

УДК 622.834.837: 69.059.22

Усанов Сергей Валерьевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией сдвижения
горных пород,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: usv@igduran.ru

Коновалова Юлия Павловна

научный сотрудник лаборатории
сдвижения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: lisjul@mail.ru

**АВАРИЙНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗДАНИЙ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЕРЕГОННЫХ
ТОННЕЛЕЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ
ТЕРРИТОРИЯХ****Аннотация:*

При строительстве подземных горных выработок периодически происходят аварийные деформации зданий. Приведен анализ результатов инструментальных геодезических наблюдений за деформациями поверхности и зданий при строительстве тоннелей метрополитена в г. Екатеринбурге, в результате которого установлен блочный характер деформирования горного массива и установлены общие закономерности развития деформаций вдоль трассы тоннелей.

Ключевые слова: тоннели, аварии, сдвижение горных пород, деформации, здания, мониторинг, геодинамика, диагностика горного массива, районирование поверхности, негативные факторы

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.104

Usanov Sergey V.

candidate of technical sciences,
the head of the laboratory of rocks displacement,
The Institute of Mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: usv@igduran.ru

Konovалova Yuliya P.

researcher of the laboratory of rocks displacement,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: lisjul@mail.ru

**ACCIDENTAL BUILDINGS'
DEFORMATIONS DURING
CONSTRUCTION DERIVING
TUNNELS IN URBANIZED TERRITORIES***Abstract:*

During subsurface workings construction accidental deformations of buildings periodically take place. The results of instrumental geodetic observations of surface and buildings deformations at subway tunnels construction in Yekaterinburg are cited. The block nature of rock mass deformation is set and the general patterns of deformation processes along the subway tunnels are determined.

Key words: tunnels, accidents, rocks displacement, deformations, buildings, monitoring, geodynamics, rock mass diagnostics, surface zoning, negative factors

Строительство второй линии метрополитена в г. Екатеринбурге необходимо для улучшения транспортной ситуации в центральной части города, чтобы разгрузить улицы широтного направления от транспортного потока. На сегодняшний день ведется разработка проектной документации строительства от станции «Металлургическая», расположенной в Верх-Исетском районе города, до станции «Площадь 1905 года».

Условия строительства характеризуются плотной городской застройкой, наличием разветвленной сети городских коммуникаций по всей трассе строительства проектируемого участка, сложными инженерно-геологическими условиями. Кроме того, по трассе проектируемой линии сосредоточено значительное количество памятников культурного и исторического наследия.

Строительство сооружений и объектов линии будет осуществляться открытым и закрытым способами. Открытым способом в котлованах будут сооружаться тупики трех станций, часть вестибюлей, а также подземные переходы всех станций первого этапа строительства. Закрытым способом сооружаются перегонные тоннели, притоннельные сооружения, стволы и подходные выработки, платформенный участок.

* Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-00324)

Как известно, любые подземные работы сопровождаются процессом сдвижения горных пород и земной поверхности. При определенных условиях данный процесс достигает земной поверхности, оказывая негативное влияние на состояние наземных зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния горных работ. Как показывает зарубежный и отечественный опыт, нередко случаются значительные повреждения конструкций объектов, вплоть до полной потери их эксплуатационных качеств. А крупные аварии при подземном строительстве влекут за собой огромный материальный ущерб и, что самое страшное, приводят к человеческим жертвам. Так, например, обрушение стены шахты строящегося в городе Сан-Паулу метрополитена, имевшей диаметр 40 м и глубину около 30 м, вызвало смещение в котлован значительных земляных масс. Тело обрушения радиусом до 40 м увлекло в котлован нескольких случайных прохожих и микроавтобус с людьми [1].

