

УДК 622.831:528.5

Винальева Екатерина Алексеевна
младший научный сотрудник,
лаборатория сдвига горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58

НЕОБХОДИМОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ*

Аннотация:

Использование подработанных территорий связано с возможной активизацией незавершенных процессов сдвига и, как следствие, образованием провалов, а также риском сильной деформации земной поверхности, влекущей за собой повреждения зданий и сооружений [1]. Степень повреждений зависит от характера и параметров текущего процесса сдвига при подземной добыче полезных ископаемых и варьируется в широких пределах, начиная с появления трещин на стенах и потолка здания, заканчивая полным разрушением инфраструктуры. Отличительной особенностью населенных пунктов, связанных с подземной добычей полезных ископаемых, является непосредственное соприкосновение их территорий с горными отводами. Особенно это заметно на Урале, где горные работы ведутся более 300 лет. За это время развитие урбанизации обусловило перемежаемость застраиваемых и подработанных территорий. Подработанные участки, не задействованные в хозяйственном обороте, превращаются в пустыри и свалки. Между тем, городские коммуникации (дороги, линии электропередач, водопроводы и т.д.) развиваются и нуждаются в увеличении площадей для их размещения. Экономические и социальные проблемы вызваны наличием потенциально опасных земель в черте города, отсутствием свободных земельных участков. Следовательно, эти проблемы могут быть решены в уральских городах (Березовский, Верхняя Пышма, Дежарск, Екатеринбург, Каменск-Уральский, Красноуральск, Нижний Тагил, Пермь и т.д.), где подработанные территории находятся в экономически освоенных и застроенных районах [2]. В статье рассмотрены методы, используемые для мониторинга процесса сдвига земной поверхности, а также различные техногенные и природные факторы. В качестве примера в данной работе рассматривается Сарановское месторождение хромитовых руд.

Объектом обзора является процесс сдвига горных пород.

Целью работы является обзор факторов, оказывающих влияние на продолжительность процесса сдвига после окончания горных работ.

Ключевые слова: мониторинг, тахеометр, геодезические приборы, нивелир, земная поверхность, измерения, деформации, сдвигение, анализ, подработанные территории, суперинтенсивные деформации.

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.04.087

Vinalyeva Ekaterina A.
Junior Researcher,
Laboratory of rock shifting,
Institute of Mining UB RAS,
620759 Ekaterinburg?
58 Mamina-Sibiryaka Str.,

NECESSITY OF INVESTIGATION FOR DURATION OF THE SHEAR PROCESS AFTER THE END OF MINING WORKS USING INSTRUMENTAL OBSERVATIONS

Abstract:

The use of mined areas is associated with the possible activation of incomplete shear processes and, as a consequence, the formation of failures, as well as the risk of severe deformation of the earth's surface, resulting in damage of buildings and structures. The degree of damage depends on the nature and parameters of the ongoing shear process during underground mining and varies widely, ranging from cracks in building walls and ceilings to complete destruction of infrastructure. A distinctive feature of settlements associated with underground mining is the direct contact of their territories with mining allotments. This is especially noticeable in the Urals, where mining operations have been carried out for more than 300 years. During this time, the development of urbanization has caused the interchangeability of built-up and mined areas. The mined areas that are not used in economic turnover became wastelands and dumps. Meanwhile, urban communications (roads, power lines, water pipelines, etc.) are developing and need more space to accommodate them. Economic and social problems are caused by the presence of potentially hazardous lands within the city limits, lack of free land plots. Therefore, these problems can be solved in the Ural cities (Berezovsky, Verkhnyaya Pyshma, Degtyarsk, Ekaterinburg, Kamensk-Uralsky, Krasnoturyinsk, Nizhny Tagil, Perm, etc.) where the mined areas are located in economically developed and built-up areas. The paper discusses the methods used to monitor the process of earth surface shear, as well as various anthropogenic and natural factors. The Saranovskoye chromite ore deposit is considered as an example in this paper.

Key words: monitoring, total station, geodetic instruments, leveller, earth surface, measurements, deformation, shear, analysis, mined areas, superintense deformations.

