

УДК 622.834:622.272

**Усанов Сергей Валерьевич**  
кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией  
сдвижения горных пород,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, РФ, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [usv@igduran.ru](mailto:usv@igduran.ru)

**Харисов Тимур Фаритович**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
лаборатория геомеханики подземных  
сооружений,  
Институт горного дела УрО РАН

**Григорьев Данила Вячеславович**  
научный сотрудник,  
лаборатория техногенных  
катастроф,  
Институт горного дела УрО РАН

**Прошин Владислав Александрович**  
лаборант,  
лаборатория сдвижения горных пород,  
Институт горного дела УрО РАН

#### **ФАКТОРЫ ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЯ, ПОСТРОЕННОГО В РАЙОНЕ СТАРЫХ НЕГЛУБОКИХ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК\***

*Аннотация:*

Объектом исследования являются грунты под трехэтажным зданием, которое построено на подработанной территории. На земельном участке залегает золоторудная дайка, которая разрабатывалась подземным способом в девятнадцатом веке. Перед строительством здания в 2011 г. были проведены специальные исследования грунтов, позволившие установить, что застройка земельного участка безопасна. Тем не менее построенное здание постоянно деформируется, в стенах образуются трещины раскрытием до нескольких миллиметров.

Цель работы – установить причины деформаций и оценить безопасность эксплуатации социального объекта в зоне влияния старых неглубоких подземных горных выработок.

Методы исследования: анализ архивных горно-геологических материалов, геофизические исследования структуры массива горных пород, определение напряжений в плите фундамента методом целевой разгрузки, определение прочности бетона в одиннадцати точках фундаментной плиты с помощью молотка Шмидта (склерометр RGK SK-60), геодезические наблюдения за осадками фундамента с помощью нивелировки III класса, визуальное обследование поврежденных конструкции и прилегающей территории.

Сделаны выводы об отсутствии опасности разрушения объекта и о слабом влиянии старых горных выработок на устойчивость конструкции. Установлено, что на появление и развитие деформаций преобладающее влияние оказывают особенности конструкции и грунтов. Характер и распределение трещин в здании больше напоминают усадочный процесс, а расхождение перекрытий вызывает вопрос к качеству строительства. На основе комплекса исследований установлено, что объект находится в ограниченно работоспособном состоянии. Условия для резкого перехода здания в аварийное состояние отсутствуют.

Ключевые слова: здание, деформации, старая шахта, конструкция, напряжения, прочность бетона, оседания, осадки, георадарное зондирование, пустоты.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.044

**Usanov Sergei V.**  
Candidate of Technical Sciences,  
Head of rock movement laboratory,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg,  
58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [usv@igduran.ru](mailto:usv@igduran.ru)

**Kharisov Timur F.**  
Candidate of Technical Sciences,  
Senior Researcher,  
laboratory of geomechanics  
of underground structures,  
Institute of mining, Ural Branch of RAS

**Grigoriev Danila V.**  
Researcher,  
laboratory of technogenic disasters  
Institute of mining, Ural Branch of RAS

**Proshin Vladislav A.**  
Laboratory Assistant,  
rock movement laboratory,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

#### **FACTORS OF DEFORMATIONS OF A BUILDING BUILT IN THE AREA OF OLD DEPTHLESS UNDERGROUND DEVELOPMENTS**

*Abstract:*

The object of the study is the soils under a three-storey building, which is built on a part-time territory. There is a gold ore dyke on the land plot, which was developed underground in the nineteenth century. Before the construction of the building in 2011, special soil studies were carried out, which made it possible to establish that the construction of the land plot is safe. Nevertheless, the constructed building is constantly deformed. Cracks open up to several millimeters in the walls.

The purpose of the work is to establish the causes of deformations and assess the safety of the operation of a social object in the zone of influence of old shallow underground mine workings.

Research methods: analysis of archival mining and geological materials, geophysical studies of the structure of the rock mass, determination of stresses in the foundation slab by the method of slot unloading, determination of the strength of concrete at eleven points of the foundation slab using a Schmidt hammer RGK SK-60 sclerometer, geodetic observations of foundation sediments using grade III leveling, visual inspection of structural damage and the surrounding area.

Conclusions are drawn about the absence of the danger of destruction of the object and about the weak influence of old mine workings on the stability of the structure. It is established that the appearance and development of deformations are mainly influenced by the features of the structure and soils. The nature and distribution of cracks in the building is more like a shrinkage process, and the discrepancy between the floors raises questions about the quality of construction. Based on a set of studies, it was established that the object is in a limited operational state. There are no conditions for a sudden transition of the building to an emergency state.

