	0,711–1,530 1,063 (25)	0,430–0,650 0,566 (26)	0,253–0,457 0,340 (26)	0,171–0,300 0,226 (26)	1,9–5,9 3,0 (17)	15–31 21 (18)	0,020–0,063 0,035 (17)
Суглинки	1,71–2,18 1,98 (31)	0,112–0,470 0,274 (34)	29,6–59,7 42,9 (31)	0,420–1,375 0,771 (31)	0,270–0,690 0,427 (34)	0,180–0,530 0,305 (34)	0,071–0,160 0,123 (34)	2,6–6,3 4,6 (17)	17–28 24 (23)	0,023–0,060 0,035 (22)
<i>Элювиальные грунты по габрро</i>										
Суглинки	1,78–2,18 2,01 (10)	0,180–0,273 0,222 (10)	37,5–49,2 42,6 (10)	0,600–0,970 0,749 (10)	0,348–0,580 0,384 (10)	0,233–0,333 0,300 (10)	0,071–0,194 0,094 (10)	1,9–6,5 4,2 (9)	24–39 30 (9)	0,018–0,067 0,046 (8)
Супеси	1,90–2,35 2,07 (15)	0,098–0,190 0,145 (16)	27,6–43,6 36,0 (15)	0,382–0,773 0,572 (15)	0,262–0,424 0,334 (18)	0,212–0,343 0,284 (18)	0,020–0,073 0,049 (16)	5,3–11,8 4,1 (13)	21–45 35 (8)	0,010–0,097 0,055 (8)
<i>Делювиальные грунты</i>										
Глины	1,94–2,17 2,00 (11)	0,200–0,296 0,255 (11)	36,7–46,8 42,8 (11)	0,579–0,881 0,753 (11)	0,373–0,523 0,440 (11)	0,190–0,305 0,238 (11)	0,173–0,260 0,203 (11)	3,3 (2)	16–25 20 (5)	0,022–0,040 0,031 (5)
Суглинки	1,81–2,16 2,05 (17)	0,155–0,270 0,221 (18)	33,8–44,1 38,3 (17)	0,511–0,788 0,619 (18)	0,230–0,395 0,331 (18)	0,156–0,259 0,212 (18)	0,070–0,152 0,118 (18)	3,0–7,4 4,7 (7)	17–29 23 (10)	0,020–0,053 0,036 (9)
<i>Аллювиальные грунты</i>										
Глины	1,57–2,09 1,91 (12)	0,190–0,696 0,326 (13)	35,6–59,6 45,6 (12)	0,554–1,474 0,863 (12)	0,360–0,822 0,476 (13)	0,174–0,474 0,248 (13)	0,180–0,348 0,228 (13)	1,2–3,3 2,2 (2)	14–22 19 (9)	0,009–0,047 0,027 (9)
Суглинки	1,81–2,23 2,02 (18)	0,160–0,310 0,221 (20)	29,5–50,9 39,3 (18)	0,423–1,040 0,670 (18)	0,220–0,450 0,306 (20)	0,130–0,244 0,180 (20)	0,097–0,170 0,120 (20)	2,2–6,7 4,2 (10)	13–27 22 (14)	0,010–0,050 0,030 (14)
<i>Озерно-болотные грунты</i>										
Торф	0,94–1,18 1,01 (12)	1,056–4,950 3,599 (15)	73,5–89,8 85,1 (10)	2,777–8,098 6,274 (10)				0,10–0,21 0,14 (4)	19–27 22 (4)	0,007–0,021 0,011 (4)
Суглинки и глины	1,78–2,07 1,94 (28)	0,130–0,530 0,300 (29)	33,2–53,0 44,7 (28)	0,498–1,118 0,829 (28)	0,170–0,610 0,378 (30)	0,110–0,338 0,216 (30)	0,108–0,280 0,161 (30)	1,7–5,9 2,7 (10)	9–27 17 (16)	0,021–0,033 0,028 (15)

X) min – max
C(n)

гранитах Верх-Исетского и Шарташского массивов кора выветривания сложена в основном обломочным материалом при мощности дресвяного горизонта до 40 м и дисперсной зоне 0–5 м супесчаного состава. Физико-механические свойства малопрочных грунтов зоны экзогенной трещиноватости коры выветривания горных пород коренной основы приведены в табл. 1, а обломочной и дисперсной зон – в табл. 2. Физико-механические свойства дисперсных грунтов элювиальных, делювиальных, аллювиальных, озерно-болотных отложений г. Екатеринбурга, по данным О. Н. Овечкиной, отражены в табл. 3. С позиций благоприятности ИГУ строительства наилучшие условия свойственны скальным породам, не нарушенным разломными дислокациями. На площадях развития кор выветривания наиболее благоприятными являются элювиальные образования на гранитах, а наименее благоприятными – элювиальные грунты на сланцах невянской свиты и порфиритах кировградской свиты.