На сегодняшний день проблеме обеспечения промышленной безопасности при проектировании и строительстве объектов метрополитена уделяется большое внимание, и одним из аспектов этой проблемы является негативное влияние, которое при подземных разработках оказывает процесс сдвижения земной поверхности на окружающую среду. В связи с необходимостью своевременного принятия мер по предотвращению вредных последствий подработки, большое значение имеют исследования, направленные на создание и совершенствование методов прогнозирования сдвижения земной поверхности, вызываемого горнопроходческими работами [2]. Для понимания происходящих процессов и принятия правильных проектных решений необходимо иметь полную информацию об участке строительства и его непосредственном окружении. При этом повышенные требования предъявляются к выполнению инженерно-геологических и гидрогеологических исследований. При изучении массива горных пород особое внимание уделяется таким показателям, как величина горного давления, коэффициент разрыхления, модуль трещиноватости, коэффициент упругого отпора, абразивность, коррозионные свойства, сопротивление отрыву и сдвигу по контактам между слоями и по трещинам, расслаивание, пучение, пловунность и т. д. Особого внимания требуют такие опасные явления, как карст, суффозия, оползни [3]. И, конечно же, при проектировании обязательным должно стать изучение опыта строительства схожих объектов.

Свойства грунтов в Екатеринбурге удалось проследить и оценить в результате проходки перегонных тоннелей и строительства первой очереди метрополитена, которое сопровождалось глубоким (до 30 – 70 м) понижением уровня подземных вод [4]. Так, например, в начальном периоде строительства метрополитена по данным Уральского филиала ВНИМИ, проводившего мониторинг смещения земной поверхности и подрабатываемых зданий и сооружений с 1988 по 2002 год [5], из-за недостаточного учета горно-геологических факторов отмечались большие сдвиги и деформации земной поверхности в виде трещин и провалов, которые имели место, в частности, в зданиях цехов завода «Пластик». Получили повреждения дома на перекрестке улиц Азина – Челюскинцев, где оседание земной поверхности над тоннелями достигло 214 мм. На участке между станциями «Площадь 1905 года» и «Геологическая» максимальные оседания поверхности произошли на территории АБК завода «Русские самоцветы».

Инструментальные маркшейдерские наблюдения за деформациями земной поверхности и зданий в районе строительства тоннелей от станции «Геологическая» до станции «Ботаническая» осуществлялись с 1995 года ООО «Метрострой-ПТС», а с 2010 года проводились с участием Института горного дела УрО РАН. Глубина горных работ на этом участке варьировалась в пределах 5 – 38 м. Горный массив вдоль трассы сложен породами вулканогенного комплекса, подвергшихся метаморфизму. С поверхности в результате выветривания коренные породы подвергались разрушению, в той или иной мере потеряли прочность до полного разрушения и превращены в глинисто-щебенные грунты. По степени выветрелости коренные породы в разрезе трассы разделяются

сверху вниз на дисперсную, обломочную и трещиноватую зоны. Подошва грунтов дисперсной зоны залегает на большом протяжении участка строительства на глубине 6 - 8,5 м. Обломочная зона имеет ограниченное распространение по площади, и ее мощность не превышает нескольких метров. Подошва трещиноватой зоны по разным оценкам залегает на глубине 70 – 100 м. Основная природа трещиноватости – тектоническая. Таким образом, тоннели метрополитена на этом участке располагаются в довольно слабом горном массиве.

На основании анализа инженерных изысканий ОАО «Уралгипротранс» на участке от станции «Ботаническая» до станции «Геологическая» ОАО выделено семь ослабленных зон с неустойчивыми несущими грунтами (рис. 1). Кроме ослабленных зон, по трассе от станции «Ботаническая» до станции «Геологическая» выделены две зоны вертикальных контактов порфиров и туфов основного состава с порфирами среднего и кислого состава.

