

УДК 662.834:622.272

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

**АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
ПО СТАРЫМ ШАХТАМ ЗОЛОТОРУДНЫХ  
ДАЕК АННЕНСКАЯ И АНИКИНСКАЯ  
ДЛЯ ПРОГНОЗА БЕЗОПАСНОСТИ  
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ\***

*Аннотация:*

*Объектом исследования являются горные выработки Березовского золоторудного месторождения по дайкам Анненская и Аникинская, а также по россыпи золота. Цель работы – спрогнозировать на участке развитие процесса сдвижения от старых подземных горных работ и оценить безопасность строительства производственного здания нормального уровня ответственности, рекомендовать мероприятия по обеспечению безопасности эксплуатации.*

*Методы исследования: анализ исторических горно-геологических материалов по разработке золоторудных даек, геоинформационное моделирование, инструментальные исследования структуры массива горных пород, маршрутное обследование территории, поиск данных о провалах поверхности по базе данных.*

*Оценено состояние пород подработанного горного массива, сделан прогноз развития процесса сдвижения и даны рекомендации по безопасному использованию подработанного земельного участка. Результаты исследований используются на стадии планирования территории и позволяют снизить риск аварий и чрезвычайных ситуаций при эксплуатации территорий в местах залегания подземных горных выработок, повышают безопасность населения, способствуют устойчивости зданий.*

*Ключевые слова: сдвижение, старые горные выработки, шахта, геофизические исследования, безопасность, прогноз и оценка, рекомендации по застройке.*

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.070

**Usanov Sergey V.**  
Head of the 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)

**ANALYSIS OF HISTORICAL DATA  
ON THE OLD MINES  
OF THE ANNENSKAYA  
AND ANIKINSKAYA GOLD DIKES  
FOR PREDICTING THE SAFETY  
OF THE EARTH'S SURFACE**

*Abstract:*

*The object of the study is the mining of the Berzovsky gold deposit on the Annenskaya and the Anikinskaya dykes, as well as on the placer of gold. The purpose of this work is to forecast the development of the process of moving away from old underground mining operations at the site and to assess the safety of the construction of a production building of a normal responsibility level, as well as to recommend measures to ensure the safety of operation.*

*Research methods are: analysis of historical mining and geological materials about the development of gold ore dikes, geoinformation modeling, instrumental studies of the structure of the rock mass, route survey of the territory, and search for data about surface failures in the database.*

*The condition of the rocks of the worked-up mountain massif is assessed, a forecast of the development of the displacement process is made and recommendations are given for the safe use of the worked-up land plot. The results of the research are used at the planning stage of the territory, and they allow to reduce the risk of accidents and emergencies during the operation of territories in places of underground mining, increase the safety of the population, and contribute to the stability of buildings.*

*Key words: displacement, old mine workings, mine, geophysical research, safety, forecast and assessment, recommendations for development.*

*Введение*

На подработанных территориях происходят деформации земной поверхности, и они распространены во всем мире [1– 6]. Особенным случаем являются территории над старыми шахтами, которые разрабатывались в 18 – 19 веках [7, 8]. Важным отличием от современных шахт являются скудные сведения о геометрических и пространственных данных разработки, их низкая точность и долгое бесконтрольное пребывание в подземном пространстве. В таких случаях для оценки безопасности поверхности над старой шахтой большое значение имеет каждая деталь, которая могла бы указать на место

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания № 075-00412-22 ПР, тема No (FUWE-2022-0003), рег. No1021062010536-3-1.5.1.