Природные геологические процессы – важный компонент ИГУ г. Екатеринбурга. Остановимся на главных, определяющих условиях современного высотного и подземного строительства. К ним относятся сейсмические процессы и выветривание.

Сейсмические процессы. Уральский складчатый пояс на современном этапе характеризуется редко происходящими ощутимыми землетрясениями силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64, большая часть эпицентров которых локализована в пределах Среднего Урала и прилегающих к нему частей Северного и Южного Урала [12, 13]. Екатеринбург располагается в пределах Средне-Уральской области редко происходящих ощутимых землетрясений, названной в работе [14] Средне-Уральским сейсмодоменом и охватывающей пограничную зону Камско-Башкирского мегасвода Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и субмеридионального вендско-герцинского Уральского горно-складчатого пояса.

За период 1788–2014 гг. в пределах Средне-Уральского сейсмодомена было отмечено 43 ощутимых землетрясения силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 в эпицентрах [12, 13]. Из них лишь одно природное событие – Билимбаевское землетрясение 17.08.1914 г.

– имело в эпицентре силу 6 баллов. Магнитуда этого события по результатам инструментальных наблюдений оценивается в 4,5–5 баллов. Очаги большей части ощутимых землетрясений Среднего Урала локализованы предположительно в породах дорифейского кристаллического фундамента на глубинах от первых километров до 25 км.

На территории Екатеринбурга, согласно [14], ощутимые сейсмические сотрясения за период продолжительностью 225 лет отмечались три раза: 23.05.1798 силой 3–4 балла, 10.07.1892 г. силой 3 балла, и 17.08.1914 силой порядка 5 баллов по шкале MSK-64.

До 1997 года Средний Урал относился к регионам, где при проектировании инженерных сооружений сила возможного сейсмического воздействия не учитывалась. В 1997 году по результатам Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97 [15, 16] Средний Урал и прилегающие к нему части Южного и Северного Урала были отнесены к районам, где при проектировании и строительстве инженерных сооружений необходимо учитывать сейсмичность – величину расчетной силы сейсмического воздействия. Согласно результатам ОСР-97 и результатам районирования центральной части Уральского региона по величине расчетной силы сейсмического воздействия [17] Екатеринбург располагается в восточной части потенциально сейсмичной области. Поэтому актуальной стала задача сейсмического районирования территории города и районов его перспективной застройки.

В 2007 году выполнено схематическое районирование территории Екатеринбурга по величине расчетной силы сейсмического воздействия на инженерные сооружения с использованием собранных и обобщенных данных геолого-съемочных работ [17], инженерно-геологических изысканий, проведенных на территории города различными организациями. Позднее эта схема была уточнена [18]. К грунтам первой категории по сейсмическим свойствам, согласно классификации СНиП II –7-81*, отнесены слабо выветрелые скальные горные породы коренной основы со скоростью продольных сейсмических волн от 1,0–1,5 до 3,0–4,0 км/с и соответствующими

физико-механическими свойствами. К грунтам второй категории отнесены рыхляки и дисперсные грунты коры выветривания, покровных отложений и техногенные грунты со

скоростью продольных сейсмических волн от 0,3–0,7 до 1,0–1,5 км/с и соответствующими физико-механическими свойствами (рис. 4).

