

УДК 622.834

Прошин Владислав Александрович
лаборант,
лаборатория сдвижения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: proshin@igduran.ru

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЯ В ОБЛАСТИ ВЛИЯНИЯ СТАРЫХ ГОРНЫХ РАБОТ*

Аннотация:

Объектом исследования является трехэтажное здание, построенное в 2011 г. на подработанной горными работами территории начала 20 века. Перед строительством здания в 2011 г. были проведены специальные исследования грунтов, которые позволили сделать вывод о том, что застройка земельного участка безопасна. Тем не менее построенное здание постоянно деформируется, в стенах образуются трещины с раскрытием до нескольких миллиметров, а на территории вокруг здания периодически образуются просадки грунта.

Цель работы – установление причины деформации здания.

Методы исследования: геодезические инструментальные наблюдения за смещениями стенных реперов с помощью нивелирования III класса точности, анализ горно-геологических материалов, визуальные наблюдения за деформациями здания. Сделан вывод о наличии целого комплекса факторов, влияющих на деформацию здания, а именно: литологическое разнообразие суглинков и глин, имеющих различные физико-механические свойства, вероятное наличие оставшихся пустот и участков разуплотнения вследствие влияния горных работ, конструктивные недостатки самого здания.

Ключевые слова: здание, деформации, старая шахта, старые горные работы, оседания, набухание, тиксотропия, провалы, просадки, инструментальные наблюдения, нивелирование.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.01.016

Proshin Vladislav A.
Laboratory assistant,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: proshin@igduran.ru

INSTRUMENTAL OBSERVATIONS OF DEFORMATIONS OF A BUILDING IN THE AREA OF INFLUENCE OF OLD MINING WORKS

Abstract:

The object of the study is a three-story building built in 2011 on the territory that used to be mined by the underground works at the beginning of the 20th century. Special soil studies were carried out before the construction of the building in 2011, which made it possible to conclude that the development of the land plot is safe. However, the constructed building is being constantly deformed, cracks form in the walls with an opening of up to several millimeters, and soil subsidence periodically occurs in the area around the building.

The purpose of the work is to establish the cause of the deformation of the building and assess the safety of the operation of the social facility.

Research methods: geodetic instrumental observations of displacements of wall benchmarks using leveling of the 3rd class of accuracy, analysis of mining and geological materials, visual observations of building deformations.

The analysis concluded that there is a whole range of factors affecting the deformation of the building, namely: the lithological diversity of loams and clays with different physical and mechanical properties, the likely presence of remaining voids and areas of decompaction due to the influence of mining, structural shortcomings of the building itself.

Key words: building, deformations, old mine, old mining operations, subsidence, swelling, thixotropy, dips, subsidence, instrumental observations, leveling.

Введение

Проблема безопасности зданий над старыми подработанными горными выработками распространена во всем мире. Так, в США насчитывается более 500 000 заброшенных шахт [1]. В Австралии насчитывается 50 000 заброшенных шахт на 2012 г., в Канаде – более 10 000 на 2000 г. [2, 3]. В Южной Корее на момент 2011 г. имеется более двух тысяч шахт, заброшенных за последние 50 лет, вследствие чего в стране периодически регистрируются случаи провалов. Например, в конце мая 2008 г. в районе старого заброшенного рудника «Моокеук» произошел провал глубиной 30 м и диаметром 8 м буквально в нескольких метрах от здания хосписа [4].

* Исследования выполнены в рамках государственного задания № 075-00412-22 ПР, тема 3 (FUWE-2022-0003), рег. № 1021062010536-3-1.5.1

Урал издавна является крупнейшей горнорудной и металлургической базой России. Многие города уральского региона развиваются и застраиваются над старыми и заброшенными шахтами. [5, 6]. Шахты Урала были построены при разработке как черных и цветных металлов, так и драгоценных камней, соли и угля [7–10]. Также различались и технологии разработки подземных горных работ в связи со спецификой горно-геологических условий и имеющихся технологий на момент добычи тех или иных полезных ископаемых. Поэтому на данный момент сроки окончания опасных процессов на территориях в области влияния старых горных работ не поддаются точной параметризации.

Исследуемое здание, находящееся над старыми подземными выработками, постоянно деформируется с образованием трещин в стенах здания. Вместе с тем и на прилегающей территории периодически возникали небольшие провалы поверхности. Здание является детским дошкольным учреждением с постоянным пребыванием большого количества людей. Угроза аварии и чрезвычайной ситуации побудила к проведению исследований для выяснений причин деформаций. В данной статье рассматривается один из способов, применявшихся для решения описанной выше проблемы – способ инструментальных наблюдений за деформациями здания.

