

ПРОГНОЗ ОБРУШЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СДВИЖЕНИЕМ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

О.Д. Харисова¹, Т.Ф. Харисов¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН)

Аннотация: По результатам многолетних маркшейдерских наблюдений, выполненных на Сарановском месторождении хромитов, были проанализированы закономерности сдвижения горных пород с целью выявления возможных предвестников обрушения участка земной поверхности. Уникальность данного исследования заключается в том, что одна из серий инструментальных наблюдений была выполнена непосредственно накануне образования провала поверхности над непогашенными пустотами ранее отрабатанных блоков. Установлено, что исследуемая территория в течение нескольких лет испытывала вертикальные сдвиги знакопеременного характера, причем обрушению предшествовало поднятие земной поверхности. Однако в ходе дальнейшего анализа был сделан вывод об отсутствии явной причинно-следственной связи между данными явлениями или ее недостаточной изученности. В ходе дальнейших исследований была выявлена локальная зона накопления оседаний массива горных пород с постепенно возрастающей скоростью, проявившаяся за несколько лет до выхода воронки обрушения непосредственно над участком ее образования. Отсутствие данной зоны в период, предшествующий обрушению, объясняется уничтожением реперов на данном локальном участке. Сделан вывод, что в определенных горно-геологических условиях деформационные процессы могут развиваться крайне локализовано, не проявляя видимых признаков влияния на прилегающий массив горных пород и земную поверхность. Определяемые инструментальными наблюдениями проявления данных процессов концентрируются непосредственно в локальной области их развития, что необходимо учитывать при анализе и прогнозе развития процессов сдвижения. Подчеркнута необходимость корректировки существующих или обоснования новых критериев опасных деформаций при разработке проектов геомеханического мониторинга на месторождениях

Ключевые слова: обрушение земной поверхности, провал, сдвигение горных пород, подземная разработка месторождений, мониторинг, геодезические наблюдения, наблюдательная станция, деформационные предвестники, оседания земной поверхности, поднятия земной поверхности.

Благодарность: Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075–00581–19–00. Тема № 0405–2019–007. Тема 3 (2019–2021 гг.)

Для цитирования: Харисова О.Д., Харисов Т.Ф. Прогноз обрушений земной поверхности по данным инструментальных наблюдений за сдвижением горных пород при подземной разработке месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 264–274. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-264-274.

Prediction of ground surface collapse by instrumental observation data on rock mass movements during underground mining

O.D. Kharisova¹, T.F. Kharisov¹

¹The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Russia

Abstract: Using the data of long-term surveying at the Saranovsky chrome iron ore deposit, movements of rock mass were analyzed with a view to identifying potential early signs of ground surface collapse. The research findings are unique as one of the instrumental observation series was accomplished on the eve of the ground surface sinking above non-backfilled voids of earlier stoping. It was found that the test area experienced vertical alternating movements, and sinking was preceded by upheaval of ground surface. However, the further analysis revealed no clear cause-and-effect between the event and insufficiency of its study. The subsequent research identified a local cluster of rock mass subsidences at gradually increasing velocities, which showed up a few years before the sink appeared on ground surface above its initiation source. The absence of this cluster zone in the period before the collapse is explained by the damage of check points in this site. Finally, the conclusion is drawn that in certain geological conditions, deformation processes are localized and manifest no visible signs of impact on the enclosing rock mass and ground surface. Manifestations of these processes from the instrumental observations concentrate directly in the local area of their development, which should be taken into account in the analysis and prediction of movements. It is emphasized that the existing and new criteria of hazardous deformation processes should be corrected and updated for geomechanical monitoring of mineral mining objects.

Key words: Ground collapse, sink, rock mass movement, underground mineral mining, monitoring, geodetic surveying, observation point, deformation signs, ground surface subsidence, ground surface upheaval.

Acknowledgments: The study was supported within the framework of State Contract No 07500581-19-00. Project No. 0405-2019-007. Project 3 (2019–2021).

For citation: Kharisova O.D., Kharisov T.F. Prediction of ground surface collapse by instrumental observation data on rock mass movements during underground mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):264-274. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-264-274.

Введение

В горнодобывающих регионах, имеющих длительную историю ведения горных работ, крайне актуальна проблема наличия ранее отработанных подземных горных выработок, неэксплуатируемых в настоящее время и зачастую неликвидированных должным образом. Как правило, для таких выработок характерна малая глубина заложения, поэтому потеря их устойчивости может приводить к образованию провалов на земной поверхности даже по прошествии нескольких лет и десятилетий после завершения отработки.