Выветривание – многофакторный про-

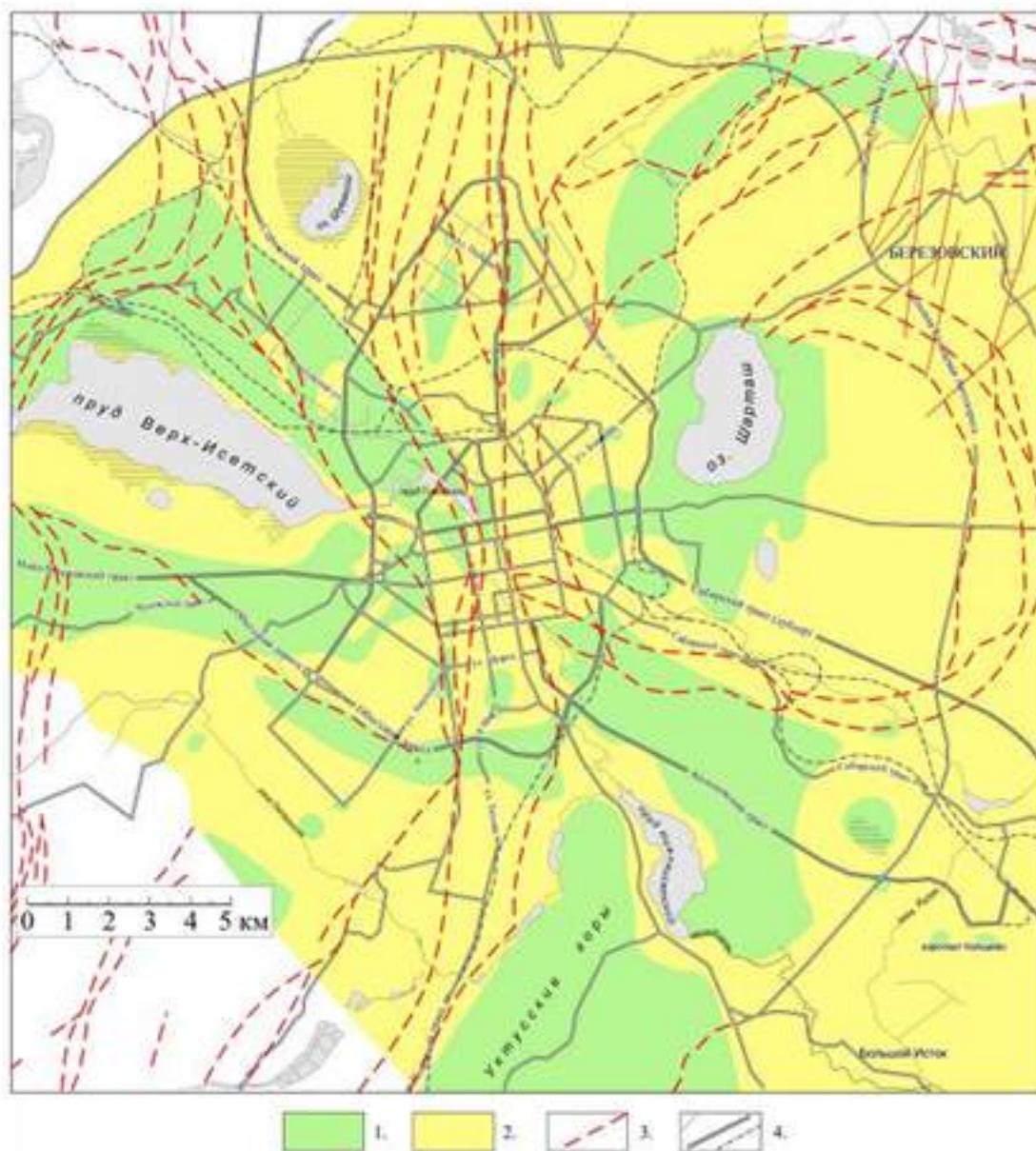


Рис. 4. Схема районирования Екатеринбурга по величине расчетной силы сейсмического воздействия (сост. Гуляев А. Н., Институт геофизики УрО РАН, 2015 г., компьютерная графика Михайловой Н. В.): 1 – участки преимущественного развития грунтов первой категории по сейсмическим свойствам по классификации СНиП II–7–81* (в их пределах величина расчетной силы сейсмического воздействия оценивается: а) на объекты основного строительства в плане сейсмобезопасности в 4 балла по шкале MSK-64 с пиковыми ускорениями движения грунта в 13 см/с² по шкале MSK-64 и по шкале SHA-97; б) на объекты повышенной ответственности в плане сейсмобезопасности в 5 баллов по шкале MSK-64 с пиковыми ускорениями движения грунта в 25 см/с² по шкале MSK-64 и 28 см/с² по шкале SHA-97; в) на особо ответственные объекты в плане сейсмобезопасности в 7 баллов по шкале MSK-64 с пиковыми ускорениями движения грунта в 100 см/с² по шкале MSK-64 и 129 см/с² по шкале SHA-97); 2 – участки преимущественного развития грунтов второй категории по сейсмическим свойствам по классификации СНиП II–7–81* (в их пределах величина расчетной силы сейсмического воздействия оценивается: а) на объекты основного строительства в плане сейсмобезопасности в 5 баллов по шкале MSK-64 с пиковыми ускорениями движения грунта в 25 см/с² по шкале MSK-64 и 28 см/с² по шкале SHA-97; б) на объекты повышенной ответственности в плане сейсмобезопасности в 6 баллов по шкале MSK-64 с пиковыми ускорениями движения грунта в 50 см/с² по шкале MSK-64 и 60 см/с² по шкале SHA-97; в) на особо ответственные объекты в плане сейсмобезопасности в 8 баллов по шкале MSK-64 с пиковыми ускорениями движения грунта в 200 см/с² по шкале MSK-64 и 277 см/с² по шкале SHA-97); 3 – разломы, показанные на Государственной геологической карте СССР масштаба 1:200 000. Серия Среднеуральская. Лист О - 41-XXV, Свердловск, 1987. Авторы карты: Кузовков Г. Н., Двоеглазов Д. А., Вагшалъ Д. С., редактор карты Рапопорт М. С.; 4 – улицы, дороги, железные дороги.