Key words: building, deformations, old mine, construction, stress, concrete strength, failure, subsidence, GPR sounding, cavities.

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания № 0007 – 00293 – 18-00, тема № 0405-2019-0007.

### Введение

Проблема безопасности зданий над старыми шахтами распространена во всем мире. Например, в Австралии насчитывается 50 000 заброшенных шахт на 2012 г., в Канаде - более 10 000 на 2000 г., а в Южной Африке - 6000 на 2009 г. [1, 2]. В центральной Европе в 2005 г. насчитывалось 226 горнодобывающих регионов, в 46 % которых добыча полезных ископаемых полностью прекратилась [3]. На территории Великобритании более двух миллионов зданий подвержены воздействию неглубоких угольных шахт [4]. Широко распространены заброшенные небольшие шахты в Конго и других странах Африки [5].

Урал более трех веков является рудным и металлургическим регионом России. Исторически так сложилось, что старые и заброшенные шахты находятся в границах многих современных уральских городов [6, 7]. Шахты построены при разработке месторождений черных и цветных металлов, золота, соли и угля [8 – 11]. При этом использовались разные технологии горных работ, связанные с историческим периодом разработки (XVII – XX века) и спецификой геологических условий. Поэтому сроки окончания опасных процессов на территориях старых шахт не поддаются точной параметризации.

Во время эксплуатации здания, построенного над старыми подземными выработками, регулярно образуются трещины, а на прилегающей территории несколько раз произошли провалы поверхности. Эксплуатируемый объект является социальным объектом, где постоянно пребывает несколько сотен людей. Угроза аварии и чрезвычайной ситуации побудила к проведению исследований для выяснения причин деформаций и снятия неблагоприятных рисков.

Участок расположен на территории, которая включает старые подземные горные выработки. В 2011 г. выполнены разведочные геофизические работы по специальной методике [12], в результате которых оконтурены участки поверхности, где строительство небезопасно или ограничено. Размещение здания выполнено с учетом этих данных.

#### *Характеристика объекта исследований*

Объект исследований расположен на площади залегания Березовского золоторудного месторождения [13] в Свердловской области (рис. 1). Участок застроен, территория спланирована и эксплуатируется.



Рис. 1. Здание на территории залегания подземных горных разработок

Здание построено в 2012 г. и эксплуатируется по функциональному назначению. В здании имеется три этажа и подвал, оно построено по бескаркасной схеме и имеет сложную форму в плане. Несущими элементами являются наружные и внутренние кирпичные стены. Фундамент – монолитная армированная железобетонная плита толщиной 500 мм из бетона класса В22,5. Под плитой выполнена подготовка толщиной 300 мм из щебня.

Участок приурочен к зоне развития диабазов, порфиринов и их туфов, зеленых сланцев, рассеченных многочисленными дайками Шарташского гранитного массива. Сверху повсеместно залегает мезозойская кора выветривания мощностью 20 м, перекрытая делювиальными и элювиальными отложениями с обломочными включениями. На отдельных участках суглинки переходят в глины или супеси. Кровля делювиальных грунтов залегает на глубине 0 – 0,7 м, а их мощность составляет 1,4 – 3,7 м. Делювиальные грунты перекрыты почвенно-растительным слоем мощностью 0,1 – 0,2 м.

В природных условиях элювиальные суглинки обладают довольно высокими строительными свойствами, но при дополнительном водонасыщении у них отмечается снижение несущей способности за счет частичной потери структурных связей. Поэтому элювиальные грунты необходимо оберегать от замачивания как в открытых котлованах, так и при эксплуатации зданий и сооружений.

На участке пробурено 14 инженерно-геологических скважин глубиной от 5 до 10 м. Общий метраж буровых работ составил 175 погонных метров. Открытых и заполненных пустот в массиве не обнаружено. Подземные воды до глубины 10 м не вскрыты.

#### *Деформационные процессы в конструкции здания и на прилегающей территории*

На участке залегает золоторудная дайка, которая в XIX веке разрабатывалась подземным способом. Дайка имеет пологое северо-восточное падение. Горные разработки закончились более 100 лет назад и велись до глубины 20 м. Несмотря на отсутствие детальной информации о подработке, контуры влияния горных работ известны (рис. 2).