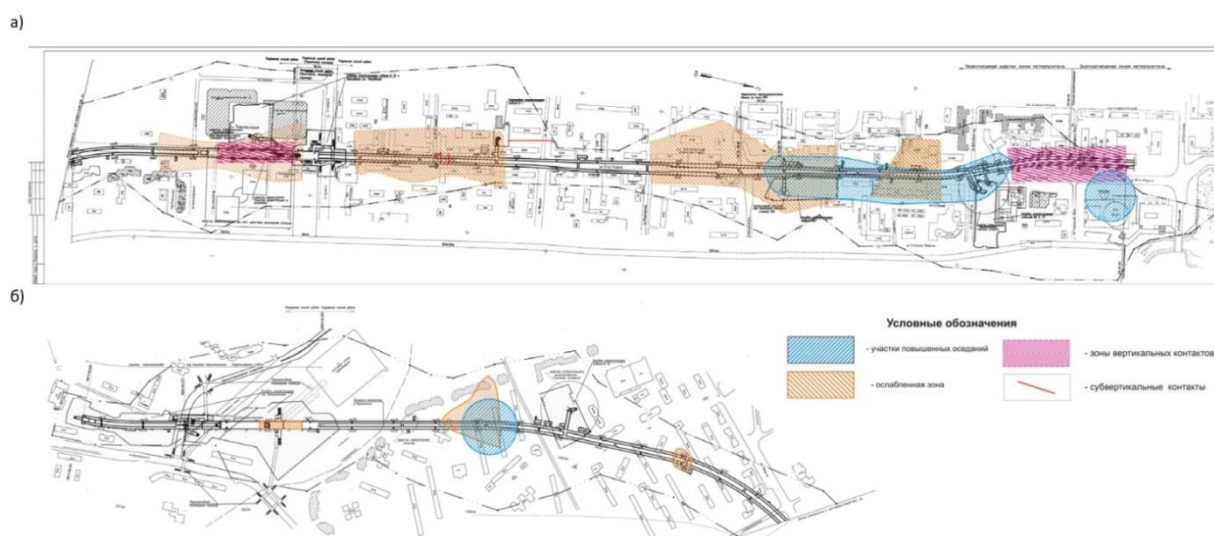


Рис. 1 – Зоны ослабленных грунтов и участки повышенных оседаний на участках:
а) «Геологическая» – «Чкаловская»; б) «Чкаловская» – «Ботаническая»

Принимая во внимание горно-геологические условия участка строительства тоннелей метрополитена от станции «Геологическая» до станции «Ботаническая» с учетом рекомендаций нормативных документов, для построения границ мульды сдвижения от тоннелей метрополитена принят граничный угол сдвижения, равный 45° (рис. 2).

В отстроенные границы мульды сдвижения попали объекты городской многоэтажной застройки, которая состоит из панельных и кирпичных 5-этажных и 9-этажных жилых домов эпохи индустриального домостроения в период с 1960 по 1990 г. и 3 - 4-этажных зданий ранней постройки, из современных высотных 16-этажных и более высоких зданий каркасно-монолитного типа, из объектов социальной инфраструктуры: общественных зданий средней этажности и одноэтажных сооружений пристроенных к жилым домам. При этом к охраняемым объектам в отдельных случаях отнесены также здания, которые расположены за пределами границы мульды сдвижения, но, ввиду возможных аномалий развития процесса сдвижения, выделены в обособленную группу охраняемых объектов по результатам оценки их технического состояния. Основанием для включения послужили отмеченные в результате визуального осмотра повреждения зданий трещинами, образование которых характерно при строительстве подземных выработок. Деформации в этих зданиях могут быть вызваны сдвижением горных пород под воздействием образования депрессионной воронки вокруг тоннелей.

Схема наблюдательной станции за деформациями зданий и сооружений на участке от станции «Геологическая» до станции «Ботаническая» представляла собой двухранговую нивелирную сеть с опорными реперами, находящимися за пределами мульды сдвига (см. рис. 2).