Характеристика объекта исследования на подработанной горными работами территории

Участок расположен на территории старых подземных горных выработок. В 2011 г. выполнены разведочные геофизические работы по специальной методике [11], в результате которых оконтурены участки поверхности, где строительство небезопасно или ограничено. Размещение здания выполнено с учетом этих данных.

Объект исследований расположен на площади залегания Березовского золоторудного месторождения [12] в Свердловской области (рис. 1). Участок застроен, территория спланирована и эксплуатируется.

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.



Рис. 1. Здание на территории залегания подземных горных разработок

Обследуемая площадь приурочена к зоне развития диабазов, порфиритов и их туфов, зеленых сланцев, серпентинизированных перидотитов, тальк-карбонатных и других пород, рассеченных многочисленными дайками Шарташского гранитного массива.

На этих породах залегает мезозойская кора выветривания, достигающая мощности до 20 м и более, сверху перекрытая четвертичными, преимущественно делювиальными и элювиальными отложениями, содержащими различное количество обломочных включений.

С поверхности распространены насыпные грунты и почвенно-растительный слой.

В гидрогеологическом отношении территория района расположена в пределах развития водоносного горизонта грунтово-трещинного типа в пределах Большеуральского сложного бассейна. Подземные воды приурочены к верхней трещиноватой зоне скальных грунтов и к остаточной трещиноватости в элювиальных образованиях коры выветривания. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков на площади его распространения, основной объем питания – в паводковый период (весна – осень). Также в питании водоносного горизонта значительную роль играет техногенное подтопление в условиях городской застройки. Разгрузка подземных вод осуществляется в местные базы дренарования.

Во время проведения инженерно-изыскательских работ в сентябре 2011 г. на площадке проектируемого строительства подземные воды до глубины 10,0 м не были вскрыты.

На участке залегает золоторудная дайка, которая в XIX веке разрабатывалась подземным способом до глубины 20 м. Дайка имеет пологое северо-восточное падение. Полной информации о подработке нет, однако контуры ее влияния очерчены (рис. 2). Работы того времени характеризовались небольшими объемами вынудой горной массы.



Рис. 2. Взаимное положение здания и контура влияния старых горных работ

Перед строительством здания в 2011 г. были определены участки поверхности с различной степенью проявления деформаций и дезинтеграции грунтов (рис. 2), околонуены участки поверхности. Здание построено с учетом этих данных на западе участка, в пригодном месте.

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. Под одной из стен с восточной стороны провалился грунт диаметром около 2 м, но не привел к образованию локальных трещин. Характер распределения трещин не соответствует влиянию подземных разработок, когда трещины разрастаются снизу и концентрируются на локальных участках здания [13].

Методика определения причин деформаций конструкции здания и грунтов

Для исследования развития процесса деформации здания была спроектирована наблюдательная станция, включающая в себя 16 ственных реперов, оборудованных по всему контуру здания и 2 опорных репера, заложенных на расстоянии не менее 100 м от исследуемого объекта (рис. 3).