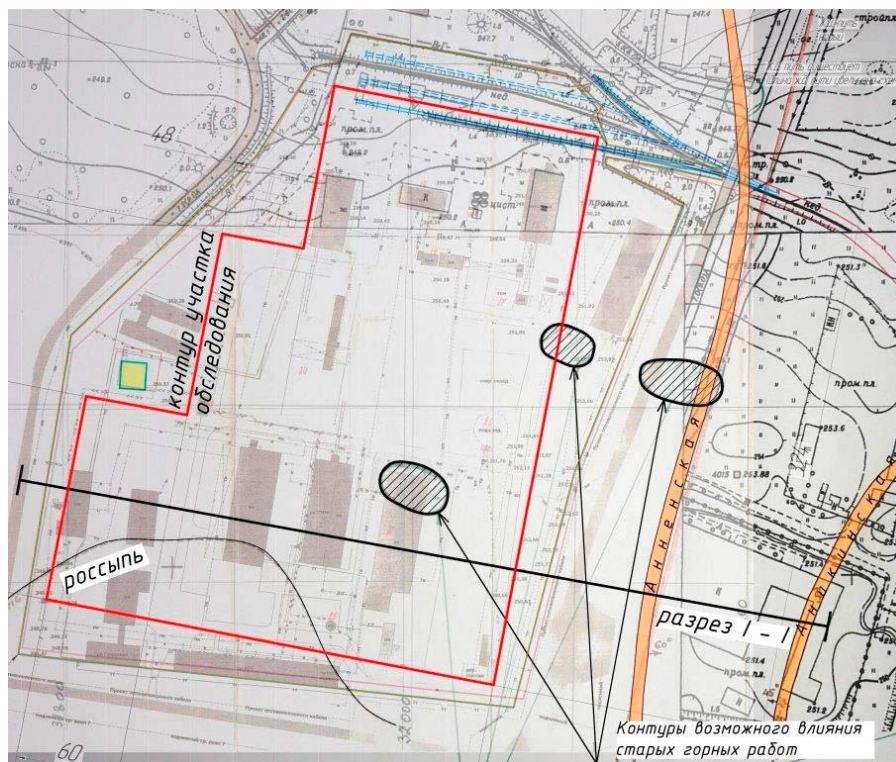
горных выработок, их влияние на поверхность, глубину разработки и др. К историческим данным, которые используются для анализа, относятся краткие текстовые сведения о старых горных разработках месторождения или конкретного фрагмента земной поверхности, географические характеристики, изображения, характеризующие горно-геологическую ситуацию, формы рельефа и др. Все эти характеристики способствуют реставрации модели подработки участка, являющейся основой для выбора инструментальных методов исследования и прогноза деформаций поверхности.

Безопасность застройки подработанных территорий необходимо оценивать на основе комплекса исследований, включающего методы геодезических и геофизических исследований [9 – 11], а также маршрутное обследование поверхности. 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 [9 – 12].

По таким методикам исследовано более 4 км<sup>2</sup> подработанных территорий в городах Свердловской и Челябинской областей, Пермского края, Республики Коми, Республики Казахстан [7 – 13]. Безаварийная эксплуатация зданий (в том числе жилых многоэтажных) и сооружений на обследованных площадях подтверждает эффективность методик.

#### Объект исследования

Земельный участок в г. Березовский Свердловской области расположен на площади Березовского золоторудного месторождения. Исторические данные предоставлены недропользователем и представляют собой текст объемом 200 слов и одно растровое изображение поверхности участка, где отмечены расположения золоторудных даек и некоторые контуры возможного распространения подземных горных работ. Вблизи участка были старые шахты, которые разрабатывали дайки Анненская, Аникинская и небольшие россыпи золота (рис. 1). В настоящее время горные работы здесь не ведутся, запасов, подлежащих отработке, не числится.



Примечание. Красным выделена граница исследований

Рис. 1. Границы влияния подземных горных работ от старых шахт даек Анненская и Аникинская

Площадка исследований находится в северо-западной части города. Со всех сторон она ограничена промышленной застройкой. На участке были построены здания 20 века. Поверхность имеет естественный рельеф. Площадь исследуемой территории составляет 0,068 км<sup>2</sup>. От всей площади Березовского месторождения [8] участок составляет 0,3 %. Однако по сравнению с размерами других участков, которые в практике строительства на подработанных территориях чаще всего исследуются на предмет безопасности и составляют 0,01 км<sup>2</sup> [7, 8, 12], площадь исследований довольно велика.

Дайка Анненская простирается в субмеридиональном направлении восточнее участка на 100 м и имеет крутое восточное падение под углом 60°. По историческим данным в районе участка дайка подверглась горным работам на глубину до 18 м. Однако достоверные данные о местах ведения горных работ и их объеме отсутствуют. В центре участка достоверно отмечено две локальные области, где были разработки. На остальной территории сведения о разработках отсутствуют. С учетом падения и простираения дайки Анненская подземные горные выработки должны находиться за пределами участка. Возраст возможных горных разработок составляет более 100 лет.

Восточнее дайки Анненская параллельно залегает дайка Аникинская, которая имеет наклонное западное падение под углом 45°. Сведения о разработке дайки отсутствуют, но направление падения рудного тела под участок обусловило необходимость ее учета при оценке безопасности застройки.