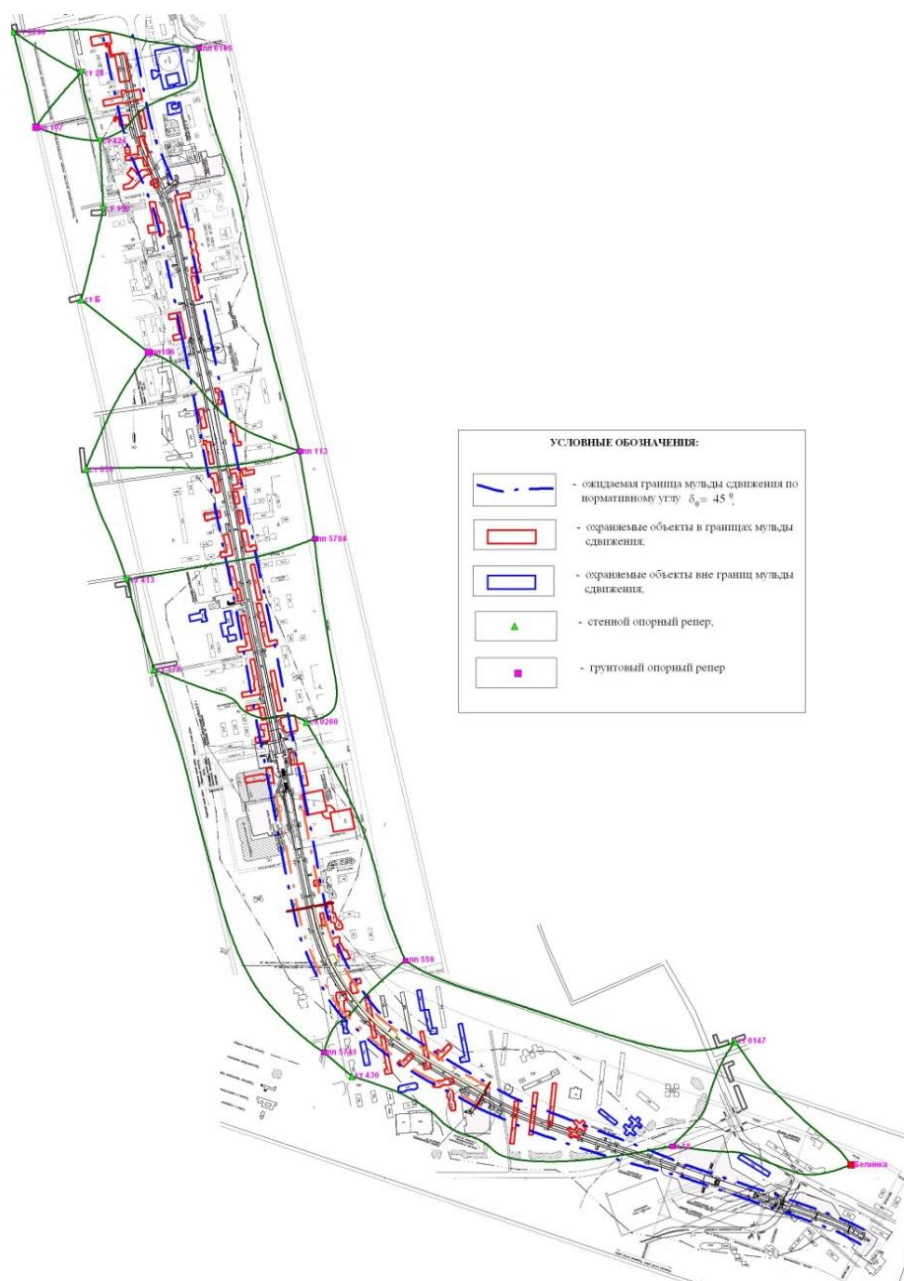


Рис. 2 – Совмещенный план поверхности и подземных выработок метро на участке от станции «Геологическая» до станции «Ботаническая»

По результатам наблюдений на данном отрезке трассы за все время наблюдений выделены три участка с максимальными значениями оседаний: 1) участок в районе Екатеринбургского Цирка (оседания 57 мм); 2) участок по улице 8 Марта от дома № 66 до перекрестка с улицей Большакова № 87 (оседания 38 – 168 мм); 3) участок по улице Чайковского от дома № 88а до дома № 88/3 (оседания 27 – 168) (рис. 1). Участки повышенных оседаний соответствуют зонам ослабленных пород горного массива. Самые большие повреждения получили дома также на этих участках: дом № 92 по улице 8 Марта – трещина на уличной стене с раскрытием около 10 мм на всю высоту здания; дом № 55 на пересечении улиц 8 Марта и Декабристов пришлось укрепить стальными тяжами; выполнено

тампонирование оснований зданий № 88/1, 88/2 по улице Чайковского и цементация швов и укрепление вертикальными поясами по стыкам подъездов и блоков здания № 88/3 по улице Чайковского [6].

Кроме того, по оседаниям зданий вдоль выработок метрополитена было установлено, что от станции «Геологическая» до станции «Ботаническая» массив испытывает как оседания, так и поднятия. Максимальные оседания составляют –168 мм (Чайковского 88/1, 8-е Марта 61), а максимальные поднятия +70 мм (Декабристов 776). Наиболее распространенный интервал со значениями поднятий составляет 5 – 15 мм, а усредненный интервал оседаний составил около –40 мм. По характеру вертикальных сдвижений зданий, подлежащих охране от вредного влияния, на данном участке было выделено пять крупных блоков приблизительно равной протяженности от 600 до 800 м (рис. 3).