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

Введение

Интенсивное развитие промышленности в XX веке привело к масштабному освоению недр Земли, в результате чего значительные территории, ранее пригодные для жизни, оказались подработанными горными выработками. Последние два десятилетия наблюдается стремительный рост потребности в освоении таких территорий для строительства инфраструктуры. Закрытие горнодобывающих предприятий создало парадоксальную ситуацию: объемы строительства на территориях, подлежащих подработке, стали превышать объемы на уже подработанных площадях. Ситуация осложняется тем, что даже после закрытия шахт геомеханические и гидрогеологические процессы в толще пород и на поверхности земли продолжают. Отсутствие доступа к горным выработкам не позволяет контролировать эти процессы. Одним из ключевых факторов, затрудняющих строительство на подработанных территориях, является изменение земной поверхности вследствие подземной добычи. Это может вызывать провалы, оседание поверхности, деформацию и разрушение зданий и сооружений. В настоящее время отсутствует единый подход к оценке возможности застройки подработанных территорий. Разработка научно обоснованного подхода, учитывающего динамику деформаций, является актуальной задачей как для науки, так и для практики [3].

Методы мониторинга процесса сдвижения земной поверхности

Для мониторинга процесса сдвижения земной поверхности после ликвидации шахты и при завершении горных работ на локальных участках рекомендуется применять следующие методы:

1. Геодезический мониторинг: этот метод позволяет отслеживать деформации земной поверхности, фиксируя изменения в высоте и положении контрольных точек. Полученные данные используются для выявления сдвижений массивов горных пород и оценки их динамики после окончания горных работ. Современные технологии, такие как дроны, спутниковая съемка и искусственный интеллект, открывают новые возможности для более точного и оперативного мониторинга и анализа данных [4].

2. Сейсмометрия: сейсмометры регистрируют сейсмическую активность, которая может свидетельствовать о процессе сдвижения. Метод позволяет обнаружить даже незначительные изменения в структуре грунта и определить зоны, где вероятно возникновение деформаций.

3. Мониторинг состояния зданий и инфраструктуры: регулярный осмотр зданий и инфраструктуры позволяет выявить повреждения, связанные с процессом сдвижения. Это способствует предотвращению аварий, обеспечивает безопасность эксплуатации и продлевает срок службы объектов. Мониторинг включает проверку фундаментов, стен, перекрытий, кровли, инженерных систем и других элементов конструкции. Данные мониторинга используются для принятия решений о необходимости ремонта или реконструкции объекта [5].

4. Моделирование и анализ данных: с помощью компьютерного моделирования и анализа данных можно предсказывать и изучать процесс сдвижения, получая ценную информацию о его динамике.

Процесс сдвижения земной поверхности после подземной добычи: факторы влияния и зависимость от глубины отработки

При существующих различных методах оценки параметров процесса сдвижения в настоящее время не существует единого системного подхода к определению возможности застройки территории, отработанной подземной добычей полезных ископаемых. Подработанные территории могут быть безопасно использованы в хозяйственной деятельности только после завершения процесса сдвижения. Для месторождений руд черных металлов Урала и Казахстана опытным путем установлено, что в условиях полной

отработки земной поверхности общая продолжительность процесса сдвижения после прекращения очистных работ и погашения пустот в данном районе ориентировочно определяется зависимостью от глубины отработки (рис. 1) [6].

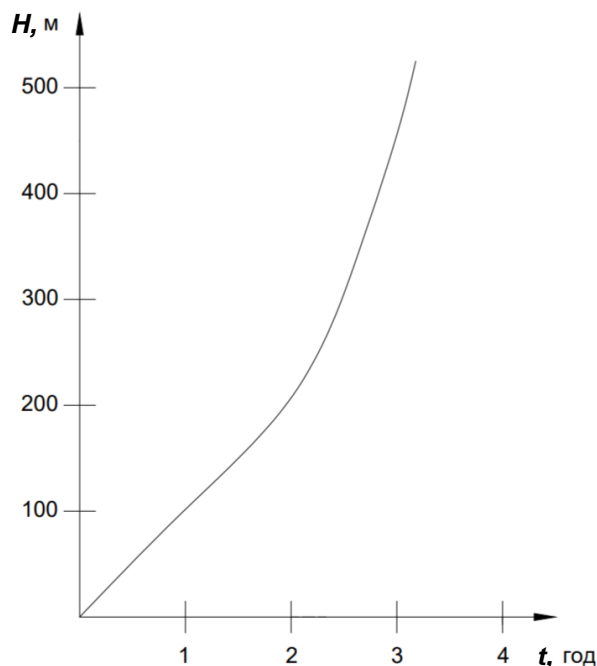


Рис.1 Зависимость глубины отработки от продолжительности процесса сдвижения

В реальных же условиях процесс сдвижения является комплексным, так как на него влияет не только глубина разработки, но и различные техногенные факторы, характеризующие структурные особенности массива горных пород, прочностные свойства, геометрические параметры рудных тел и глубина их залегания (они определяют основные закономерности процесса сдвижения), применяемые системы разработки (относятся к основополагающим факторам, позволяющим судить о характере процесса сдвижения), квалификация и опыт персонала, эффективность управления рисками и планирования операций, интенсивность нагрузки (чем больше нагрузка на грунт, тем быстрее происходит процесс сдвижения), вибрация (вибрация от транспорта, строительных или взрывных работ может вызывать дополнительное напряжение в грунте и ускорять процесс сдвижения). К непостоянно действующим факторам, но оказывающим также существенное влияние на сдвижение, относятся крупные тектонические нарушения, неровный рельеф поверхности, обводненность пород и т.п. Их влияние слабо изучено и устанавливается в каждом конкретном случае отдельно [7].