цесс, активно протекающий повсеместно на территории г. Екатеринбурга. Проявляется как процесс физического и химического выветривания. Дезинтеграция горных пород и минеральные замещения являются основой образования рыхлых отложений всех генетических типов. На горно-складчатом Урале коры химического выветривания, согласно А. П. Сигову и Л. А. Гузовскому [19], формировались в три тектоно-климатических этапа: нижнемезозойский (Т- J_1), верхнемезозойский – палеогенный (средняя юра – нижний олигоцен (J_2 - P_1 и верхнепалеогеновый (средний – верхний олигоцен (P_3^{2-3})). Плиоцен-четвертичный (N_2 - Q_3) этап отличается повсеместным проявлением физического выветривания. При эрозионном вскрытии кор химического выветривания происходило наложение более поздних процессов. В этой связи коры выветривания на современном эрозионном срезе, по сути, представляют собой полигенетические образования [9].

Гидрогеологические условия территории города связаны с широким развитием подземных вод зоны экзогенной трещиноватости и трещинно-жильных вод, гидравлически взаимосвязанных и образующих единый водоносный горизонт. Воды безнапорные. Глубина залегания уровня подземных вод (УПВ) от 0 до 5–10 м в пониженных частях рельефа и до 20–50 м в элювиальных ландшафтах. Режим подземных вод – нарушенный под влиянием городской застройки, эксплуатации групповых и одиночных водозаборных скважин. Воды по составу сульфатно-гидрокарбонатные, хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные кальций-магниевого, нередко с примесью натрия; в большинстве скважин загрязнены и непригодны для питьевых целей.

Техногенные факторы, ответственные за трансформацию инженерно-геологических условий г. Екатеринбурга, можно объединить в 5 групп: 1) промышленного техногенеза; 2) сельскохозяйственного техногенеза; 3) урбанизации территории; 4) техногенных и техноприродных геологических процессов; 5) техногенного химического и радиоактивного загрязнения окружающей среды [20].

Промышленный техногенез охватывает совокупность процессов, происходящих в окружающей среде в связи с производственной деятельностью промышленных предприятий, приводящей к трансформации ее состояния и свойств. Екатеринбург – крупный промышленный центр Российской Федерации. Здесь сосредоточены многочисленные заводы, фабрики, предприятия различной отраслевой принадлежности – Уралмаш, Эльмаш, Химмаш, Турбомоторный, Компрессорный, Транспортного машиностроения, предприятия горнопромышленного профиля (метрополитен, карьер отработанного Елизаветинского месторождения железа коры выветривания, гранитные карьеры Шарташский, Сибирский) и многие другие. Промышленный техногенез оказывает негативное экологическое воздействие на все компоненты окружающей среды через выбросы в атмосферу, промышленные и сопутствующие стоки, твердые отходы, техногенные и техноприродные геологические процессы.

Сельскохозяйственный техногенез активно воздействует на почвы, поверхностные и подземные воды химическими и органическими удобрениями, пестицидами в бывшем пригородном совхозе Свердловский, многочисленных садово-дачных кооперативах, на приусадебных участках частного сектора.