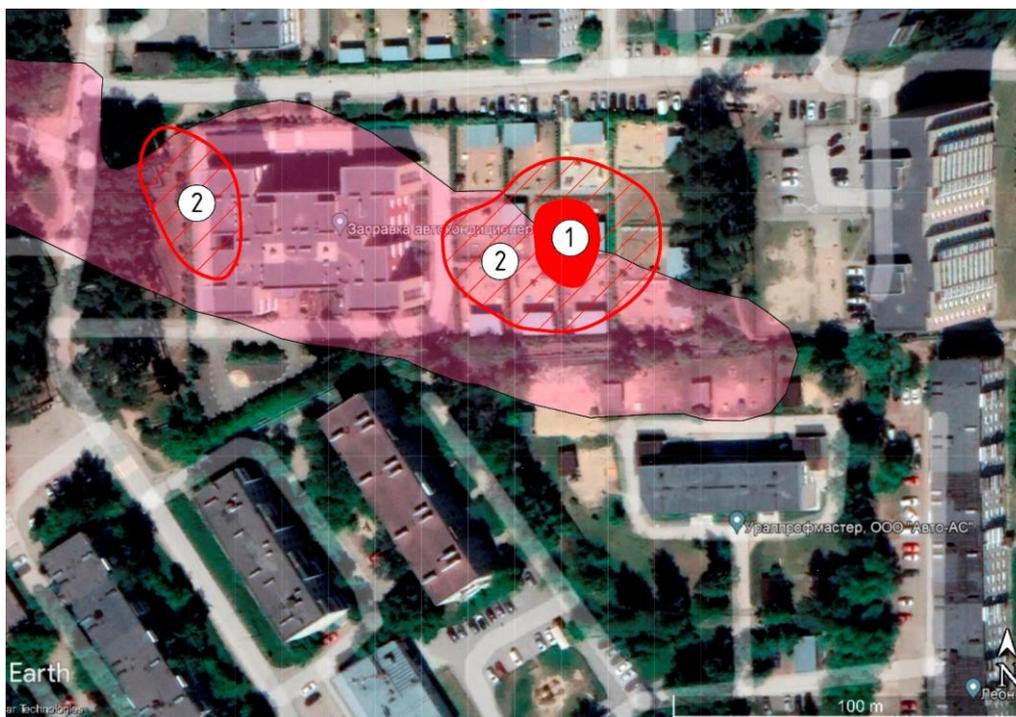


Рис. 2. Границы влияния подземных горных работ на участке:  
1 – область, где вероятны провалы диаметром до 3 м;  
2 – области, где возможны просадочные явления

До строительства здания в 2011 г. оконтурены участки поверхности с разной степенью проявления деформаций и дезинтеграции грунтов (см. рис. 2). Планировка участка застройки выполнена с учетом этих данных. Здание посажено на западе участка, в пригодном месте.

При натурном обследовании в 2011 г. обнаружены старые провалы поверхности до 3 м в диаметре. В 2021 г. во время эксплуатации здания на участке зафиксированы локальные понижения рельефа, подобные проявлениям от старых подземных разработок. В области, где прогнозировались просадочные явления, ежегодно проваливается грунт диаметром до 2 м и глубиной до 1 м. Провал образуется в одном и том же месте во время дождливого периода года.

Первые годы эксплуатации здания подвал был затоплен на несколько десятков сантиметров. Для его осушения в фундаментной плите пробурены сквозные отверстия, через которые воду спустили прямо под здание.

Отмостка по периметру здания просела на 0,1 м. Дождевые осадки с отмостки стекают сразу в грунты без водоотведения. При эксплуатации объекта в конструкции регулярно образуются трещины. После ремонта деформации возобновляются. Наиболее активный период трещинообразования – весна.

Техническим обследованием здания по ГОСТ 31937-2011 по всем этажам зафиксированы равномерные множественные трещины в конструктивных элементах раскрытием от 1 до 10 мм. Трещины в основном перпендикулярны или параллельны несущим стенам (рис. 3), а их количество возрастает от нижнего к верхнему этажу. Характер распределения трещин не соответствует влиянию подземных разработок, когда трещины разрастаются снизу и концентрируются на локальных участках здания [14]. Под одной из стен с восточной стороны провалился грунт диаметром около 2 м, но не привел к образованию локальных трещин.

Деформирование здания может быть обусловлено рядом причин:

- воздействием необнаруженных пустот от старых неглубоких подземных разработок;
- суффозией дезинтегрированных горными выработками грунтов в результате дренажа воды под фундамент здания;
- снижением прочностных характеристик элювиальных суглинков в основании фундамента, увлажненных сточными водами;
- сложной формой здания без деформационных швов;
- некачественным строительством.

#### *Методика определения причин деформаций конструкции здания и грунтов*

Для этого снижения риска развития чрезвычайной ситуации использован комплекс методов исследования материалов и напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты, повторные поиски пустот в грунтах. Безопасность застройки подработанных территорий необходимо оценивать на основе комплекса исследований, включающего методы геодезических [15] и геофизических исследований [16 – 21], а также визуальный поиск следов развития деформационных процессов [22]. Существуют методики прогноза процесса сдвижения на подработанных территориях, которые основаны на комплексном анализе негативных факторов и использовании специализированных инструментальных исследований, дешифрировании архивных спутниковых снимков территорий [23].