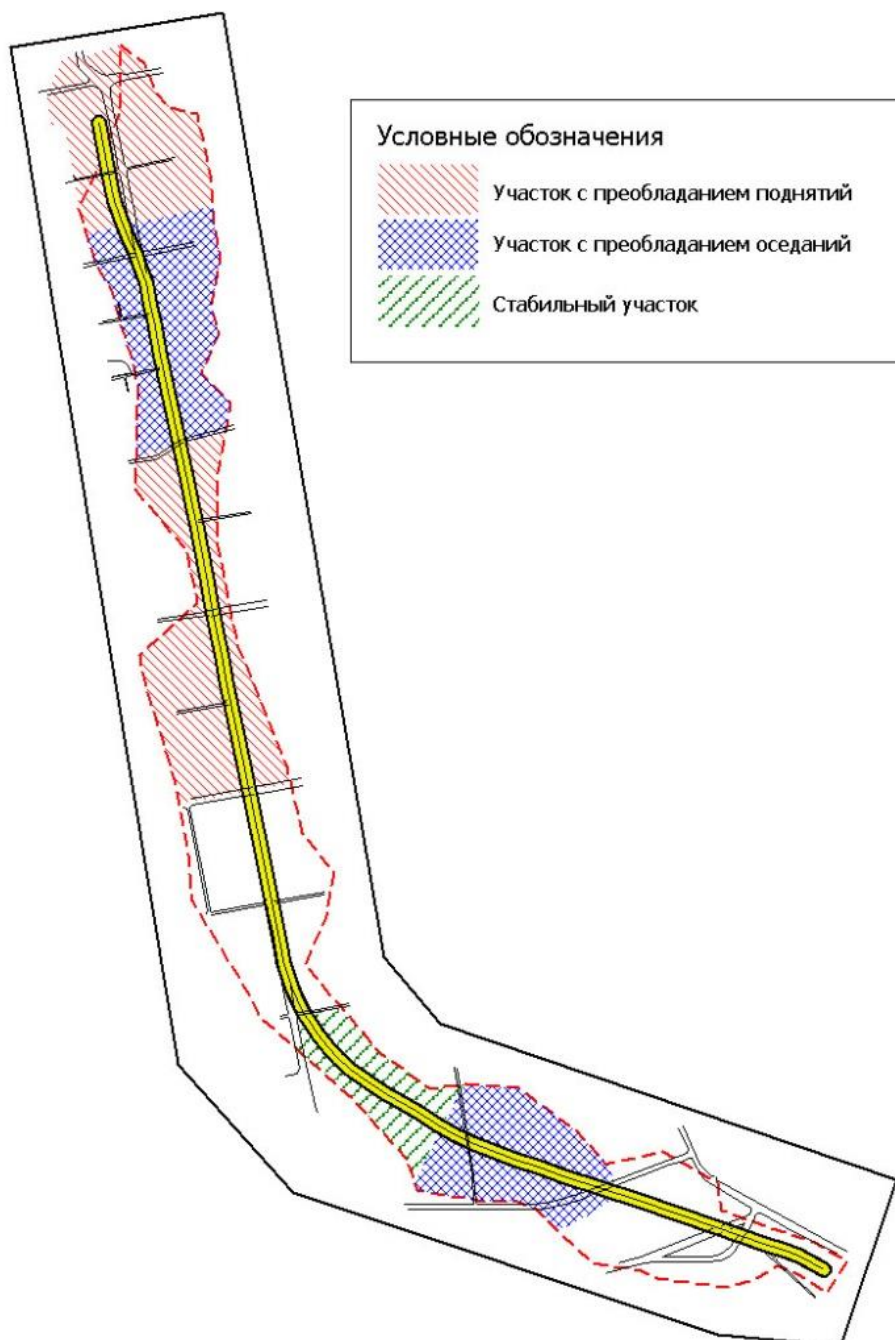


Рис. 3 – Границы блоков горного массива вдоль трассы тоннелей метрополитена, испытывающие сдвигения противоположного характера