Урбанизация территории – важнейший фактор интенсивного техногенного воздействия на окружающую среду. Город с более чем 1350 тыс. жителей оказывает существенное влияние на трансформацию естественных природных условий через техногенное изменение природных ландшафтов, антропогенный литогенез, атропогенное и гидрогенное загрязнение среды, размещение твердых бытовых отходов, температурное, звуковое, вибрационное воздействие на человека, функционирование селитебных, промышленных, рекреационных зон с их инфраструктурой, внутреннего и внешнего транспорта и пр.

Техногенные и техноприродные геологические процессы. К числу техногенных процессов в г. Екатеринбурге относятся: гидролитогенные процессы, наведенные сей-

смические процессы, субтерральные процессы и антропогенный литогенез.

Гидролитогенные процессы связаны с понижением – повышением УПВ. Понижение УПВ и образование воронок депрессии при дренажных работах сопровождает строительство метро в г. Екатеринбурге, высотное строительство с многоуровневыми подземными сооружениями, на водозаборах подземных вод районного водоснабжения и промышленных предприятий. При водопонижении вдоль трассы метро, на отдельных относительно крупных водозаборах длительного действия активизировались процессы суффозии, просадки поверхности, деформации зданий и инженерных сооружений. Повышение УПВ обусловлено строительством плотин 4 прудов в городской черте, утечками водонесущих коммуникаций. Это провоцирует процессы суффозии, подтопление подвальных помещений, деформации зданий вследствие изменения свойств обводненных грунтов оснований фундаментов.

Наведенные землетрясения слабой интенсивности могут возбуждаться взрывными работами при проходке перегонных тоннелей метро, подземных и открытых горных выработок специального назначения и других сооружений в скальных массивах, изменением напряженно-деформированного состояния массивов при высотном строительстве.

Субтерральные процессы при подземном строительстве проявляются осыпанием, вывалами, обрушением горных пород, прорывами подземных вод и плывунов.

Антропогенный литогенез – широко распространенный процесс в ходе освоения городских территорий. Насыпные грунты – постоянный компонент городского строительства, санкционированного и несанкционированного складирования отходов.

Техноприродные процессы представляют обширную группу техногенного активизированных экзогенных геологических процессов: выветривание, эрозионные процессы, суффозия, гравитационные процессы, подтопление территорий.

Химическое и радиоактивное загрязнение

окружающей среды. Источники загрязнения окружающей среды г. Екатеринбурга: выбросы в атмосферу, промышленные, хозяйственно-бытовые, поливо-мочные, ливневые стоки, промышленные и бытовые твердые отходы. *Химическое загрязнение среды* от различных источников формирует локальное, а в совокупности площадное загрязнение городской территории. В качестве загрязнителей выявлены Zn, Cu, Cd, As, Pb, Hg, Ag, Sn, Cr, Ni, W, углеводороды. Особенность всех отходов в преимущественном накоплении технофильных химических элементов. Состав выбросов в атмосферу, стоков и твердых отходов зависит от геохимической специализации продуктов производства. Транспортные выбросы определяются качеством топлива и геохимическими особенностями жидких и газообразных углеводородов. Количественное соотношение между промышленными и транспортными выбросами определяются зональностью городской инфраструктуры, загрузкой и состоянием промышленного производства и количеством автотранспорта. По данным Уралгидромета в центральной части г. Екатеринбурга в 1997 г. на долю транспортных выбросов приходилось 70 %, а в 2004 г. – 86 %.

Комплексной геоэкологической съемкой г. Екатеринбурга и прилегающей территории в М 1:50000, выполненной Уральской опытно-методической и Уральской гидрогеологической экспедициями ПГО «Уралгеология» в 1993–1995 гг. выявлено опасное загрязнение почв в пределах застроенной территории города на уровне $Z_c \geq 32$ с серией локальных аномалий в границах $Z_c = 64–128$. Подземные воды города отличаются пестрым составом макрокомпонентов с очаговым загрязнением нефтепродуктами и «тяжелыми» металлами. Последующее специализированное опробование почв методом «ключевых участков» на территории города подтвердило их загрязнение «тяжелыми» металлами при изменившемся площадном распределении [21].

Радиоактивное загрязнение почв города связано с Чернобыльским следом, накрывшим Урал в пределах Свердловской области

на широте городов Екатеринбурга и Ивделя. Нашими исследованиями, проведенными в 2002 г. в составе НПЦ «Уралгеопроект», в почвах района Широко-реченского полигона ТБО в спектре фоновой радиоактивности выявлено наличие радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в количестве 10–30 %. Работами А. А. Селезнева в почвах города установлено неоднородное распределение Cs-137. Уровень накопления радионуклида в различных районах города варьирует в пределах 124–540 Бк/кг [21].