Напряженно-деформированное состояние фундаментной плиты оценивается методом щелевой разгрузки в пяти точках – центре и перифериях фундаментной плиты. В качестве критериев оценки использован разброс данных и абсолютные значения измеренных параметров.

Замеры прочностных свойств фундамента выполнялись молотком Шмидта (склерометр RGK SK-60) в одиннадцати точках фундамента (см. рис. 3). Прочность бетона определяется по предварительно установленной градуированной зависимости между прочностью бетонных образцов и значением отскока от поверхности бетона прижатого к ней ударника (косвенной характеристикой прочности) согласно ГОСТ 22690.

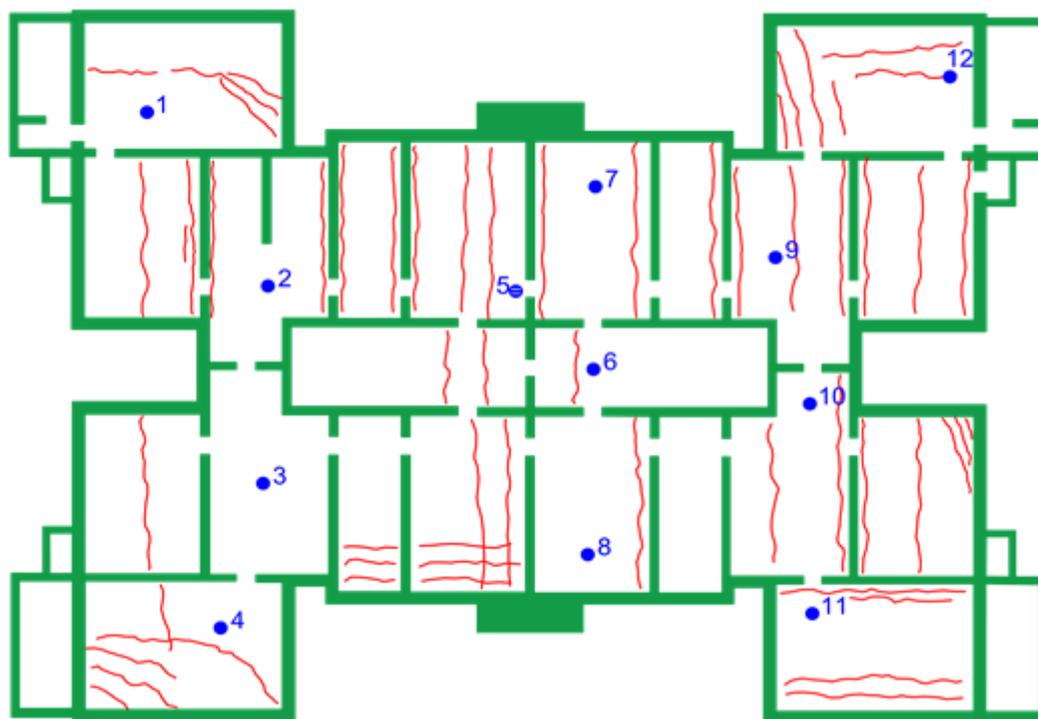


Рис. 3. Схема развития трещин в фундаментной плите и точки замера прочности бетона

Наличие опасных полостей в грунте, которые могут вызывать неравномерные просадки здания и провалы поверхности, определяется комплексом геофизических исследований, который в зависимости от помехоустойчивости метода позволяет исследовать грунты по ярусному принципу:

- поиск пустот на границе плита-основание методом с помощью георадара ОКО-2 с антенным блоком АБ-400 до глубины 3,5 м;
- поиск пустот на глубинах до 14 м под зданием методом электротомографии;
- поиск пустот на территории участка методами георадиолокационного зондирования до глубины 10 м и электротомографии до 25 м.

Одновременно выполнен мониторинг оседаний здания путем периодических инструментальных измерений смещений реперов наблюдательной станции и визуальных наблюдений. Измерения проводились как в весенний сезон отрицательных температур с наличием снежного покрова, так и в сезон оттепели и в летний сухой сезон с целью определения зависимости процессов деформации от изменения климатических условий. Всего выполнено тринадцать наблюдений.