Одним из важных параметров, определяющих развитие катастрофических деформационных процессов, является геодинамическая активность массива, проявляющаяся в виде современных геодинамических движений, формирующих его напряженно-деформированное состояние. По масштабу воздействия они подразделяются на локальные, региональные и глобальные, с меняющимися в зависимости от этого степенью локализации, характером и интенсивностью проявлений, как можно видеть в табл. 1 [8].

Также стоит отметить, что в ходе непрерывного мониторинга были обнаружены короткопериодные движения суточного масштаба, не связанные с землетрясениями и регистрируемые как геодезическими, так и сейсмическими методами. Деформации, обусловленные этими движениями, могут достигать значений до 10^{-3} на интервалах от десятков метров до пяти – шести километров. Такие движения способны прямым или косвенным образом влиять на объекты недропользования путем достижения критиче-

ских значений в деформациях, обусловленных всплеском амплитуд движений, а также через проявление усталостных эффектов в конструкциях сооружений и через изменение свойств массива горных пород в разломных зонах под влиянием переменных циклических нагрузений [9].

Таблица 1

Факторы геодинамических движений

Факторы	Масштаб	Период воздействия	Типичные значения деформаций
Планетарные эндогенные процессы: явления тепловой, химико-плотностной конвекции, изостазии и т.п.	Глобальный, региональный уровни	$\geq 10^2$ лет	$< 10^{-5}$
Метеорологические экзогенные воздействия (осадки, температура, атмосферное давление)	Глобальный, региональный уровни	сутки месяц год	10^{-5} -10^{-8}
Астрономические (лунно-солнечные приливы)	Глобальный, региональный уровни	часы сутки неделя	10^{-8} -10^{-9}
Геологические процессы (карст, оползни, тектоника и т.п.)	Локальный, региональный уровни	$\geq 10^0$ лет	10^{-3} -10^{-4}
Техногенные воздействия (горные работы, строительство)	Локальный уровень	10^0 -10^1 лет	10^{-3}

Кроме того, известен особый тип аномальных деформационных процессов, приуроченных к зонам тектонических нарушений, получивший название суперинтенсивных деформаций. Среднегодовые скорости для них чрезвычайно высоки и составляют величины порядка $2 - 7 \cdot 10^{-5}$ /год. Эти аномальные движения высокоамплитудны (50 - 70 мм/год), короткопериодичны (0.1 – 1.0 года), пространственно локализованы (0.1–1.0 км), обладают пульсационной и знакопеременной направленностью [9].

С точки зрения нелинейных динамических систем суперинтенсивные деформации являются параметрически индуцированными малыми природно-техногенными воздействиями в обстановке квазистатического режима нагружения геологической среды. Такие деформационные процессы опасны для объектов недропользования, поскольку способны накапливать в среде напряжения около $1 \div 5$ Мпа в течение первых десятков лет. Эти напряжения сопоставимы с порогом прочности конструкционных материалов, и в связи с этим возможно проявление их значительного и необратимого изменения в областях максимального проявления суперинтенсивных деформаций. Исследования показали, что суперинтенсивные деформации зачастую индуцируются в районах добычи полезных ископаемых, а также на участках точечной застройки на урбанизированных территориях [9].

Мониторинг деформаций на Сарановском месторождении хромитовых руд

В качестве примера в данной работе рассматривается Сарановское месторождение хромитовых руд, расположенное на западном склоне Среднего Урала в Горнозаводском районе Пермского края. Наблюдения на данном месторождении ведутся с 1980 года. Создана база данных для прогнозирования развития деформационного процесса земной поверхности и выявления потенциально опасных деформаций с целью

выбора местоположений зданий и сооружений для обеспечения их устойчивости [10]. В качестве примера взят участок профильной линии 5, а именно с 14 до 21 репер. Горные работы в данной области велись в период с 1973 по 2009 год. Матрица скоростей оседаний для данного участка приведена на рис. 2.