Рассмотренные факторы, ответственные за формирование ИГУ, необходимо учитывать при разработке и совершенствовании Генерального плана развития города Екатеринбурга. Для размещения районов массового жилищного строительства наиболее благоприятными являются юго-западные

территории Ленинского района (Широкая речка, Юго-запад, Краснолесье) и западные территории Верх-Исетского района (ВИЗ-правобережный), сложенные в большей части гранитоидами Верх-Исетского массива. В центральной части города точечному высотному строительству должно предшествовать детальное изучение ИГУ участка и анализ сейсмического районирования территории.

Администрации г. Екатеринбурга для получения качественной информации по ИГУ строительства на современном уровне инженерно-геологических исследований и разработки нового Генерального плана развития города необходимо финансировать проведение комплексной инженерно-геологической съемки территории города в масштабе 1:10000 [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерно-геологические условия г. Екатеринбурга как основа разработки и совершенствования Генерального плана развития города / О. Н. Грязнов [и др.] // Сергеевские чтения. Вып. 17. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (19–20 марта 2015 г.). М.: РУДН, 2015. С. 17–24.
2. Ломтадзе В. Д. Словарь по инженерной геологии. СПб: СПбГИ. 1999. 360 с.
3. Попов И. В. Инженерная геология СССР. Т. 1. Общие основы региональной инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1961. 178 с.
4. Трофимов В. Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
5. Капустин В. Г., Корнев И. Н. География Свердловской области. Екатеринбург: Среднеуральское книжное издательство, 1996.
6. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра. 1992. 256 с.
7. Грязнов О. Н. Инженерная петрология метасоматитов // Записки горного института. 2003. Т. 153. С. 140–143.
8. Грязнов О. Н., Гуман О. М., Ворожев А. В. Инженерная петрология метасоматитов медно-колчеданных и скарново-магнетитовых месторождений Урала // Изв. вузов. Горный журнал. № 8. 2013. С. 147–155.
9. Грязнов О. Н. Факторы инженерно-геологических условий Урала. Региональные геологические факторы // Изв. УГГУ. Вып. 3(35). 2014. С. 30–50.
10. Подкорытова Л. И. Инженерно-геологическая характеристика элювия района г. Свердловска: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1984. 17 с.
11. Овечкина О. Н. Оценка и прогноз изменения состояния геологической среды при техногенном воздействии зданий высотной конструкции в пределах города Екатеринбурга: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2013. 24 с.
12. Вейс-Ксенофонтова З. Г., Попов В. В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 12 с. (Труды Сейсмологического института АН СССР. № 104).
13. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы / В. В. Степанов [и др.]. ЦСГНЭО, Москва, 2002. 135 с.
14. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / С. Н. Кашубин [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 124 с.
15. Комплект карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97 масштаб 1:8000000, объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / гл. ред. В. Н. Стахов, В. И. Уломов. М., 1999. 56 с.
16. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмичных районах. СНиП II-7-81*. М.: Госстрой России, 2000.
17. Гуляев А. Н. Районирование центральной части Уральского региона по величине расчетной силы сейсмического воздействия // Изв. вузов. Горный журнал. 2010. № 6. С. 98–105.
18. Гуляев А. Н. Оценка потенциальной сейсмичности территории города Екатеринбурга // Изв. вузов. Горный журнал. 2009. № 6. С. 91–97.
19. Комплексное геолого-геоморфологическое картирование Урала с целью поисков гипергенных полезных ископаемых / А. П. Сигов [и др.]. Свердловск: Изд-во Саратовского ун-та, 1968.
20. Грязнов О. Н. Факторы инженерно-геологических условий Урала. Физико-географические и техногенные

факторы // Изв. УГГУ. Вып. 4(36). 2014. С. 5–18.

21. Селезнев А. А. Эколого-геохимическая оценка состояния урбанизированной среды на основе исследования отложений пониженных участков микрорельефа (на примере г. Екатеринбурга): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2015. 24 с.

Поступила в редакцию 24 июня 2015 г.

Грязнов Олег Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: Gryaznov.O@ursmu.ru

Гуляев Александр Николаевич – ведущий научный сотрудник. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: usc_alex@mail.ru

Рубан Наталья Валентиновна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

Савинцев Иван Андреевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

Черкасов Сергей Александрович – аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.