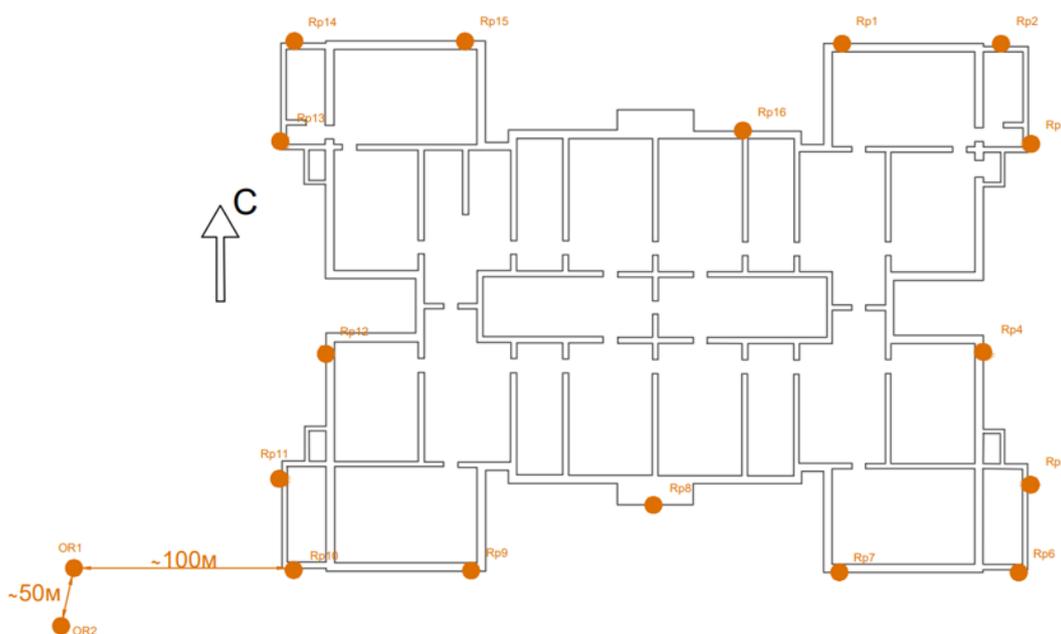


Рис. 3. Наблюдательная станция для исследования процессов деформации здания

Пять реперов установлены на северной и южной стороне и по три – на западной и восточной стороне, соответственно. Стенные реперы представляют собой клиновые анкеры 10×100, заложенные в кирпичную кладку здания на глубину до 10 см (рис. 4).



Рис. 4. Стенной репер наблюдательной станции

Исследование осуществлялось путем периодических инструментальных измерений смещений реперов наблюдательной станции. Инструментальные наблюдения представляют собой определение вертикальных отметок реперов методом геометрического нивелирования III класса точности.

Наблюдения проводились как в весенний сезон отрицательных температур с наличием снежного покрова, так и в сезон оттепели, а также в летний сухой сезон с целью определения зависимости процессов деформации от изменения климатических условий. Всего было проведено 12 серий наблюдений с периодичностью 2 раза в месяц.

Оценка точности инструментальных наблюдений

Для выполнения геометрического нивелирования использовался цифровой нивелир Sprinter 250M фирмы Leica, имеющий паспортную погрешность 1 мм на 1 км двойного хода, и штрих-кодовые рейки длиной 4 м.

Отчеты по рейкам на станции берутся прибором автоматически с точностью 0,1 мм, по два отчета на рейку. Расхождение между парами отчетов допускалось не более 0,5 мм. Отсчеты автоматически записывались во внутреннюю память прибора и дублировались в полевом журнале.

Уравнивание высот реперов наблюдательной станции производилось на ПЭВМ с использованием программного комплекса Credo Нивелир 2.0.

Полученные невязки по каждой серии измерений представлены на рис. 5.

Серия	Длина хода, м	Полученная невязка, мм	Допустимая невязка
0	245	0,1	5,0
1	251	0,1	5,0
2	263	4,5	5,1
3	267	1,3	5,2
4	289	0,1	5,4
5	342	0,1	5,8
6	301	0,2	5,5
7	236	0,4	4,9
8	305	0,8	5,5
9	311	0,1	5,6
10	327	1,1	5,7
11	266	1,7	5,2
12	320	0,5	5,7

Рис. 5. Стенной репер наблюдательной станции

Анализ инструментальных наблюдений

Полученные данные вертикальных смещений по результатам нивелировки привели к итоговому виду в виде графиков оседаний реперов по каждой стене исследуемого здания (рис. 6).

Серии сравнивались между собой за весь период наблюдений. Измеренные величины оседаний за период наблюдений в среднем близки к нулю, не превышают $\pm 3 - 4$ мм, в конце периода ± 1 мм. Скорости оседаний смещений реперов достигают 0,3 мм/мес.

По данным графикам в связи с большим количеством проведенных серий наблюдений затруднительно увидеть тенденции отдельных реперов к поднятию или оседанию, поэтому было принято решение пересмотреть оседания с помощью построения изолиний и градиентной заливки по результатам оседаний реперов по 12-ти сериям наблюдений. На рис. 7 представлены наиболее характерные серии наблюдений.