Годы	Rp14	Rp15	Rp16	Rp17	Rp18	Rp19	Rp20	Rp21
2023	2	1	3	3	3		-7	
2022	8				3		8	
2021	1	37,9	0	-1	5			
2020	2	2	2	2	2			
2019	5	3	4	4	3			
2018	3,3	2,8	2,5	2,8	2,8	3	2,5	3,3
2014	1	3	2	1	1	2	2	-8
2013	-4	-4	-2	-2				
2012	-12	-11	-12	-13				
2011	-4	0	0	0				
2010	50,8	-4	15,9	17,9				
2009	15,1	17,1	-1	-3				
2008	-8	-16	-16	-13				
2007	2	1	-2	-5				
2006		4	6	5				
2005		9	9	18,9				
2004		4,5	4,5	-1				
2002		12,7	12,5	20,5				
2000			6	-7				
1999		-21	-14	-15				
1998		12	9	11				
1997		-49	-45	-44				
1996		-8,4	-9,6	-11				
1995		1,4	1,4	1,9				
1993		-5,5	-5,5	-4,6				
1992				4,4				
1991								
1990								
1988								
1987		-8		-2	-4			
1985		1	0	2	4			
1984		7,5	-3,4	0	23,2			
1983		-59	7,4	-5,6	-50			
1982		-60	-20	-26	-47			
1981		13	8	9	14			
1980		1	0	0	0			

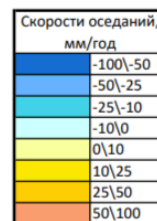


Рис. 2. Матрица скоростей оседаний профильной линии 5 на участке с 14 – 21 репер

Из данной матрицы отдельно построены для наглядности графики скоростей оседаний реперов 14 и 15.



Рис. 3. График скоростей оседаний для репера 14



Рис. 4. График скоростей оседаний для репера 15

Согласно представленным графикам, на данных точках мониторинга были зафиксированы всплески значений скоростей оседаний. Для репера 14 в 2007 году значение составило 50.8 мм/год. Для репера 15 в 2021 году зафиксировано поднятие 37.9 мм/год. Всплески не связаны с проведением горных работ под данным участком земной поверхности. Это еще раз доказывает тот факт, что процесс сдвижения необходимо рассматривать комплексно и уделять внимание различным факторам влияния, как техногенным, так и природным.

Выводы

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что процесс сдвижения горных пород и земной поверхности определяется не только глубиной горных выработок. Он характеризуется многообразием форм проявления, обусловленных комплексным воздействием различных факторов, сочетающихся по-разному в различных горно-геологических условиях.

Сложность их комплексного учета при разработке месторождений приводит к возникновению внезапных аномальных деформационных процессов в массиве горных пород, проявляющихся в виде провалов и обрушений, которые, в свою очередь, приводят к повреждению зданий и сооружений, а также нарушению технологических процессов.

Для решения сложных геомеханических задач, в том числе связанных с исследованием продолжительности сдвижения земной поверхности после завершения горных работ, необходимо учитывать весь комплекс факторов, как природных, так и техногенных, с целью выявления всплесков и цикличности процессов.

Дальнейшее изучение процесса сдвижения на подработанных территориях позволит обеспечить рациональное использование этих земель. Знания о процессах сдвижения способствуют оптимизации использования территорий, что позволяет выбирать наиболее безопасные и эффективные методы управления ресурсами. Понимание этих процессов позволит городским планировщикам учитывать риски и ограничения при проектировании новых застроек и инфраструктуры, а также принимать во внимание возможные изменения ландшафта, предотвращая негативные последствия.

Список литературы

1. Florkowska L., Bryt-Nitarska I., Kruczkowski J., 2021. Deformation and damage to buildings caused by ground movements in mining areas. *Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych*. P. 52-63.
2. Усанов С.В., 2011. *Геомеханическая оценка возможности использования подработанных территорий*: диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.20; [Место защиты: Ин-т горн. дела УрО РАН]. Екатеринбург, 150 с.
3. Ботвенко Д.В., Жогло В.И., Бердников А.Н., 2019. Выбор комплекса технических мероприятий, обеспечивающих безопасное использование подработанных территорий при строительстве. *Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*, № 3, С. 89-96.
4. Винальева Е.А., 2023. Обзор современных геодезических приборов для мониторинга деформационных процессов земной поверхности. *Проблемы недропользования*, № 4(39), С. 57-64.
5. Харисова О.Д., 2018. Мониторинг пространственных деформационных процессов подрабатываемых сооружений. *Проблемы недропользования*, № 3(18), С. 81-88.
6. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на месторождениях руд черных металлов Урала и Казахстана*. Свердловск: Институт горного дела УрО РАН, 1990, 64 с.
7. Кириллов С.Г., Семькин Е.С., Мокрицкая Н.И., 2020. Сдвигение земной поверхности при отработке Талнахского и Октябрьского месторождения. Меры охраны подрабатываемых зданий и сооружений. *Горная промышленность*, № 6, С. 106-111.
8. Усанов С.В., Коновалова Ю.П., Ногин С.А., Панжина Н.А., 2023. К проблеме взаимосвязей между деформационными процессами земной поверхности природного и техногенного генеза. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 4, С. 286-295.
9. Кузьмин Ю.О., 1999. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. *Агентство экономических новостей*, 220 с.
10. *Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622239 Российская Федерация. Данные наблюдений за процессом сдвижения на Северопесчанском месторождении хромитов за 2021–2022 гг.*: № 2023621896: заявл. 21. 06. 2023: опубл. 05.07.2023 / С.В. Усанов, С.А. Ногин, Ю.П. Коновалова и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук.