Проблема внезапных обрушений земной поверхности распространена на подработанных территориях как в России и странах СНГ [1–4], так и в горнодобывающих регионах Европы [5–9], Америки [10] и других странах дальнего зарубежья [11].

Одним из крупных горнодобывающих регионов, на территории которого ведется интенсивная добыча различных природных ресурсов, является Пермский край. Повышенная техногенная нагрузка на территории региона повышает риск проявления опасных деформационных процессов.

Например, по данным наблюдений [2], в 2017 г. только за полугодовой период на территории Чусовского района были зафиксированы 6 провалов над бывшими горными выработками.

Сарановское месторождение хромитов находится на востоке Пермского края. Освоение месторождения началось в конце XIX в. и первоначально производилось открытым способом. Начиная с 40-х годов прошлого столетия и по настоящее время добыча в основном ведется подземным способом, за исключением нескольких локальных участков открытых горных работ. В настоящее время глубина горных работ относительно земной поверхности превышает 350 м.

Месторождение представлено рудонесной зоной протяженностью 2 км, включающей три жилообразных рудных тела, угол падения которых на разных участках изменяется от 50–60° до 70–80°. Разработка ведется камерной системой с обрушением руды и вмещающих пород с оставлением междукамерных, междублочных и междуэтажных целиков [12].

В результате обработки месторождения на поверхности сформировалась обширная мульда сдвижения, включающая зону обрушения, зону трещин и зону плавных сдвижений и деформаций. С переходом подземных горных работ на нижезалегающие горизонты процесс сдвижения развивался преимущественно с приращением зоны плавных сдвижений и деформаций, не вызывая новых выходов провалов или воронок обрушения на поверхность месторождения.

Однако в июле 2013 г. на месторождении произошло внезапное обрушение земной поверхности на Южном фланге в висячем боку месторождения. В результате образовался провал размером приблизительно 120 на 70 м и глубиной около 60 м, уничтожив несколько

единиц техники. Обрушение произошло в краевой части существующей зоны обрушения над непогашенными пустотами ранее отработанных блоков в зоне ведения современных открытых горных работ с формированием отвала пустых пород вблизи зоны обрушения.

Для мониторинга процесса сдвижения горных пород на месторождении оборудована поверхностная наблюдательная станция, по которой ежегодно проводились инструментальные наблюдения, причем очередная серия нивелирования была выполнена непосредственно за 2 дня до обрушения земной поверхности. Таким образом, появилась возможность проанализировать поведение прилегающего участка массива горных пород с целью выявления возможных предвестников данного события.

Методы исследований

Поверхностная наблюдательная станция, оборудованная для мониторинга процесса сдвижения горных пород в 1979 г., включает в себя 7 профильных линий, расположенных вкрест и по простирацию рудных залежей (рис. 1). Согласно действующим нормативным документам, каждая линия состоит из рабочих и опорных реперов, а также сети исходных пунктов, расположенных вне зоны влияния горных работ, от которых контролируется неподвижность опорных реперов по высоте. При этом пункты, входящие в исходную сеть, также проходят проверку на устойчивость с помощью программы Credo «Расчет деформаций», в которой реализован метод Костехеля. Высотные отметки наиболее стабильных пунктов передаются на опорные реперы профильных линий.

Программа наблюдений на Сарановском месторождении включает в себя определение вертикальных отметок реперов наблюдательной станции методом