#### *Результаты исследований свойств фундаментной плиты*

Наличие протяженных трещин в плите свидетельствует о прохождении II стадии напряженно-деформированного состояния [24], при которой в сечениях, проходящих через трещины, сопротивление растяжению оказывает только арматура, а в сечениях между трещинами – арматура и бетон. Методом щелевой разгрузки получены сжимающие и растягивающие деформации. Растягивающие деформации определены в цен-

тральной и южной частях фундаментной плиты. Максимальные значения растягивающих деформаций достигают 0,24 мм/м и превышают предельные деформации бетона на 16 %. Это объясняет наличие трещин. Максимальные сжатия составляют -0,38 мм/м, что значительно ниже предельных деформаций бетона. Выявлено аномальное поле напряжений в центральной части фундаментной плиты, которое характеризуется концентрацией разнонаправленных (сжимающих и растягивающих) деформаций (рис. 4).

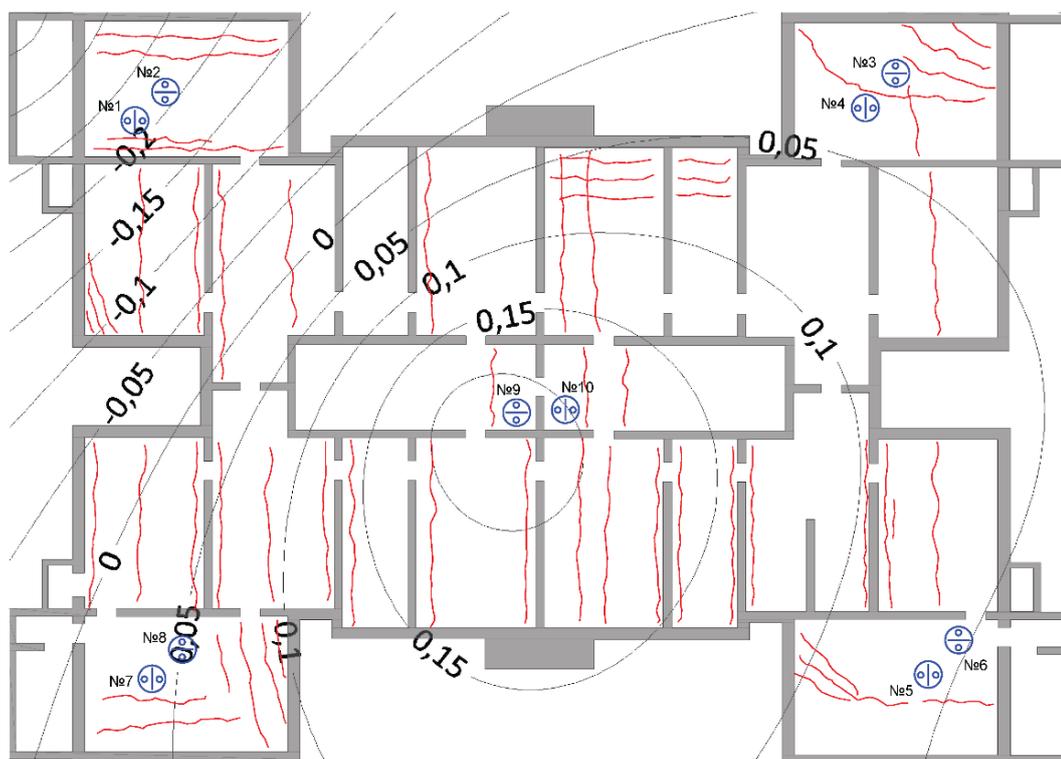


Рис. 4. Схема распределения сжимающих и растягивающих деформаций в фундаментной плите здания

По результатам измерений предела прочности монолитного железобетонного фундамента на сжатие ни на одном из участков замеров не было зафиксировано отклонений, которые могли бы свидетельствовать о низком качестве бетона. Значения прочности составили от 46 до 54 МПа. Фундамент соответствует прочностным и упругим характеристикам СНиП 82-02-95 «Федеральные ( типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций».

#### *Георадиолокационные исследования контакта плита-основание*

По скорости распространения электромагнитной волны бетон имеет хорошее качество и сохраняет монолитность. Однако толщина плиты не выдержана. Присутствуют участки со снижением толщины плиты до 0,4 м, что ниже проектной на 20 %. Участки с аномально низкими значениями толщины бетонной плиты сосредоточены в ее центральной части (рис. 5). Расслоения плиты в горизонтальной плоскости не установлены.

Все участки пониженной толщины фундаментной бетонной плиты по результатам георадарных измерений обводнены. Подушка фундамента обводнена в направлении северо-запад. Пустоты на контакте плита-основание не обнаружены.



Аномалии характеризуются повышенными значениями удельного электрического сопротивления 300 Омм и повышенными значениями поляризуемости <10 %. Такие значения характерны для скальных сильно выветрелых горных пород либо для грунтов, нарушенных в результате горных работ. Область возможных обрушений поверхности околонулена в центральной части прогулочной территории. Пустоты могут залегать в пределах слоя 15 м от поверхности.