Наличие блоков с оседаниями противоположного характера является показателем того, что на подработанные объекты оказывают влияние не только горнопроходческие работы, но и природные факторы: иерархически блочная структура скального массива и подвижность блоков, обусловленная современными геодинамическими движениями трендового и цикличного характера [7, 8, 9, 10]. Поэтому для выбора комплекса защитных мероприятий, связанных с охраной сооружений от негативного влияния процесса освоения подземного пространства мегаполисов, необходимо понимание вопросов формирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в условиях его естественного залегания, его изменений в области влияния техногенных систем, и, самое главное, закономерностей взаимодействия техногенных систем с происходящими в массиве горных пород деформационными процессами [8].

Таким образом, основные причины деформационных процессов при строительстве тоннелей на урбанизированной территории следующие:

- неустойчивость горного массива на локальных участках с осложненными геологическими характеристиками;
- геодинамическая активность горного массива на границах кластеров естественного напряженно-деформационного поля;
- технологические ошибки при проходке и креплении выработок.

Для снижения вредного влияния строительства тоннелей на стадии разработки проектной документации второй линии метрополитена в г. Екатеринбурге, помимо тщательных инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, целесообразно выполнение структурно-геодинамической диагностики горного массива вдоль проектируемой трассы с применением комплекса геодезических и геофизических методов. До начала проходческих работ необходимо провести комиссионное обследование зданий и сооружений с целью разработки мероприятий по предварительному усилению их оснований, а также оборудовать наблюдательную станцию для мониторинга за состоянием и изменением природных и природно-техногенных условий территории проходки перегонных тоннелей метрополитена.

Литература

1. Колыбин И.В. Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях / И.В. Колыбин // Развитие городов и геотехническое строительство. - № 12. - 2008. - С. 90 - 124.
2. Хуцкий В.П. Сдвигение земной поверхности при строительстве пересадочных узлов метрополитена в условиях Санкт-Петербурга: автореф. дис. на соиск. степ. канд. техн. наук / В.П. Хуцкий. - Санкт-Петербург, 2003.
3. Николаева Ф. Город в разрезе геологии. Ч. II. Строительство подземных сооружений / Ф. Николаева // Газета «Стройка». – 2004. - № 13 [Электронный ресурс] – Режим доступа: (<http://stroyinform.ru/archive/413/18227/>).
4. Лушников В.В. Использование мирового опыта при проектировании и строительстве фундаментов высотных зданий с учетом геологических условий Екатеринбурга / В.В. Лушников // Академический вестник Уралниипроект РААСН. - 2009. - № 7. – С. 76 - 82.
5. Самарин В.П. Проявление сдвижений и деформаций в зоне влияния выработок метрополитена в г. Екатеринбурге / В.П. Самарин, С.В. Морин, И.В. Барсуков // Геомеханика в горном деле: доклады международной конференции 19 - 21 ноября 2002 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. – С. 283 - 287.
6. Усанов С.В. Деформационные процессы при строительстве тоннелей метрополитена в Екатеринбурге / С.В. Усанов, Ю.П. Коновалова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2013. - № 6. - С. 142 - 144.

7. Сашурин А.Д. Катастрофы в сфере недропользования / А.Д. Сашурин / Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской конференции 10-11 октября 2007 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008. – С. 3 - 8.

8. Сашурин А. Д. Формирование напряженно-деформированного состояния иерархически блочного массива горных пород / А. Д. Сашурин // Проблемы недропользования [Электронный ресурс]: рецензируемое сетевое периодическое научное издание / ИГД УрО РАН. - 2015. - № (4). - С. 38 - 44. - Режим доступа: [//trud.igdur.ru](http://trud.igdur.ru).

9. Коновалова Ю.П. Исследование циклических короткопериодных геодинамических деформаций территорий при выборе площадки под строительство атомных станций / Ю.П. Коновалова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. - № 7. - С. 269 - 274.

10. Пустуев А.Л. Исследование трендовых геодинамических деформаций при выборе площадок для строительства атомных станций / А.Л. Пустуев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. - № 1. - С. 282 - 290.