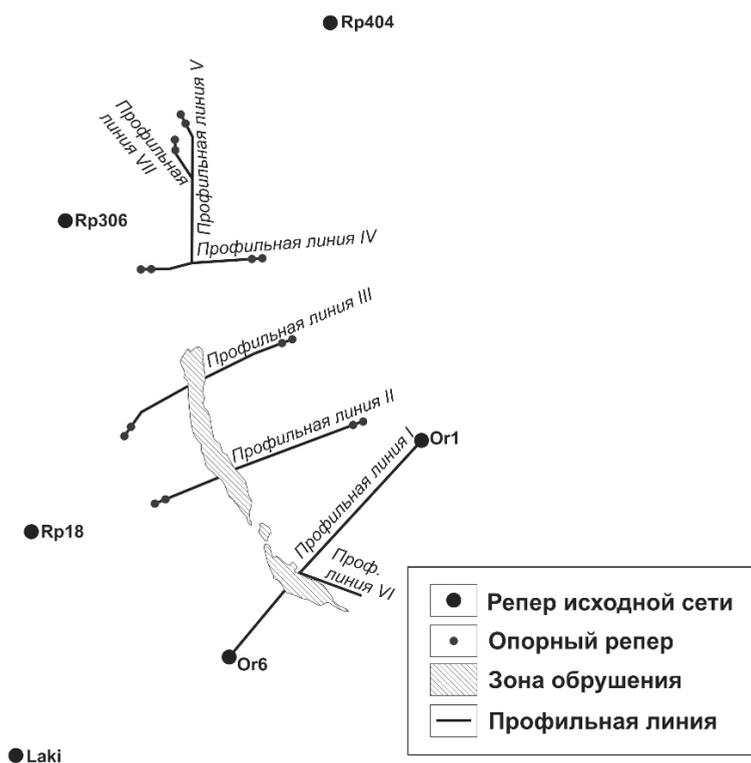


Рис. 1. Схема наблюдательной станции на Сарановском месторождении
 Fig. 1. Scheme monitoring station on Sarnowska field

геометрического нивелирования, изменение расстояний между реперами профильных линий с помощью электронного тахеометра, а также определение трехмерных координат исходных пунктов и опорных реперов профильных линий методом GPS.

Геометрическое нивелирование выполняется в прямом и обратном направлении с помощью цифрового нивелира и штрихкодовых реек. Для измерения расстояний между реперами используется электронный тахеометр и призмы-отражатели, устанавливаемые непосредственно над реперами с помощью оптических центриров. GPS-измерения выполняются с использованием комплекта приемников геодезического класса относительным методом в статическом режиме, предполагающим

одновременную работу как минимум двух приемников (один из которых — базовый) в течение 20 — 40 минут.

По результатам обработки измерений в каждом цикле наблюдений вычисляются величины вертикальных и горизонтальных смещений и деформаций земной поверхности как между сериями наблюдений, так и относительно исходной серии.

Как упоминалось выше, накануне обрушения земной поверхности на месторождении выполнялись натурные инструментальные наблюдения, и непосредственно за двое суток до аварии была завершена очередная серия нивелирования. С целью выявления возможной корреляции между вертикальными сдвигами и деформациями земной поверхности

и последующим ее обрушением были проанализированы изменения высотных отметок реперов наблюдательной станции в предшествующий период с 2006 по 2013 гг., а также в период с 2013 по 2019 гг. для оценки последующего поведения массива. Измерения выполнялись ежегодно, за исключением 2008 г., а также периода 2015–2017 гг.

Вычисленные вертикальные сдвигения реперов анализировались как в табличном, так и в графическом виде путем построения изолиний оседаний и поднятий земной поверхности в программном продукте Golden Software Surfer. Интерполяция значений вер-

тикальных сдвижений производилась по сетке 0.5×0.5 м методом Kriging.

Результаты исследований

При анализе вертикальных смещений реперов наблюдательной станции Сарановского месторождения как между циклами наблюдений, так и в рамках одной серии наблюдается знакопеременный характер сдвижения, выраженный в чередовании участков оседаний и поднятий земной поверхности. На рис. 2 (а–г) представлены изолинии годовых вертикальных смещений Центрального и Южного участков месторождения за четырехлетний период, предшествующий обрушению —

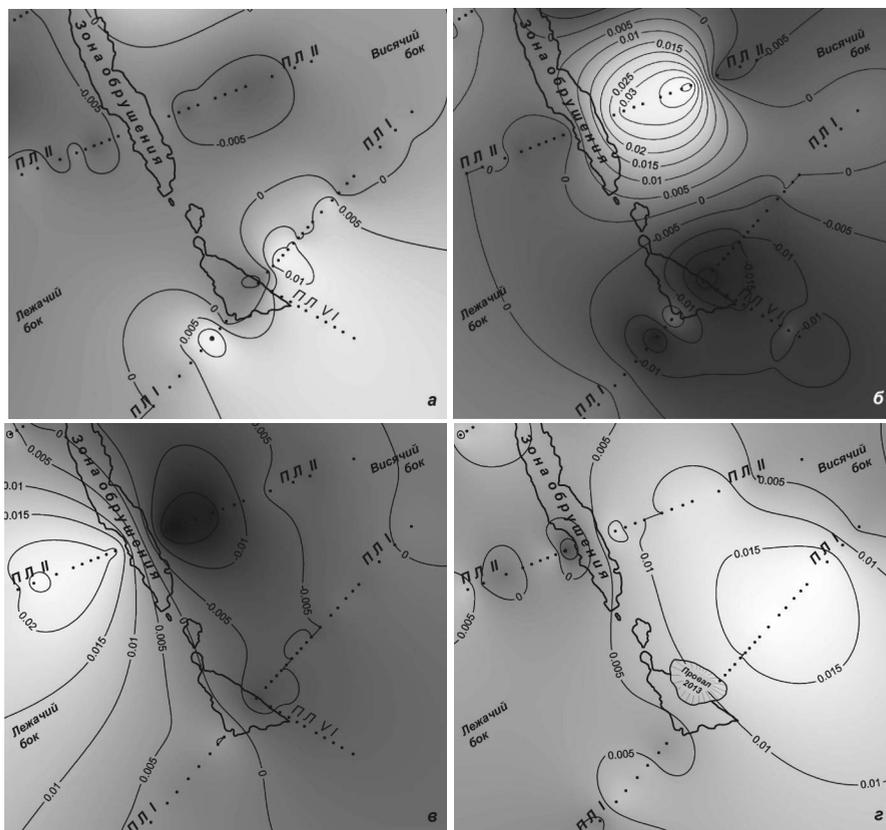


Рис. 2. Изолинии вертикальных сдвижений земной поверхности за периоды: а — 2009–2010 гг., б — 2010–2011 гг., в — 2011–2012 гг. з — 2012–2013 гг.

Fig. 2. Isolines of vertical movements of the earth's surface for the periods: а — 2009–2010, б — 2010–2011, в — 2011–2012, з — 2012–2013

с 2009 по 2013 гг. Изолинии построены с шагом 5 мм, темные области соответствуют оседаниям, светлые — поднятиям. Профильные линии I и VI, проходящие через участок обрушения земной поверхности, за четырехлетний период испытывали как оседания (2010–2011 гг., 2011–2012 гг.), так и поднятия (2009–2010 гг., 2012–2013 гг.), причем обрушению предшествовало поднятие поверхности до 20 мм.

На рис. 3 представлены графики вертикальных смещений реперов висячего бока профильной линии I между сериями наблюдений за период 2006–2019 гг. Отрицательные значения оси ординат соответствуют оседаниям, положительные — поднятиям. При анализе рис. 3 также отчетливо выделяется общий подъем реперов за период 2012–2013 гг. (соответствует самой верхней линии графика), величина которого превысила наблюдавшееся ранее поднятие данного участка в период с 2009 по 2010 гг. (рис. 2, а).

В последующий за обрушением период 2013–2014 гг. закономерно произошло значительное оседание висячего бока, особенно резко проявившееся вблизи границы провала (соответствует самой нижней линии графика).

После 2014 г. по некоторым причинам наблюдения были прекращены и возобновились в 2018 г. Текущая серия мониторинга, выполненная в 2019 г., за прошедший годовой период также выявила на данном участке поднятие земной поверхности величиной до 15 мм.

Обсуждение результатов

На первоначальном этапе анализа результатов наблюдений была высказана гипотеза о возможной взаимосвязи между обрушением и предшествующим подъемом земной поверхности на прилегающем участке. Подобные

явления также отмечались некоторыми исследователями [13, 14].

Однако в предшествующих сериях мониторинга на смежных участках месторождения также выявлялись поднятия земной поверхности, сопоставимые и даже превышающие по величине наблюдаемое в 2013 г. Например, в предыдущем периоде наблюдений зафиксирован подъем лежачего бока профильной линии II величиной более 25 мм (рис. 2, в), а за период 2010–2011 гг. — поднятие группы реперов в висячем боку линии II, достигающее 40 мм (рис. 2, б). Более того, по результатам последней серии наблюдений 2018–2019 гг. рассматриваемый участок висячего бока профильной линии I также оказался в зоне поднятий земной поверхности.

Так как описанные выше явления не сопровождалось развитием экстремальных деформационных процессов, на текущем этапе анализа был сделан вывод об отсутствии явной причинно-следственной связи между данными явлениями либо ее недостаточной изученности и необходимости накопления дополнительного объема данных.

С целью поиска возможных предвестников обрушения земной поверхности был выполнен дальнейший анализ закономерностей развития процесса сдвижения, в ходе которого была выявлена локальная область накопления оседаний земной поверхности в непосредственной близости от участка образования провала. Данная область выделяется на рис. 2, а–в на участке пересечения профильных линий I и VI, и проявляется в виде зоны повышенных оседаний в периоды общего оседания земной поверхности (рис. 2, б, в) и в виде незначительных оседаний на фоне общего поднятия поверхности (рис. 2, а). Отсутствие данной области в период,

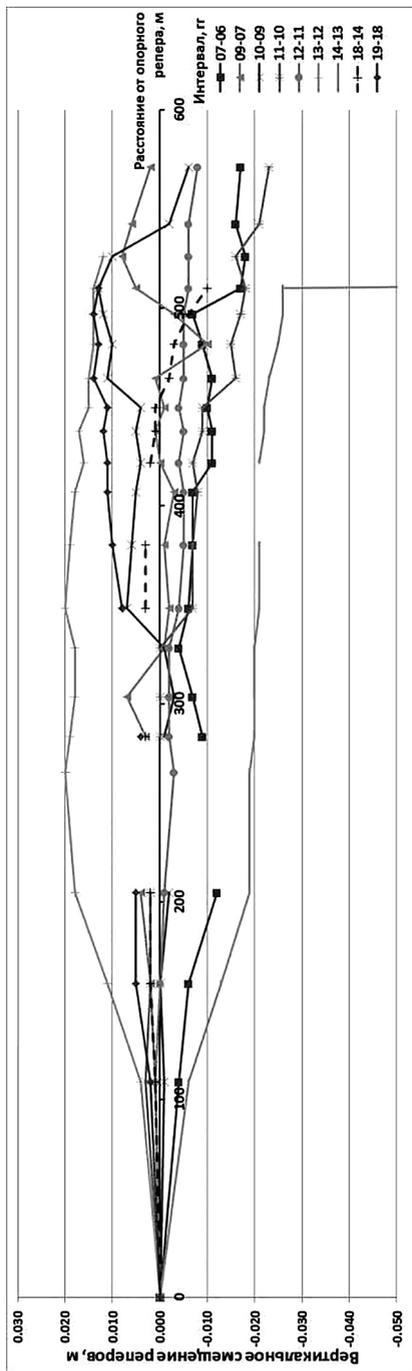


Рис. 3. Графики годовых вертикальных смещений реперов висячего бока профильной линии I за период 2006—2019 гг.
 Fig. 3. Graphs of annual vertical displacements of the reference points of the hanging side of the profile line I for the period 2006-2019

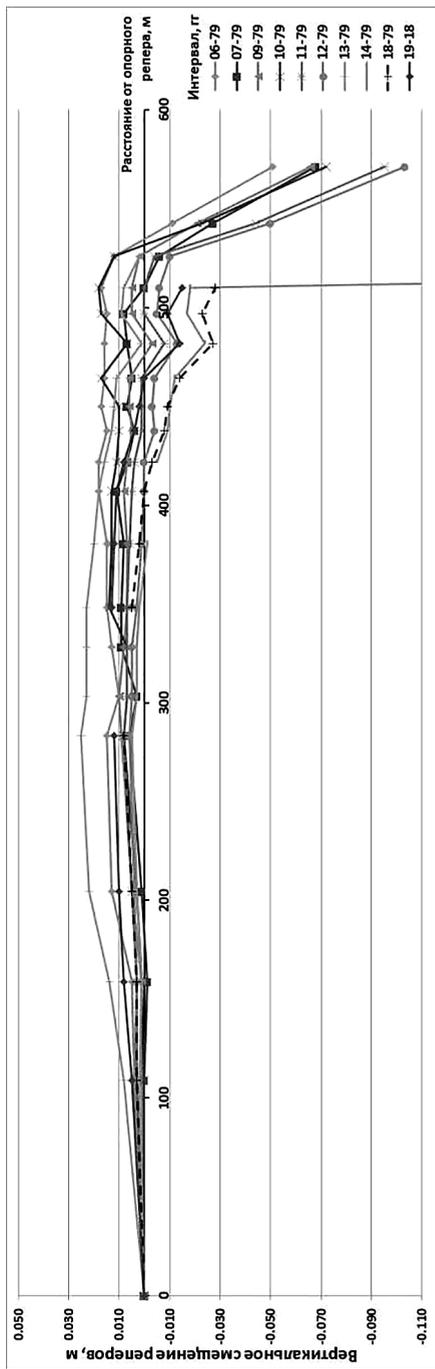


Рис. 4. Графики вертикальных смещений реперов висячего бока профильной линии I относительно исходной серии наблюдений 1979 г.
 Fig. 4. Graphs of vertical displacements of the reference points of the hanging side of the profile line I relative to the initial series of observations in 1979

Таблица 1

Величины и скорости оседаний конечного интервала реперов профильной линии I относительно исходной серии наблюдений

Values and rates of subsidence of the final interval of reference points of the profile line I relative to the initial series of observations

Rp	Оседание за период, м						Скорость оседания за период, мм/сут					
	06–79	07–79	09–79	10–79	11–79	12–79	06–79	07–79	09–79	10–79	11–79	12–79
Rp9_I	0,011	0,027	0,021	0,023	0,044	0,050	0,001	0,003	0,002	0,002	0,004	0,004
Rp10_I	0,051	0,068	0,066	0,072	0,095	0,103	0,005	0,007	0,006	0,006	0,008	0,009

предшествующий обрушению, объясняется уничтожением к 2013 г. профильной линии VI, а также отрезка профильной линии I, непосредственно примыкающего к зоне обрушения. Таким образом, на фоне поднятия поверхности лежачего бока за период 2012–2013 гг. выявить данный локальный участок концентрации оседаний не представилось возможным.

Учитывая постоянство накопления деформаций оседания в данной области на фоне знакопеременных сдвижений окружающего массива, было выполнено определение вертикальных смещений реперов относительно исходной серии наблюдений 1979 г. (рис. 4).

При анализе графиков, представленных на рис. 4, отчетливо выделяется участок резких оседаний конечного интервала профильной линии I, примыкающего к зоне обрушения. Наибольшие оседания за период наблюдений с 1979 по 2012 гг. испытали реперы Rp9 и Rp10 — их величины составили 50 и 103 мм соответственно, причем ежегодное накопление оседаний и возрастание их скоростей продолжалось даже в периоды поднятий участка висячего бока земной поверхности. Необходимо отметить, что наибольшая относительная величина наклона данного интервала составила 2,4 мм/м при нормативной величине границы зоны опасных деформаций 4,0 мм/м. Кроме того, интерпретация наблюдений на данном

интервале также осложнялась тем, что участок образования провала непосредственно примыкал к существующей зоне обрушения, поэтому выявленные оседания крайних реперов интерпретировались как закономерные смещения массива под влиянием гравитационных процессов.

В табл. 1 представлены величины и скорости оседаний реперов Rp9 и Rp10 относительно исходной серии наблюдений. Последние измерения данного интервала были выполнены в 2012 г., после чего данные реперы оказались уничтожены, что не позволило зафиксировать величины оседаний участка, предшествующие обрушению земной поверхности.

Таким образом, выявленное по результатам инструментального мониторинга циклическое чередование оседаний и поднятий поверхности Сарановского месторождения, вероятнее всего, обусловлено движениями активной геологической структуры, к которой приурочено данное месторождение. Непосредственно над потенциальным участком образования провала сдвижения земной поверхности развивались в виде оседаний с постепенно возрастающей скоростью (табл. 1).

Заключение

По результатам инструментальных наблюдений, выполненных на Сарановском месторождении хромитов,

были проанализированы закономерности сдвижения земной поверхности под влиянием подземной разработки, в том числе непосредственно накануне образования воронки обрушения. Установлено, что участок земной поверхности, прилегающей к области появления провала, испытывал вертикальные сдвижения знакопеременного характера, причем обрушению предшествовало поднятие поверхности до 20 мм. Однако в ходе дальнейшего анализа был сделан вывод об отсутствии явной причинно-следственной связи между данными явлениями, либо ее недостаточной изученности. Выявленное по результатам мониторинга циклическое чередование оседаний и поднятий поверхности Сарановского месторождения, вероятнее всего, обусловлено движениями активной геологической структуры, к которой приурочено данное месторождение.

При этом за несколько лет до выхода воронки обрушения непосредственно над участком ее образования выявлена локальная зона накопления оседаний массива с постепенно возрастающей

скоростью, особенно отчетливо проявляющаяся при определении смещений относительно исходной серии наблюдений. Отсутствие признаков проявления данной зоны в период, предшествующий обрушению, объясняется уничтожением реперов на данном локальном участке.

Таким образом, можно заключить, что в определенных горно-геологических условиях деформационные процессы могут развиваться крайне локализовано, не проявляя видимых признаков влияния на прилегающий массив горных пород и земную поверхность. Определяемые инструментальными наблюдениями проявления данных процессов концентрируются непосредственно в локальной области их развития. Данное обстоятельство необходимо учитывать при анализе и прогнозе развития процессов сдвижения. Важно также подчеркнуть необходимость корректировки существующих или обоснования новых критериев опасных деформаций при разработке проектов геомеханического мониторинга на месторождениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белодедов А.А., Должиков П.Н., Легостаев С.О. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 1. — С. 160–169.
2. Лаврова Н.В., Богомаз М.В., Кадебская О.И. Мониторинговые наблюдения за провалами на территории Пермского края в первом полугодии 2017 г. // Горное эхо. — 2017. — № 2 (67). — С. 28–33.
3. Шачков А.С., Ветошкина А.В., Соляник И.В. Экологический мониторинг ликвидированных месторождений // Новое в познании процессов рудообразования: сб. мат. 7-ой Росс. молодеж. науч.-практ. шк. (Москва, 13–17 нояб. 2017 г.). — М.: ИГЕМ РАН, 2017. — С. 319–322.
4. Чистяков Е.П., Федоренко А.И., Чистяков Д.Е., Мошинский В.И. Горнотехнические и геомеханические аспекты сдвижения пород на горнорудных предприятиях Кривбасса // Горный вестник. — 2013. — № 1 (96). — С. 109–112.
5. Stozik G., Jendrus R., Manowska A., Popczyk M. Mine subsidence as a post-mining effect in the Upper Silesia coal basin // Polish Journal of Environmental Studies, 2016, Vol. 25, no 2, pp. 777–785. DOI 10.15244/pjoes/61117.
6. Van Den Eeckhaut M., Poesen J., Duser M., Martens V., Duchateau Ph. Sinkhole formation above underground limestone quarries: A case study in South Limburg (Belgium) // Geomorphology, 2007, Vol. 91, pp. 19–37. DOI 10.1016/j.geomorph.2007.01.016.

7. Harnischmacher S., Zepp H. Mining and its impact on the earth surface in the Ruhr District (Germany) // *Zeitschrift für Geomorphologie*, 2014, Vol. 58, Suppl. 3, pp. 3–22.

8. Scotto di Santolo A., Forte G., Santo A. Analysis of sinkhole triggering mechanisms in the hinterland of Naples (southern Italy) // *Engineering Geology*, 2018, Vol. 237, pp. 42–52. DOI 10.1016/j.enggeo.2018.02.014.

9. Longoni L., Papini M., Brambilla D., Arosio D., Zanzi L. The risk of collapse in abandoned mine sites: the issue of data uncertainty // *Open Geosciences*, 2016, Vol. 8, Iss. 1, pp. 246–258. DOI 10.1515/geo-2016–0022.

10. Sainsbury D.P., Sainsbury B.L., Lorig L.J. Investigation of caving induced subsidence at the abandoned Grace Mine // *Mining Technology*, 2010, Vol. 119, no 3, pp. 151–161. DOI 10.1179/174328610X12820409992336.

11. Xia K., Chen C., Zheng Y., Zhang H., Liu X., Deng Y., Yang K. Engineering geology and ground collapse mechanism in the Chengchao iron-ore Mine in China // *Engineering Geology*, 2019, Vol. 249, pp. 129–147. DOI 10.1016/j.enggeo.2018.12.028.

12. Драсков В.П. Анализ особенностей развития деформационных процессов сдвижения по результатам натурных наблюдений на Сарановском месторождении хромитов // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2015. – № 9. – С. 49–58.

13. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г., Букин В.Г., Гришко С.В., Гетманов И.В., Одинов С.Л., Горбатов А.В. Деформационные предвестники техногенных землетрясений при разработке месторождений углеводородов // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2011. – № 4. – С. 40–49.

14. Szwedzicki T. Rock mass behaviour prior to failure // *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2003, Vol. 40, pp. 573–584. DOI 10.1016/S1365–1609(03)00023–6. 

REFERENCES

1. Belodedov A.A., Dolzhikov P.N., Legostaev S.O. Analyzing mechanism of forming earth surface deformations over liquidated mines mining workings. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2017. no 1. pp. 160–169. [In Russ]

2. Lavrova N.V., Bogomaz M.V., Kadebskaya O.I. Monitoring observations of the sinkholes in the Perm Region territory in the first half of 2017. *Gornoe ekho*. 2017. no 2 (67). pp. 28–33. [In Russ]

3. Shachkov A.S., Vetoshkina A.V., Solyanik I.V. *Ekologicheskii monitoring likvidirovannykh mestorozhdenii* [Environmental monitoring of abandoned fields], *Novoe v poznanii protsessov rudoobrazovaniya. Materialy 7 Ross. molodezh. nauch.-prakt. shk. Moscow, IGEM RAS Publ*, 2017, pp. 319–322. [In Russ].

4. Chistyakov E.P., Fedorenko A.I., Chistyakov D.E., Moshinskii V.I. Mining and geomechanical aspects of rock displacement at mining enterprises of Kryvbas. *Gornyi vestnik*. 2013, no 1 (96), pp. 109–112. [In Russ].

5. Stozik G., Jendrus R., Manowska A., Popczyk M. Mine subsidence as a post-mining effect in the Upper Silesia coal basin. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2016, Vol. 25, no 2, pp. 777–785. DOI 10.15244/pjoes/61117. [In Russ]

6. Van Den Eeckhaut M., Poesen J., Dugar M., Martens V., Duchateau Ph. Sinkhole formation above underground limestone quarries: A case study in South Limburg (Belgium). *Geomorphology*, 2007, Vol. 91, pp. 19–37. DOI 10.1016/j.geomorph.2007.01.016.

7. Harnischmacher S., Zepp H. Mining and its impact on the earth surface in the Ruhr District (Germany). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 2014, Vol. 58, Suppl. 3, pp. 3–22.

8. Scotto di Santolo A., Forte G., Santo A. Analysis of sinkhole triggering mechanisms in the hinterland of Naples (southern Italy). *Engineering Geology*, 2018, Vol. 237, pp. 42–52. DOI 10.1016/j.enggeo.2018.02.014.

9. Longoni L., Papini M., Brambilla D., Arosio D., Zanzi L. The risk of collapse in abandoned mine sites: the issue of data uncertainty. *Open Geosciences*, 2016, Vol. 8, Iss. 1, pp. 246–258. DOI 10.1515/geo-2016–0022.

10. Sainsbury D.P., Sainsbury B.L., Lorig L.J. Investigation of caving induced subsidence at the abandoned Grace Mine. *Mining Technology*, 2010, Vol. 119, no 3, pp. 151–161. DOI 10.1179/174328610X12820409992336.

11. Xia K., Chen C., Zheng Y., Zhang H., Liu X., Deng Y., Yang K. Engineering geology and ground collapse mechanism in the Chengchao iron-ore Mine in China. *Engineering Geology*, 2019, Vol. 249, pp. 129–147. DOI 10.1016/j.enggeo.2018.12.028.

12. Draskov V.P. The analysis of peculiarities of development of deformation processes traffics on the results of field observations on Sarany Deposit of chromite. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no 9. pp. 49–58. [In Russ]

13. Kashnikov Yu. A., Ashikhmin S.G., Bukin V.G., Grishko S.V., Getmanov I.V., Odintsov S.L., Gorbatikov A.V. Deformation forerunners of earthquakes triggered off by development of hydrocarbon accumulations. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2011, no 4, pp. 40–49. [In Russ].

14. Szwedzicki T. Rock mass behaviour prior to failure // *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2003, Vol. 40, pp. 573–584. DOI 10.1016/S1365–1609(03)00023–6.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Харисова Ольга Дмитриевна¹ – научный сотрудник, e-mail: OlgaZheltysheva@gmail.com, Харисов Тимур Фаритович¹ – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), 620075 г. Екатеринбург, ГСП-219, Мамина-Сибиряка 58.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kharisova O.D.¹, Researcher, OlgaZheltysheva@gmail.com,

Kharisov T.F.¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

¹ The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 21.02.2020; принята к печати 20.03.2020.

Received by the editors 21.11.2019; received after the review 21.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.