#### *Наблюдения за осадками здания*

Оседания за весь период наблюдений составили от нуля до 4 мм. Максимальная скорость оседаний за весь период наблюдения составила 0,3 мм/мес. Наклоны достигли  $0,36 \cdot 10^{-3}$ , что составляет 10 % от допустимых значений. Трендовые оседания или поднятия отдельных реперов не выявлены.

#### *Обсуждение результатов и выводы*

Из результатов исследований следует, что горные выработки не являются главным фактором деформирования здания, так как их размеры ниже разрешающей способности приборов. Это установлено исследованиями 2011 и 2021 г. Характер и распределение трещин в здании больше напоминают усадочный процесс, а расхождение перекрытий вызывает вопрос к качеству строительства.

Интересный факт установлен после проведения комплекса исследований. В городе построено еще три подобных здания, и все испытывают деформации подобного рода, при этом здания построены не на подработанной территории.

Таким образом, деформации социального объекта вызваны комплексом причин, которые кроются в сложной конструкции, природно-техногенных особенностях грунтов и их излишнем увлажнении. Деформации поверхности прогулочной зоны обусловлены только наличием старой подземной разработки.

Уплотнение подработанных грунтов без мероприятий по их укреплению будет развиваться длительное время (несколько десятков лет). Периодически в выделенных участках будут происходить локальные деформации поверхности диаметром до 2 – 3 м и глубиной до 1,5 м.

На основе комплекса исследований установлено, что объект находится в ограниченно-работоспособном состоянии. Условия для резкого перехода здания в аварийное состояние отсутствуют. Полости опасных размеров инструментальными методами на участке не обнаружены.

#### **Список литературы**

1. Uyanga Gankhuyag and Fabrice Gregoire, 2018. *Managing mining for sustainable development: A sourcebook*. Bangkok: United Nations Development Programme. UNDP and UN Environment, 116 p.
2. Cornelissen H., Watson I., Adam E., Malefetse T., 2019. Challenges and strategies of abandoned mine rehabilitation in South Africa: The case of asbestos mine rehabilitation. *Journal of Geochemical Exploration Publisher: Elsevier*, V. 205, 106354. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106354> (дата обращения 08.01.2021).
3. Peter Wirth, Barbara Černič Mali, Wolfgang Fischer (Editors), 2012. *Post-Mining Regions in Central Europe. Problems, Potentials, Possibilities*. München: Oekom, 274 p.
4. Leigh Sharpe. *Civil engineering & mining related geohazards—a clients guide to the regulatory process*. Available at: <https://www.emcouncils.gov.uk/write/TCA%20Permissions%20Process.pdf> (дата обращения 08.01.2021).
5. Jean-Paul Otamonga, John W.Poté, 2020. Abandoned mines and artisanal and small-scale mining in Democratic Republic of the Congo (DRC): Survey and agenda for future research. *Journal of Geochemical Exploration*, V. 208, 106394. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106394> (дата обращения 08.01.2021).

6. Усанов С.В., Усанова А.В., 2021. Исследование обрушений грунта над глубокой заброшенной шахтой для определения геотехнических условий индивидуального строительства. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, Т. 332, № 8, С. 168 – 173. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/8/3315>
7. Колчина М.Е., 2017. Назначение технической оценки объектов капитального строительства на подработанных территориях. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 6, С. 73 – 78.
8. Усанова А.В., Усанов С.В., 2014. Геомеханическая информационная модель влияния ликвидированного подземного рудника в городе Верхняя Пышма. *Маркшейдерия и недропользование*, № 5, С. 38 – 40.
9. Усанов С.В., Усанова А.В., 2020. Обоснование мер безопасности при застройке территорий над старыми горными выработками по результатам комплексных исследований. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 246 - 254. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-246-254
10. Есюнин О., 2015. Город на «круге дырявого сыра». *Инженерная защита*, № 1(6), С. 26 – 35.
11. Мамаев Ю.А., Ястребов А.А., 2015. Комплексная защита подработанной территории калийного рудника в Пермском крае РФ. *Инженерная защита*, № 3(8), С. 26 – 35.
12. Усанов С.В., 2011. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработками. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S11, С. 260 – 266.
13. Шилин А.А., 2009. Кирпичные и каменные конструкции. Повреждения и ремонт. *Горная книга*, 214 с.
14. Альбрехт В.Г., Баталин А.С., Баталина А.А., Ерохин Ю.В., Клейменов Д.А., 2005. *Березовское золоторудное месторождение (история и минералогия): научное издание*. Екатеринбург: Уральский рабочий, 200 с.
15. Усанов С.В., Коновалова Ю.П., Желтышева О.Д., 2012. Современные технологии мониторинга процесса сдвижения. *Горный журнал*, № 1, С. 36 – 38.
16. Мельник В.В., Замятин А.Л., 2005. Исследование и создание геолого-структурной и геомеханической модели участка недропользования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 226 – 230.
17. Усанов С.В., Кашкаров А.А., 2001. Геоэлектрическое моделирование геомеханических процессов на подрабатываемых территориях. *Маркшейдерский вестник*, № 1 – 2, С. 62 – 67.
18. Колесников В.П., Пригара А.М., Татаркин А.В., Филимончиков А.А., 2012. Инженерно-геофизические исследования в условиях подработанных территорий. *Инженерные изыскания*, № 9, С. 69 – 77.
19. Замятин А.Л., 2009. Геофизические исследования на подработанных территориях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 2, С. 88 – 93.
20. Tess X.H. Luo, Wallace W.L. Lai, 2020. GPR pattern recognition of shallow subsurface air voids. *Tunnelling and Underground Space Technology*, V. 99. 103355 AVAILABLE AT: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103355> (дата обращения 08.01.2021).
21. Da Hu, Shuai Li, Junjie Chen, Vineet R. Kamat, 2019. Detecting, locating, and characterizing voids in disaster rubble for search and rescue. *Advanced Engineering Informatics*, V. 42, 100974. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100974> (дата обращения 08.01.2021).
22. Зуев П.И., 2019. Районирование подработанных территорий в ГИС на примере г. Березовский. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 11 (спец. выпуск 37), С. 376 – 384. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-376-384 (дата обращения 08.01.2021).

23. Усанова А.В., 2018. Особенности исследования деформаций поверхности при подземной разработке Соколовского железорудного месторождения на основе архивных радарных снимков. *Маркшейдерия и недропользование*, № 3 (95), С. 29 – 35.

24. Портик А.А., 2003. Все о пенобетоне. Санкт-Петербург, 224 с. URL: <https://alibeton.ru/upload/iblock/848/vse-o-penobetone-eportikm.pdf> (дата обращения: 27.07.2021).

### References

1. Uyanga Gankhuyag and Fabrice Gregoire, 2018. *Managing mining for sustainable development: A sourcebook*. Bangkok: United Nations Development Programme. UNDP and UN Environment, 116 p.

2. Cornelissen H., Watson I., Adam E., Malefetse T., 2019. Challenges and strategies of abandoned mine rehabilitation in South Africa: The case of asbestos mine rehabilitation. *Journal of Geochemical Exploration Publisher: Elsevier*, V. 205, 106354. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106354> (data obrashcheniya 08.01.2021).

3. Peter Wirth, Barbara Černič Mali, Wolfgang Fischer (Editors), 2012. *Post-Mining Regions in Central Europe. Problems, Potentials, Possibilities*. München: Oekom, 274 p.

4. Leigh Sharpe. *Civil engineering & mining related geohazards—a clients guide to the regulatory process*. Available at: <https://www.emcouncils.gov.uk/write/TCA%20Permissions%20Process.pdf/> (data obrashcheniya 08.01.2021).

5. Jean-Paul Otamonga, John W.Poté, 2020. Abandoned mines and artisanal and small-scale mining in Democratic Republic of the Congo (DRC): Survey and agenda for future research. *Journal of Geochemical Exploration*, V. 208, 106394. AVAILABLE AT: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106394> (data obrashcheniya 08.01.2021).

6. Usanov S.V., Usanova A.V., 2021. Issledovanie obrusheniya grunta nad ne-glubokoi zabrosheynoi shakhtoi dlya opredeleniya geotekhnicheskikh uslovii individual'nogo stroitel'stva [Investigation of the grunt collapse over an abandoned shallow mine to determine the geotechnical conditions of individual construction]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhini-ring georesurov*, T. 332, № 8, S. 168 – 173. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/8/3315>

7. Kolchina M.E., 2017. Naznacheniye tekhnicheskoi otsenki ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva na podrobotannykh territoriyakh. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii* [Purpose of the technical assessment of capital construction projects in the under-worked territories]. *Gornyi zhurnal*, № 6, S. 73 – 78.

8. Usanova A.V., Usanov S.V., 2014. Geomekhanicheskaya informatsionnaya model' vliyaniya likvidirovannogo podzemnogo rudnika v gorode Verkhnyaya Pyshma [Geomechanical information model of the impact of a liquidated underground mine in the city of Verkhnyaya Pyshma]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 5, P. 38 – 40.

9. Usanov S.V., Usanova A.V., 2020. Obosnovaniye mer bezopasnosti pri zastroyke territorii nad staryimi gornymi vyrabotkami po rezul'tatam kompleksnykh issledovaniy [Justification of safety measures during building development of territories over old mining workings based on the results of complex studies]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 – 1, P. 246 – 254. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-246-254

10. Esyunin O., 2015. Gorod na "kruge dyryavogo syra" [The city on the "cheer of hole cheese"]. *Inzhenernaya zashchita*, № 1(6), P. 26 – 35.

11. Mamaev Yu.A., Yastrebov A.A., 2015. Kompleksnaya zashchita podrobotannoi territorii kaliinogo rudnika v Permskom krae RF [Complex protection of the developed territory of a potash mine in the Perm Region of the Russian Federation]. *Inzhenernaya zashchita*, № 3(8), P. 26 – 35.

12. Usanov S.V., 2011. Metodika otsenki bezopasnosti zastroyki territorii nad staryimi gornymi vyrabotkami [Methodology for assessing the safety of the development of territories

over old mine workings]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № S11, P. 260 - 266.

13. Shilin A.A., 2009. Kirpichnye i kamennye konstruksii. Povrezhdeniya i remont [Brick and stone structures. Damages and repairs]. Gornaya kniga, 214 p.

14. Al'brekht V.G., Batalin A.S., Batalina A.A., Erokhin Yu.V., Kleimenov D.A., 2005. Berezovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie (istoriya i mineralogiya): nauchnoe izdanie [Berezovskoye gold deposit (history and mineralogy): scientific publication]. Ekaterinburg: Ural'skii rabochii, 200 p.

15. Usanov S.V. Konovalova Yu.P., Zheltysheva O.D., 2012. Sovremennye tekhnologii monitoringa protsessa sdvizheniya [Modern technologies for monitoring the movement process]. Gornyi zhurnal, № 1, P. 36 – 38.

16. Mel'nik V.V., Zamyatin A.L., 2005. Issledovanie i sozдание geologo-strukturnoi i geomekhanicheskoi modeli uchastka nedropol'zovaniya [Research and creation of a geostructural and geomechanical model of a subsurface use area]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 4, P. 226 – 230.

17. Usanov S.V., Kashkarov A.A., 2001. Geoelektricheskoe modelirovanie geomekhanicheskikh protsessov na podrabatyvaemykh territoriyakh [Geoelectric modeling of geomechanical processes in the territories under development]. Marksheiderskii vestnik, № 1 - 2, P. 62 – 67.

18. Kolesnikov V.P., Prigara A.M., Tatarkin A.V., Filimonchikov A.A., 2012. Inzhenerno-geofizicheskie issledovaniya v usloviyakh podrobotannykh territorii [Engineering and geophysical research in the conditions of undermined territories]. Inzhenernye izyskaniya, № 9, P. 69 – 77.

19. Zamyatin A.L., 2009. Geofizicheskie issledovaniya na podrobotannykh territoriyakh [Geophysical research on undermined territories]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 2, P. 88 – 93.

20. Tess X.H. Luo, Wallace W.L. Lai, 2020. GPR pattern recognition of shallow subsurface air voids. *Tunnelling and Underground Space Technology*, V. 99. 103355 Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103355> (data obrashcheniya 08.01.2021).

21. Da Hu, Shuai Li, Junjie Chen, Vineet R. Kamat, 2019. Detecting, locating, and characterizing voids in disaster rubble for search and rescue. *Advanced Engineering Informatics*, V. 42, 100974. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100974> (data obrashcheniya 08.01.2021).

22. Zuev P.I., 2019. Raionirovanie podrobotannykh territorii v GIS na primere g. Berezovskii [Zoning of the undermined territories in GIS on the example of Berezovsky]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 11 (spets. vypusk 37), P. 376 – 384. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-376-384 (data obrashcheniya 08.01.2021).

23. Usanova A.V., 2018. Osobennosti issledovaniya deformatsii poverkhnosti pri podzemnoi razrabotke Sokolovskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya na osnove arkhivnykh radarnykh snimkov . [Features of the study of surface deformations in the underground development of the Sokolovsky iron ore deposit based on archival radar images]. Marksheideriya i nedropol'zovanie, № 3 (95), P. 29 – 35.

24. Portik A.A., 2003. Vse o penobetone [All about foam concrete]. Sankt-Peterburg, 224 p. URL: [https:// allbeton.ru/upload/iblock/848/vse-o-penobetone-eportikm.pdf](https://allbeton.ru/upload/iblock/848/vse-o-penobetone-eportikm.pdf) (data obrashcheniya 27.07.2021).