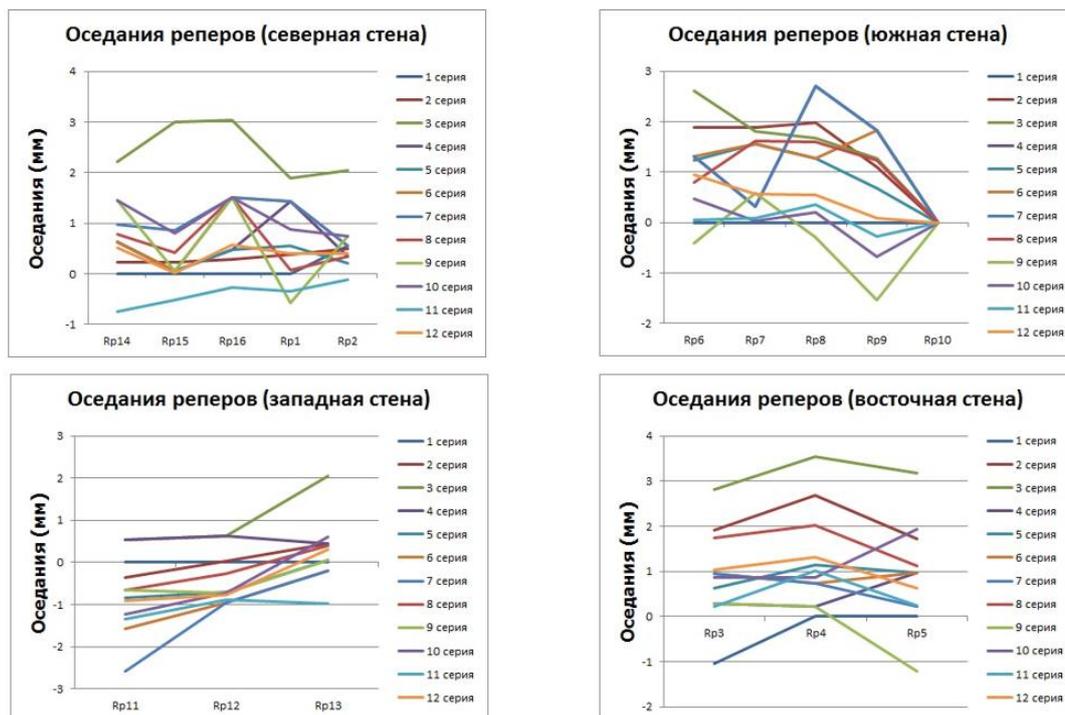


Рис. 6. Графики смещений реперов по каждой из стен здания

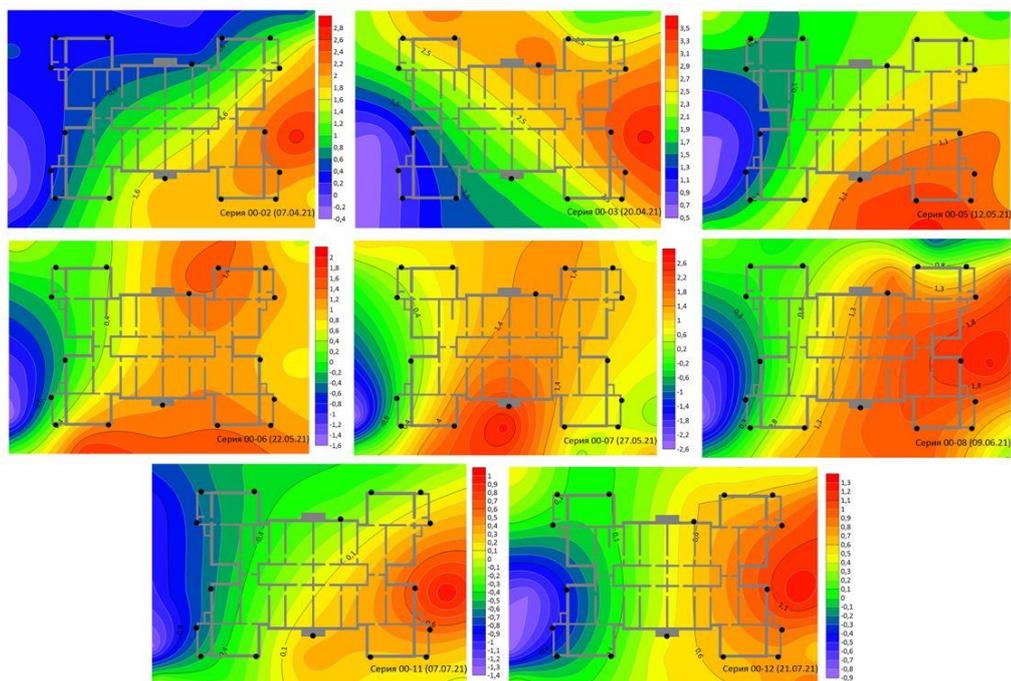


Рис. 7. Изолинии и градиентная заливка вертикальных смещений стенных реперов

По построенным изолиниям и градиентной заливке видно, что имеется тенденция к поднятию грунта у южной и восточной частей здания. Причиной такого поднятия может быть наличие специфических грунтов, склонных к пучению по своим физико-механическим свойствам.

Визуальными наблюдениями установлено, что с восточной стороны здания как раз и наблюдались наибольшие просадки грунта у основания здания и периодические

провалы грунта на территории объекта. И вместе с тем именно с восточной стороны здания еще в 2011 г. были определены зоны возможных просадочных явлений.

Обсуждение результатов и выводы

По результатам исследования литологических особенностей горного массива г. Березовский в 2016 г. было установлено, что массив в результате добычи золота по дайкам буквально пронизан многочисленными пустотами. При этом в местах добычи золота, вдоль тектонических нарушений, присутствуют каолин-гидрослюдистые и каолин-монтмориллонитовые глины, которые склонны к тиксотропному разуплотнению при увлажнении [14].

Детальной информации о положении старых горных работ под исследуемым зданием нет, однако возникновение провалов может свидетельствовать о наличии все еще оставшихся пустот или участков разуплотнения в результате добычи золотосодержащих даек в ходе проведения подземных работ. Зоны разуплотнения могут служить путями миграции инфильтрационных осадков, по которым вода поступает к каолин-гидрослюдистым и каолин-монтмориллонитовым глинам. Эти глины характеризуются склонностью к тиксотропному разуплотнению и в результате механического воздействия (техногенного или природного генезиса) теряют несущие свойства.

Помимо набухающих гидрослюдистых и монтмориллонитовых глин исследуемая территория представлена делювиальными и элювиальными отложениями с обломочными включениями. На отдельных участках суглинки переходят в глины или супеси. 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. В данном случае из-за излишней обводненности почвы можно предположить снижение прочностных свойств суглинков, из-за чего и происходят описанные ранее процессы. Излишняя обводненность могла произойти вследствие регулярного слива сточных вод из-под подвала здания, а также слива дождевой воды с просевшей отмостки сразу в грунт без водоотведения.

Вместе с тем поднятия почвы под зданием могут говорить о процессе пучения глинистых грунтов.

Таким образом, характер деформирования здания и просадки грунта на территории скорее говорит о влиянии целого комплекса факторов. Это наличие в массиве каолин-гидрослюдистых и каолин-монтмориллонитовых глин, обладающих тиксотропными свойствами, снижение несущих свойств глинистых грунтов при водонасыщении, сезонные процессы пучения. Знакопеременный характер деформирования здания как раз свидетельствует о разнообразии механических свойств грунтов, слагающих территорию исследуемого объекта.

Нельзя не упомянуть и конструктивные недостатки самого здания, а именно просадку отмостки и сток сточных вод без водоотведения прямо под здание, а также слив сточных вод из подвала объекта в подстилающий массив.

Список литературы

1. United States Government Accountability Office. ABANDONED HARDROCK MINES Information on Number of Mines, Expenditures, and Factors That Limit Efforts to Address Hazards, 2020, 51 p. URL: GAO-20-238, ABANDONED HARDROCK MINES: Information on Number of Mines, Expenditures, and Factors That Limit Efforts to Address Hazards (дата обращения: 20.04.2022)
2. Uyanga Gankhuyag and Fabrice Gregoire Managing mining for sustainable development: A sourcebook. Bangkok: United Nations Development Programme. *UNDP and UN Environment*, 2018, 116 p.

3. 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106354> (дата обращения 06.02.2022).
4. Tony Waltham, Hyeong-Dong Park, Jangwon Suh (Authors) Collapses of old mines in Korea –Engineering Geology 118 (2011) P. 29–36 Publisher: Elsevier. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.11.007> (дата обращения 06.02.2022).
5. Усанов С.В., Усанова А.В., 2021. Исследование обрушений грунта над неглубокой 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>
6. Колчина М.Е., 2017. Назначение технической оценки объектов капитального строительства на подработанных территориях. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 6, С. 73 - 78.
7. 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.
8. 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
9. Есюнин О., 2015. Город на «круге дырявого сыра». *Инженерная защита*, № 1(6), С. 26 – 35.
10. Мамаев Ю.А., Ястребов А.А., 2015. Комплексная защита подработанной территории калийного рудника в Пермском крае РФ. *Инженерная защита*. № 3(8). С. 26 – 35.
11. Усанов С.В., 2011. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработками. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S11, С. 260 - 266.
12. 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.
13. Шилин А.А., 2009. *Кирпичные и каменные конструкции. Повреждения и ремонт*. Горная книга, 214 с.
14. Далатказин Т.Ш., 2016. Литологические особенности горного массива г. Березовский в прогнозе активизации процесса сдвижения горных пород в случае затопления подземного рудника. *Проблемы недропользования*, № 3 DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.005

References

1. United States Government Accountability Office. ABANDONED HARDROCK MINES Information on Number of Mines, Expenditures, and Factors That Limit Efforts to Address Hazards, 2020, 51 p. URL: GAO-20-238, ABANDONED HARDROCK MINES: Information on Number of Mines, Expenditures, and Factors That Limit Efforts to Address Hazards (data obrashcheniya: 20.04.2022)
2. Uyanga Gankhuyag and Fabrice Gregoire Managing mining for sustainable development: A sourcebook. Bangkok: United Nations Development Programme. *UNDP and UN Environment*, 2018, 116 p.
3. 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106354> (data obrashcheniya: 06.02.2022).

4. Tony Waltham, Hyeong-Dong Park, Jangwon Suh (Authors) Collapses of old mines in Korea –Engineering Geology 118 (2011) P. 29–36 Publisher: Elsevier. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.11.007> (data obrashcheniya: 06.02.2022).
5. Usanov S.V., Usanova A.V., 2021. Issledovanie obrusheniya grunta nad neglubokoi zabroshennoi shakhtoi dlya opredeleniya geotekhnicheskikh uslovii individual'nogo stroitel'stva [Investigation of the collapse of a ground over a shallow abandoned mine to determine the geotechnical conditions of individual construction]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov, Vol. 332, № 8, P. 168 - 173. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/8/3315>
6. Kolchina M.E., 2017. Naznachenie tekhnicheskoi otsenki ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva na podrabotannykh territoriyakh. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii [Purpose of the technical assessment of capital construction projects in the under-worked territories]. Gornyi zhurnal, № 6, P. 73 - 78.
7. Usanova A.V., Usanov S.V., 2014. Geomekhanicheskaya informatsionnaya model' vliyaniya likvidirovannogo podzemnogo rudnika v gorode Verkhnyaya Pyshma. Marksheideriya i nedropol'zovanie [Geomechanical information model of the impact of a liquidated underground mine in the city of Verkhnyaya Pyshma], № 5., P. 38 – 40.
8. Usanov S.V., Usanova A.V., 2020. Obosnovanie mer bezopasnosti pri za-stroike territorii nad starymi gornymi vyrabotkami po rezul'tatam kompleksnykh issledovaniy [Justification of safety measures in the construction of territories over old mining workings based on the results of comprehensive studies]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 3 – 1, P. 246 - 254. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-246-254
9. Esyunin O., 2015. Gorod na "kruge dyryavogo syra". Inzhenernaya zashchita [The city on the "circle of leaky cheese"], № 1(6), P. 26 – 35.
10. Mamaev Yu.A., Yastrebov A.A., 2015. Kompleksnaya zashchita podrabotannoi territorii kaliinogo rudnika v Permskom krae RF [Comprehensive protection of the developed territory of a potash mine in the Perm Region of the Russian Federation]. Inzhenernaya zashchita. № 3(8). P. 26 – 35.
11. Usanov S.V., 2011. Metodika otsenki bezopasnosti zastroiki territorii nad starymi gornymi vyrabotkami. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Methodology for assessing the safety of the development of territories over old mine workings], № S11, P. 260 - 266.
12. 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. Ekaterinburg: Ural'skii rabochii [Berezovskoye gold deposit (history and mineralogy): scientific publication], 200 p.
13. Shilin A.A., 2009. Kirpichnye i kamennye konstruktsii [Brick and stone structures. Damages and repairs]. Povrezhdeniya i remont. Gornaya kniga, 214 p.
14. Dalatkazin T.Sh., 2016. Litologicheskie osobennosti gornogo massiva g. Berezovskii v prognoze aktivizatsii protsessa sdvizheniya gornykh porod v sluchae zatopeniya podzemnogo rudnika [Lithological features of the Berezovsky rock massif in the forecast of activation of the process of rock movement in the case of flooding of an underground mine]. Problemy nedropol'zovaniya, № 3 DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.005.