Под южной частью участка залегает россыпь. Россыпь – почвенный пласт в виде скопления рыхлого или цементированного обломочного материала, содержащего в виде зерен, их обломков или агрегатов ценные минералы. Россыпь разрабатывалась подземным способом в период 1825 – 1838 гг. Система разработки – столбы с поверхности на глубину до 10 м. Детальные сведения о расположении столбов и разведочных шурфов отсутствуют.

О наличии подземных капитальных вертикальных (шурфы, лихты, шахты) и горизонтальных (штреки) горных выработок под участком сведения отсутствуют.

#### *Геоинформационная геомеханическая модель подработки участка*

На основе геометрических характеристик залегания золоторудных даек вблизи участка и информации о расположении россыпи сделана двумерная модель подработки участка (рис. 2). Модель представляет собой вертикальный горно-геологический разрез массива горных пород под участком исследования, на который спроецированы данные

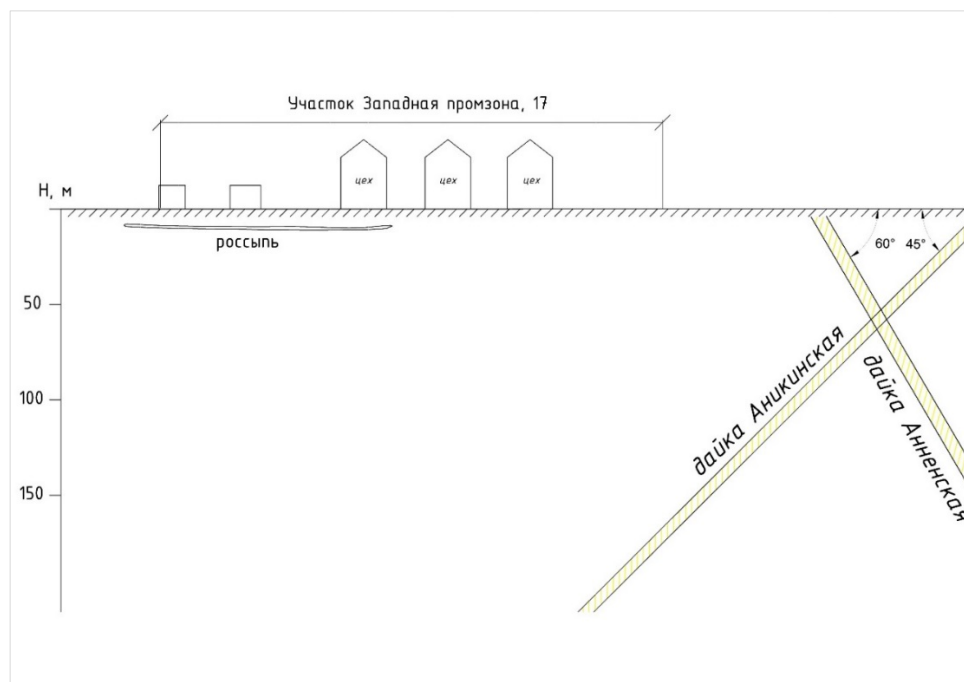


Рис. 2. Геоинформационная геомеханическая модель подработки участка подземными выработками старых шахт проходит через линию I-I на рис. 1

о подработке. Из модели очевидно, что добычные горные выработки по дайкам расположены за пределами и не могут оказывать влияние на поверхность участка. Опасность могут представлять только горные выработки по россыпи и незадокументированные разработки, которые в данном случае могут быть разведочными и/или дренажными.

Таким образом, для застройки участка наибольшую опасность представляют разработки россыпи в южной части. Разведочные и дренажные выработки теоретически не смогут принести разрушительный вред для зданий, но могут влиять на горизонтальное положение конструкций и оборудования.

#### *Маршрутное обследование поверхности*

В настоящее время на участке находятся старые производственные объекты в аварийном состоянии, построенные в XX веке. Обследование выполнено с поверхности при обходе территории и с беспилотного летающего аппарата. Внимание уделено состоянию зданий и участкам поверхности, где проявляются особенности рельефа, соответствующие проявлению влияния горных разработок.

Установлено, что здания находятся в аварийном состоянии и имеют следы деформаций стен, характерных для проседания грунтов и фундаментов. Следы современного и активного влияния подземных горных работ в виде изменений рельефа на участке в явном виде не обнаружены, но зафиксировано два локальных понижения рельефа глубиной 0,4 м и диаметром 2 м. В районе залегания россыпи признаков влияния горных работ на поверхность не обнаружено.

С беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и исторических космических снимков следов опасного влияния подземных горных работ не обнаружено.

В результате анализа «Журналов эскизов замера провалов на поверхности и обрушений в подземных выработках по территории Березовского рудника имени Кирова» за период 1957 – 2014 гг. в районе участка не зарегистрировано ни одного случая обрушения поверхности или других опасных явлений.

#### *Основные результаты анализа исторических данных*

Условия подработки участка следующие:

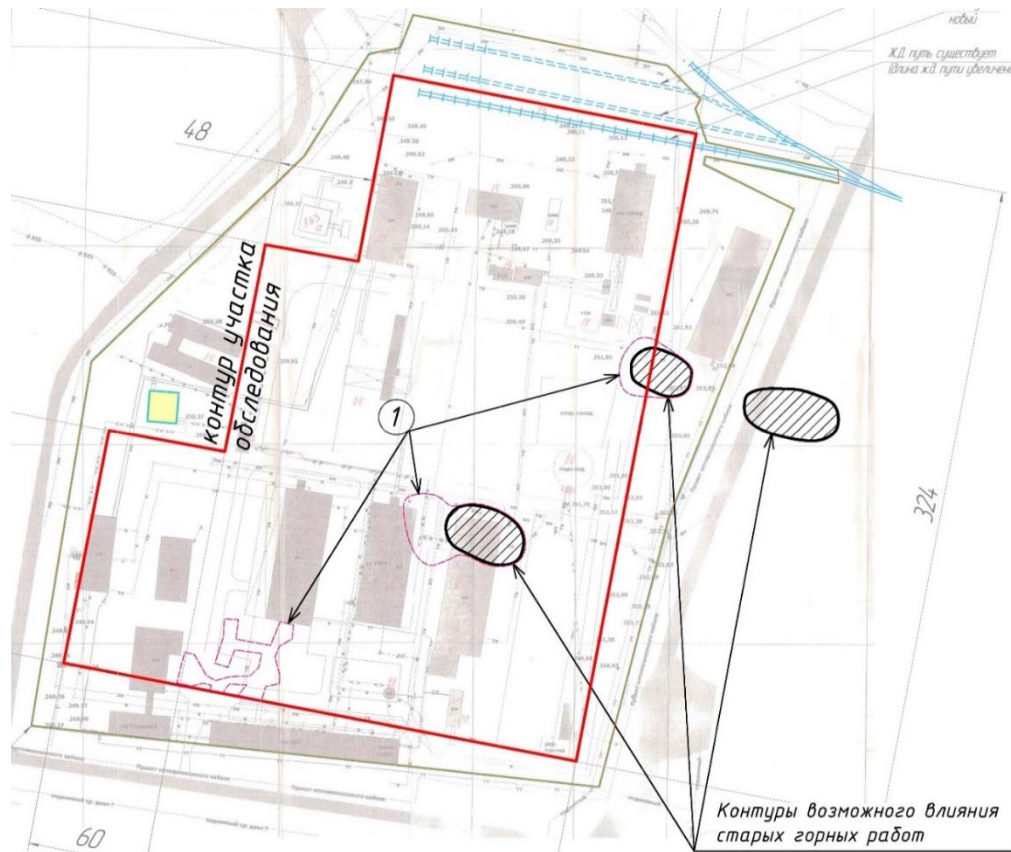
- возраст горных выработок более 100 лет;
- добычные горные работы по разработке золоторудных даек расположены за пределами участка;
- разведочные горные работы могут быть распространены по всему участку;
- максимальная глубина очистных горных выработок по разработке россыпи достигает 10 м;
- горные разработки россыпи представляют для застройки наибольшую опасность и сосредоточены в южной части;
- капитальные горные выработки не зарегистрированы;
- провалы поверхности, которые относятся к опасным проявлениям от горных работ, при натурном обследовании не обнаружены;
- на участке провалы и трещины поверхности по базе провалов города Березовский не зарегистрированы;
- режим грунтовых вод – стационарный;
- участок застроен промышленными зданиями, которые имеют следы локальных деформаций, характерных при проседании грунтов;
- наблюдения за деформациями поверхности не ведутся;
- доступ в выработанные пространства отсутствует.

#### *Поиск пустот электроразведкой методом сопротивлений в площадном варианте*

В районе россыпи электроразведкой методом сопротивлений по методике среднего градиента определено положение старательских горных работ по россыпи по аномальным значениями  $\rho_k$  70 – 110 Ом·м относительно неизменных суглинистых грунтов со значениями  $\rho_k$  15 – 55 Ом·м. Грунты, определенные как подработанные, обладают ухудшением несущей способности.

### Прогноз деформаций поверхности

В результате исследований установлено, что пустот размерами выше разрешающей способности методов исследования не обнаружено. В районе россыпи выделены контуры подземной разработки, но без наличия пустот (рис. 3). Выявленные структурные особенности не относятся к непогашенным пустотам, поэтому следует считать, что поверхность участка и горный массив под ним в настоящее время устойчивы.



Примечание. Контуры нарушенных горными разработками грунтов обозначены цифрой 1.

Рис. 3. Контуры грунтов, нарушенных подземными горными разработками

Медленные дезинтеграционные процессы от старых горных выработок способны периодически накапливаться и вызывать в обозначенных участках локальные проседания поверхности. Из возможных вредных проявлений от старой подземной разработки могут произойти локальные просадки диаметром до 2 – 3 м и глубиной до 1,5 м. Периодичность просадок для данного участка составит одно событие в 80 лет. Они развиваются чаще всего в весенний и осенний периоды, когда количество атмосферных осадков увеличивается. Эти параметры установлены из анализа базы провалов на Березовском месторождении, охватывающей более 1100 случаев за 57 лет [14]. За это время небольшие проседания под зданиями в г. Березовский проявлялись неоднократно и не вызывали аварийных разрушений конструкций при своевременном принятии восстановительных мер.

### Оценка безопасности

Строительство промышленных объектов нормального уровня ответственности не инициирует развитие опасных процессов в грунтах, так как отсутствуют пустоты. Поэтому застройка этой территории возможна без геотехнических мероприятий по укреплению грунтов и без усиления конструкции зданий. Следует исключить размещение опор технологического оборудования и/или фундаментов под оборудование в пределах

выделенных контуров старых горных работ. Чтобы обеспечить стационарный режим подземных вод в районе проектируемых объектов, необходимо соорудить отстойку с отведением воды от зданий в дождевую канализацию или на расстояние не менее 5 м.

#### Заключение

Участок в районе подземной разработки старыми шахтами золоторудных даек Анненская и Аникинская обследован комплексом специализированных методик, включающих натурное обследование поверхности, в том числе с БПЛА, анализ исторических горно-геологических материалов по подработке участка, геофизические зондирования массива горных пород, поиск сведений о деформировании поверхности по базе провалов. Экспертной оценкой геомеханической ситуации установлено, что процесс сдвигания не развивается. Полости опасных размеров инструментальными методами на участке не обнаружены. В результате исследований удалось сократить площадь риска развития опасных процессов на участке до 0,006 км<sup>2</sup>, что составляет менее 10 % от всей площади участка.

Участок пригоден для застройки производственными объектами нормального уровня ответственности. Установленных границ слабых грунтов следует избегать при посадке зданий и сооружений в границах участка. Рекомендованы общие и специальные мероприятия для обеспечения безопасности строительства и эксплуатации промышленного объекта на подработанной территории.

#### Список литературы

1. Uyanga Gankhuyag and Fabrice Gregoire, 2018. *Managing mining for sustainable development: A sourcebook*. Bangkok: United Nations Development Programme. Uyanga Gankhuyag. 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*, Vol. 205, 106354. DOI: 10.1016/j.gexplo.2019.106354
3. *Post-Mining Regions in Central Europe. Problems, Potentials, Possibilities*, 2012. Editors: Peter Wirth, Barbara Černič Mali, Wolfgang Fischer. München: Oekom, 274 p.
4. Peng Wen, Wenbing Guo, Yi Tan, Erhy Bai, Zhibao Ma, Dongtao Wu, Weiqiang Yang, 2022. *Paste Backfilling Longwall Mining Technology for Thick Coal Seam Extraction under Buildings and above Confined Aquifers: A Case Study*, April, *Minerals* 12(4):470. DOI: 10.3390/min12040470
5. Zhang M., Zhang Y., Ji M., Jiao P., 2019. Research on reasonable mining scheme for coal recovery in thick coal seam under buildings and other structures. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, February 67 (2):90-98
6. Denghong Chen, Hua Xinzhu, 2011. Study on Optimization of Mining Method Under Buildings December. *Procedia Engineering* 26:2400-2405. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2451.
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., 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 – 176. DOI: 10.18799/24131830/2021/8/3315.
9. Мельник В.В., 2021. Геомеханический мониторинг геофизическими методами при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. *Проблемы недропользования*, № 4(31), С. 36 – 43. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.036. – EDN NWOQQF.

10. Usanova A.V., Usanov S.V., 2018. Monitoring of Ground Surface Displacement under Mining of the Sokolovo-Sarbai Deposit by the Radar Interferometry Method. *Journal of Mining Science*, Vol. 54, № 4, P. 556 – 560. DOI: 10.1134/S1062739118044002
11. 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.
12. 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
13. Сашурин А.Д., Мельник В.В., Балек А.Е. и др., 2022. *Геомеханические аспекты недропользования*. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 256 с. DOI: 10.25635/j5035-6134-1492-n. – EDN QGEIOJ.
14. Зуев П.И., 2019. Районирование подработанных территорий в ГИС на примере г. Березовский. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S37, С. 376 - 384. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-376-384

### References

1. Uyanga Gankhuyag and Fabrice Gregoire, 2018. *Managing mining for sustainable development: A sourcebook*. Bangkok: United Nations Development Programme. Uyanga Gankhuyag. 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*, Vol. 205, 106354. DOI: 10.1016/j.gexplo.2019.106354
3. *Post-Mining Regions in Central Europe. Problems, Potentials, Possibilities*, 2012. Editors: Peter Wirth, Barbara Černič Mali, Wolfgang Fischer. München: Oekom, 274 p.
4. Peng Wen, Wenbing Guo, Yi Tan, Erhy Bai, Zhibao Ma, Dongtao Wu, Weiqiang Yang, 2022. *Paste Backfilling Longwall Mining Technology for Thick Coal Seam Extraction under Buildings and above Confined Aquifers: A Case Study*, April, *Minerals* 12(4):470. DOI: 10.3390/min12040470
5. Zhang M., Zhang Y., Ji M., Jiao P., 2019. Research on reasonable mining scheme for coal recovery in thick coal seam under buildings and other structures. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, February 67 (2):90-98
6. Denghong Chen, Hua Xinzhu, 2011. Study on Optimization of Mining Method Under Buildings December. *Procedia Engineering* 26:2400-2405. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2451.
7. 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]. *Markshei-deriya i nedropol'zovanie*, № 5, P. 38 – 40.
8. Usanov S.V., Usanova A.V., 2021. Issledovanie obrushenii grunta nad neglubokoi zabroshennoi shakhtoi dlya opredeleniya geotekhnicheskikh uslovii individual'nogo stroitel'stva [Investigation of ground failure over a shallow abandoned mine to determine the geotechnical conditions of individual construction]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhini-ring georesurosov*, Vol. 332, № 8, P. 168 – 176. DOI: 10.18799/24131830/2021/8/3315 //–
9. Mel'nik V.V., 2021. Geomekhanicheskii monitoring geofizicheskimi metodami pri razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh otkrytym sposobom [Geomechanical monitoring by geophysical methods in the development of mineral deposits during open method development]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(31), P. 36 – 43. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.036. – EDN NWOQF.

10. Usanova A.V., Usanov S.V., 2018. Monitoring of Ground Surface Displacement under Mining of the Sokolovo-Sarbai Deposit by the Radar Interferometry Method. *Journal of Mining Science*, Vol. 54, № 4, P. 556 – 560. DOI: 10.1134/S1062739118044002

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

12. Usanov S.V., Usanova A.V., 2020. Obosnovanie mer bezopasnosti pri zastroiike 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

13. Sashurin A.D., Mel'nik V.V., Balek A.E. i dr., 2022. Geomekhanicheskie aspekty nedropol'zovaniya [Geomechanical aspects of subsurface use]. Ekaterinburg: Ural'skoe otделение RAN, 256 p. DOI: 10.25635/j5035-6134-1492-n. – EDN QGEIOJ.

14. Zuev P.I., 2019. Raionirovanie podrobotannykh territorii v GIS na primere g. Berezovskii [Zoning of the underworked territories in GIS on the example of Berezovsky]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S37, P. 376 – 384. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-376-384