References

1. Florkowska L., Bryt-Nitarska I., Kruczkowski J., 2021. Deformation and damage to buildings caused by ground movements in mining areas. *Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych*. P. 52-63.
2. Usanov S.V., 2011. *Geomechanicheskaya otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya pod-rabotannykh territorii* [Geomechanical assessment of the possibility of using the under-worked territories]: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 25.00.20; [Mesto zashchity: In-t gorn. dela UrO RAN]. Ekaterinburg, 150 p.
3. Botvenko D.V., Zhoglo V.I., Berdnikov A.N., 2019. Vybora kompleksa tekhnicheskikh meropriyatii, obespechivayushchikh bezopasnoe ispol'zovanie podrabotannykh territorii pri stroitel'stve [Choice of a set of technical measures to ensure the safe use of the under-worked territories during construction]. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoi i ekologicheskoi bezopasnosti*, № 3, P. 89-96.
4. Vinal'eva E.A., 2023. Obzor sovremennykh geodezicheskikh priborov dlya monitoringa deformatsionnykh protsessov zemnoi poverkhnosti [Overview of modern geodetic

instruments for monitoring deformation processes of the Earth's surface]. Problemy nedropol'zovaniya, № 4(39), P. 57-64.

5. Kharisova O.D., 2018. Monitoring prostranstvennykh deformatsionnykh protsessov podrabatyvaemykh sooruzhenii [Monitoring of spatial deformation processes of the structures under construction]. Problemy nedropol'zovaniya, № 3(18), P. 81-88.

6. Pravila okhrany sooruzhenii i prirodnykh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh razrabotok na mestorozhdeniyakh rud chernykh metallov Urala i Kazakhstana . [Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in the deposits of ferrous metals in Ural regions and Kazakhstan]. Sverdlovsk: Institut gornogo dela UrO RAN, 1990, 64 p.

7. Kirillov C.G., Semykin E.S., Mokritskaya N.I., 2020. Sdvizhenie zemnoi poverkhnosti pri otrabotke Talnakhskogo i Oktyabr'skogo mestorozhdeniya [Displacement of the Earth's surface during the mining of the Talnakhsy and Oktyabrsky fields. Measures for the protection of buildings and structures under construction]. Mery okhrany podrabatyvaemykh zdaniy i sooruzhenii. Gornaya promyshlennost', № 6, P. 106-111.

8. Usanov S.V., Konovalova Yu.P., Nogin S.A., Panzhina N.A., 2023. K probleme vzaimosvyazei mezhdru deformatsionnymi protsessami zemnoi poverkhnosti prirodnogo i tekhnogennogo geneza [On the problem of the interrelationships between the deformation processes of the Earth's surface of natural and man-made genesis]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, № 4, P. 286-295.

9. Kuz'min Yu.O., 1999. Sovremennaya geodinamika i otsenka geodinamicheskogo riska pri nedropol'zovanii [Modern geodynamics and assessment of geodynamic risk in sub-surface use]. Agentstvo ekonomicheskikh novostei, 220 p.

10. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2023622239 Rossiiskaya Federatsiya. Dannye nablyudenii za protsessom sdvizheniya na Severopeschanskom mestorozhdenii khromitov za 2021–2022 gg. [Certificate of state registration of the database No. 2023622239 Russian Federation. Observation data on the process of displacement at the Severopeschansk chromite deposit for 2021-2022]: № 2023621896: zayavl. 21. 06. 2023: opubl. 05.07.2023 / S.V. Usanov, S.A. Nogin, Yu.P. Konovalova i dr.; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie nauki Institut gornogo dela Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk.