

УДК 622.834:622.1

**Харисова Ольга Дмитриевна**

научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [OlgaZheltysheva@gmail.com](mailto:OlgaZheltysheva@gmail.com)

**Харисов Тимур Фаритович**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН,  
e-mail: [Timur-ne@mail.ru](mailto:Timur-ne@mail.ru)

### АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ НА САРАНОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ\*

Аннотация:

На Сарановском месторождении хромитовых руд в течение многих лет ведется мониторинг сдвижения горных работ. По результатам маркшейдерских наблюдений были проанализированы закономерности сдвижения горных пород с целью выявления возможных предвестников аварийного развития деформационных процессов, проявившегося в виде образования провала земной поверхности. Отличительная особенность данного исследования заключается в том, что одна из серий инструментальных наблюдений была выполнена непосредственно накануне обрушения земной поверхности над непогашенными пустотами ранее отработанных блоков.

Было установлено, что исследуемая территория в течение нескольких лет испытывала вертикальные сдвижения знакопеременного характера, причем непосредственно обрушению предшествовало поднятие земной поверхности. Однако 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 наблюдательной станции на данном локальном участке. Знакопеременные годовые изменения высотных отметок поверхности, вероятнее всего, обусловлены геодинамическими движениями активной геологической структуры, к которой приурочено месторождение, активизировавшейся в результате многолетнего воздействия горных работ.

Таким образом, по результатам анализа выявлено, что в определенных горно-геологических условиях разрушительные деформационные процессы могут развиваться крайне локализованно, не проявляя видимых признаков влияния на прилегающий массив горных пород и земную поверхность, что необходимо учитывать при разработке проектов геомеханического мониторинга на месторождениях.

**Ключевые слова:** провал, обрушение земной поверхности, сдвижение горных пород, мониторинг, наблюдательная станция, маркшейдерские наблюдения, деформационные предвестники.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.134

**Kharisova Olga D.,**

Researcher,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg,  
58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [OlgaZheltysheva@gmail.com](mailto:OlgaZheltysheva@gmail.com)

**Kharisov Timur F.**

PhD, Senior Researcher,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
e-mail: [Timur-ne@mail.ru](mailto:Timur-ne@mail.ru)

### ANALYSIS OF LONG-TERM INSTRUMENTAL OBSERVATIONS AND PREDICTION OF EMERGENCY EVENTS AT THE SARANOVSKOYE FIELD

Abstract:

The monitoring of the rock mass displacement at the Saranovskoye chrome ore deposit has been carried out for many years. Based on the results of the surveying observations, the regularities of the rock movements were analyzed to identify possible forerunners of the emergency development of deformation processes manifesting in sinkholes of the earth surface. The distinctive feature of this study is that one of the series of instrumental observations was made shortly before the collapse of the earth surface over the unfilled voids of previously mined blocks.

It has been discovered that the study area had experienced vertical shifts of alternating nature within several years, with a rise of the earth surface immediately preceding the collapse. However, in the course of further studies the local zone of accumulation of rock mass subsidence with gradually increasing speed was identified, which occurred several years before the sinkhole appearance directly above the site of its formation. The absence of this zone in the period preceding the collapse is explained by the destruction of the observation benchmarks in this local area. Variable annual changes in the surface elevation are most likely caused by the geodynamic movements of the active geological structure associated with the deposit, which has been activated because of years of mining activity.

The analysis results thus revealed that under certain mining and geological conditions destructive deformation processes can develop extremely localized with no visible signs of impact on the adjacent rock mass and the earth surface, which should be taken into account when developing geomechanical monitoring projects at the deposits.

**Keywords:** sinkhole, surface failure, rock mass displacement, monitoring, observation station, mine-surveying, deformational signifiers.

**Keywords:** sinkhole, surface failure, rock mass displacement, monitoring, observation station, mine-surveying, deformational forerunners

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0007

### *Введение*

Проблема наличия непогашенных подземных пустот, образовавшихся в ходе ведения горных работ, крайне актуальна для горнодобывающих регионов, имеющих длительную историю ведения горных работ. Как правило, для таких выработок характерна малая глубина заложения, а также зачастую отсутствие маркшейдерской документации и иной информации об их положении и состоянии, что делает их особенно опасными для эксплуатации вышележащей земной поверхности.

Случаи внезапных обрушений земной поверхности, вызванных потерей устойчивости нижележащих подземных выработок, наблюдаются на подработанных территориях как в России и странах СНГ [1 – 4], так и в Европе [5 – 9], Азии [10 – 11], Америке и Канаде [12 – 13] и ряде других стран.

В Российской Федерации имеется достаточное количество промышленных регионов, на территории которых ведется интенсивная добыча различных природных ресурсов. Одним из крупных горнодобывающих регионов является Пермский край. Повышенная техногенная нагрузка на его территории повышает риск проявления опасных деформационных процессов. Например, по данным мониторинговых наблюдений [2], в 2017 г. только за полугодовой период на территории одного из районов края были зафиксированы 6 провалов над бывшими горными выработками.

В данной статье описан случай образования провала земной поверхности, произошедший в пос. Сараны Пермского края под влиянием ведения подземных горных работ по добыче хромовой руды. Ведение горных работ в поселке насчитывает уже более 100 лет, из-за чего под территорией поселка накопились пустоты от ранее отработанных блоков, положение и состояние которых не всегда точно известно.

Для контроля развития процессов сдвижения на поверхности месторождения заложена наблюдательная станция, по которой выполняются инструментальные наблюдения. При этом одна из серий инструментальных наблюдений была выполнена непосредственно накануне образования провала поверхности. Основной целью исследований, описанных в данной статье, является поиск возможных предвестников данного события по результатам анализа многолетних инструментальных наблюдений.

### *Объект исследований*

Главное Сарановское месторождение хромитов является одним из крупнейших в России и находится на востоке Пермского края на западном склоне Среднего Урала.

Рудоносная зона шириной в плане 40 – 45 м включает три субпараллельных жиллоподобных рудных тела - Западное, Центральное и Восточное. Центральное рудное тело имеет протяженность 1200 м, мощность его изменяется в пределах от 3,5 до 22 м, в среднем составляя 11 м. Западное тело простирается на 910 м при мощности 5 м и Восточное – на 1100 м при мощности 3 – 3,5 м. Рудные тела имеют субмеридиональное простирание, а в южной части месторождения – северо-западное на поверхности и субширотное на глубоких горизонтах. Падение рудных тел в северной части месторождения – от вертикального до крутого западного под углами 79 – 87°; в центральной части – от вертикального до крутого восточного с углами 75 – 84°; в южной части – от крутого северо-восточного под углами 75 – 85° вблизи поверхности до северного под углами 50 – 55° на глубоких горизонтах.

Месторождение характеризуется сложной пострудной тектоникой. Рудные тела, а также вмещающие их серпентиниты разбиты на отдельные блоки различных размеров, смещенные относительно друг друга, с амплитудой перемещения до нескольких десятков метров.

В физико-механическом отношении руды и породы месторождения крепкие, устойчивые, особенно в северной его части. Прочность пород месторождения на одноосное сжатие составляет: руд – 60 – 80 МПа, серпентинитов – 50 – 120 МПа, расслан-

цованных серпентинитов – 40 – 60 МПа, габбро-диабазов и габброидов – 100 - 150 МПа, сланцев – 30 – 45 МПа.

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. При отработке верхних горизонтов шахты применялась система разработки сплошными камерами без закладки выработанного пространства. В результате погашения подземных пустот путем обрушения потолочин на поверхности сформировалась обширная зона обрушения глубиной до 40 – 45 м (рис. 1). Данная зона вытянута в субмеридиональном направлении и состоит из двух обособленных участков, разделенных гипербазитовой дайкой, – Центрального (протяженностью 600 м) и Южного (протяженностью около 350 м).

В настоящее время на руднике эксплуатируются 2 нижних горизонта из 6 существующих. Глубина горных работ относительно земной поверхности достигает 400 м. На 7 и 8-м горизонтах ведутся проходческие и горно-подготовительные работы.

Отработка рудных блоков ведется подэтажно-камерной системой со скважинной отбойкой руды в камеры с оставлением постоянных междукамерных, междублоковых и междуэтажных целиков. Отработанные камеры частично заполняются сухой закладкой – пустой породой от проходки подготовительных выработок. Междукамерные и междуэтажные целики не вынимаются, а запасы их списываются в плановые потери. Тем не менее периодически предпринимались попытки отработки рудных запасов в оставленных целиках. С 2010 г. на Южном фланге месторождения для отработки целиков верхних горизонтов вблизи существующей зоны обрушения начал осуществляться комплекс открытых горных работ [14].

В результате многолетних подземных разработок на поверхности Сарановского месторождения сформировалась обширная мульда сдвижения, включающая зону обрушения, зону трещин и зону плавных сдвижений и деформаций. В границы зоны сдвижения по лежащему боку месторождения попадают промышленные сооружения и коммуникации шахты, а по висячему боку – жилые и общественные здания поселка Сараны, представленные в основном одноэтажной частной застройкой.

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. В образовавшейся зоне обрушения наблюдались незначительные приращения ее границ, обусловленные проявлением гравитационных процессов оседания и уплотнения обрушенных пород.

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.

#### *Конструкция наблюдательной станции*

Для мониторинга процесса сдвижения горных пород на месторождении в 1979 г. была оборудована поверхностная наблюдательная станция. В процессе длительной эксплуатации месторождения данная наблюдательная станция неоднократно претерпевала различные изменения – обновлялась, дополнялась и реконструировалась.

На момент описываемых событий наблюдательная станция включала в себя 7 профильных линий, расположенных вкрест и по простиранию рудных залежей (см. рис. 1). Конструкция наблюдательной станции разрабатывалась согласно действующим нормативным документам, и представляет собой многоуровневую систему.

Каждая профильная линия состоит из рабочих реперов, закладываемых в пределах зоны сдвига, и опорных реперов на концах профильных линий, положение которых условно принимается неподвижным. Кроме того, вокруг месторождения на значительном удалении от зоны влияния горных работ заложена сеть исходных пунктов, от которых контролируется неподвижность опорных реперов. При этом пункты, входящие в исходную сеть, также проходят проверку на устойчивость с помощью специальных алгоритмов. Относительно наиболее стабильных исходных пунктов определяются высотные отметки опорных реперов профильных линий, от которых, в свою очередь, определяется положение рабочих реперов.

Такой метод позволяет не только контролировать распространение зоны сдвига по земной поверхности, но и своевременно переопределять точки отсчета, относительно которых определяются смещения земной поверхности. При выявлении нестабильности опорных реперов, вызванной включением их в расширившиеся границы мульды сдвига, профильная линия продляется по створу с закладкой дополнительных опорных реперов, располагаемых вне границ зоны влияния горных работ.

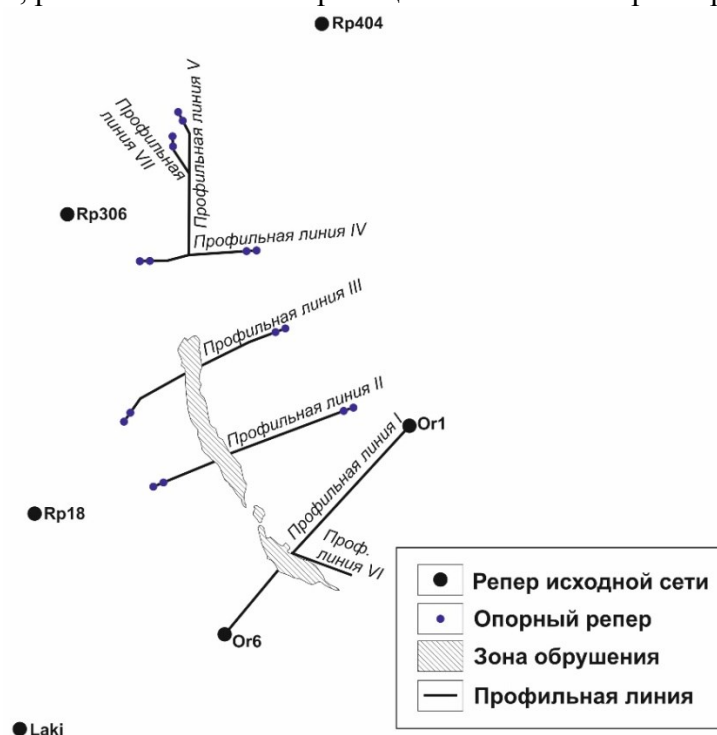


Рис. 1 – Схема наблюдательной станции на Сарановском месторождении

### *Методы выполнения измерений*

Применение описанной выше схемы наблюдений стало возможным благодаря развитию и широкому внедрению ГНСС в практику маркшейдерских наблюдений. Разработанная и впервые примененная на месторождении в 2006 г., данная методика выполнения мониторинга остается неизменной до настоящего времени.

Программа наблюдений на Сарановском месторождении включает в себя определение вертикальных отметок реперов наблюдательной станции методом геометрического нивелирования, измерение расстояний между реперами с помощью электронного тахеометра, а также определение трехмерных координат исходных пунктов и опорных реперов профильных линий методом GPS. Согласно программе наблюдений полевые измерения производятся 1 раз в год.

Геометрическое нивелирование выполняется в прямом и обратном направлении с помощью цифрового нивелира LeicaSprinter250 Ми алюминиевых телескопических штрихкодовых реек с уровнем. Согласно данным производителя, применение такого

комплекта оборудования обеспечивает определение превышения с точностью 1 мм/км двойного хода.

Для измерения расстояний между реперами используется электронный тахеометр LeicaFlexLineTS06. Паспортная точность измерения расстояний данным инструментом составляет 1,5 мм + 2 мм/км, угловая точность – 5''. Тахеометр и призмы-отражатели устанавливаются на штативах непосредственно над реперами с помощью оптических центриров. Тахеометр в некоторых случаях также может устанавливаться и на свободную станцию – в данном случае расстояния определяются косвенным методом.

ГНСС-измерения выполняются с использованием имеющегося комплекта из пяти двухчастотных GPS/GLONASS приемников SokkiaGRX1 относительным методом в режиме «Быстрая статика». Наблюдения производятся в благоприятное время, заранее определяемое в специальной программе-планировщике с учетом количества видимых спутников (при маске горизонта 15°) и при низких значениях фактора GDOP( $\leq 3$ ).

С целью контроля замыкания полигонов измерения выполняются как минимум тремя приемниками одновременно, два из которых являются базовыми и устанавливаются на реперы исходной сети, остальные – подвижными, поочередно устанавливаемыми на опорные реперы. Базовые приемники работают непрерывно в течение всего сеанса наблюдений, подвижные – в течение 20 – 40 мин на каждой точке. Инструментальная погрешность данного метода при использовании указанного оборудования составляет 3 мм + 0,5 мм/км в плане и 5 мм + 0,5 мм/км по высоте.

По результатам обработки измерений в каждом цикле наблюдений определяются величины смещений и относительных деформаций земной поверхности. Вычисление производится как между текущей и предшествующей сериями наблюдений для определения ежегодных приращений, так и относительно исходной серии с целью установления суммарно накопленных значений.

#### *Результаты исследований*

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 г., а также в период с 2013 по 2019 г. для оценки последующего поведения массива. Измерения выполнялись ежегодно, за исключением 2008 г., а также периода 2015 – 2017 гг.

При анализе вертикальных смещений реперов наблюдательной станции Сарановского месторождения, как между циклами наблюдений, так и в рамках одной серии, наблюдается знакопеременный характер сдвига, 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 – с 2009 по 2013 г. 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 г. (рис. 2 а).

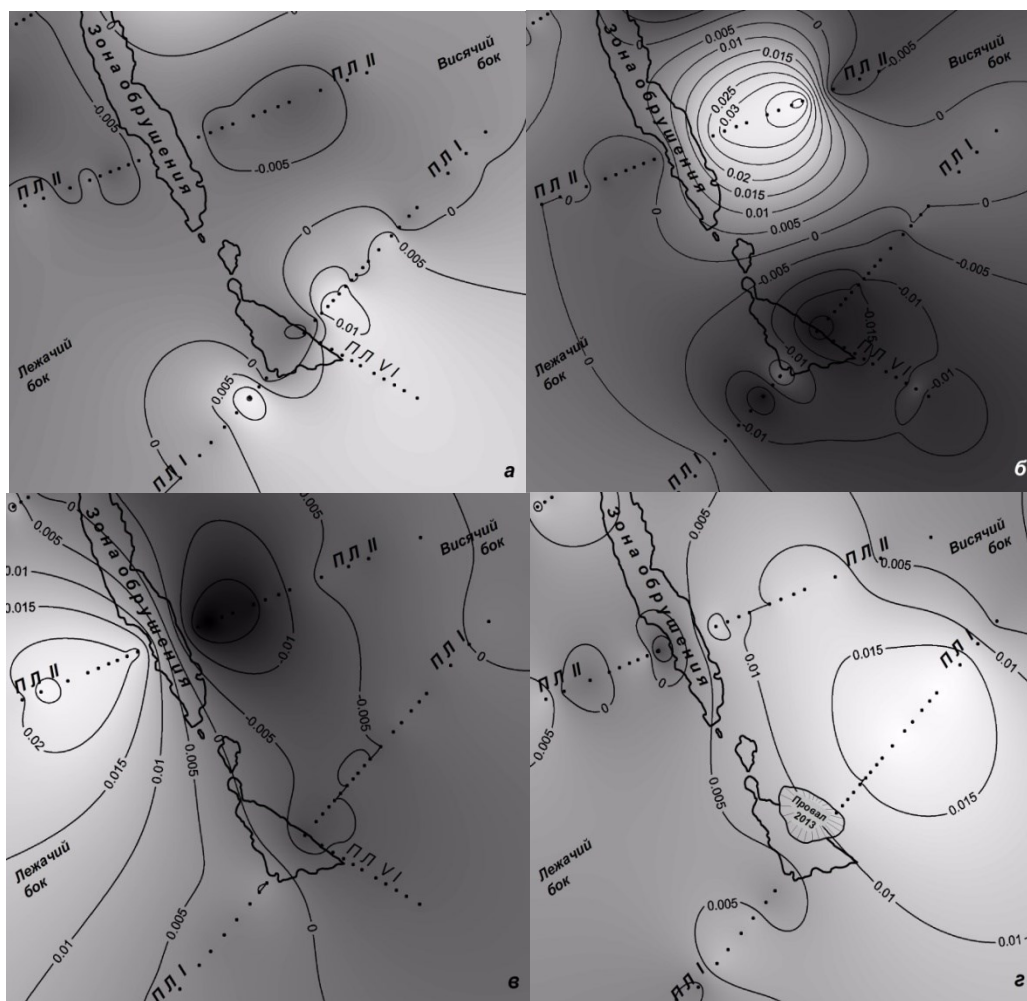


Рис. 2 – Изолинии вертикальных сдвижений земной поверхности за периоды: а – 2009 – 2010 гг.; б – 2010 – 2011 гг.; в – 2011 – 2012 гг.; г – 2012 – 2013 гг.

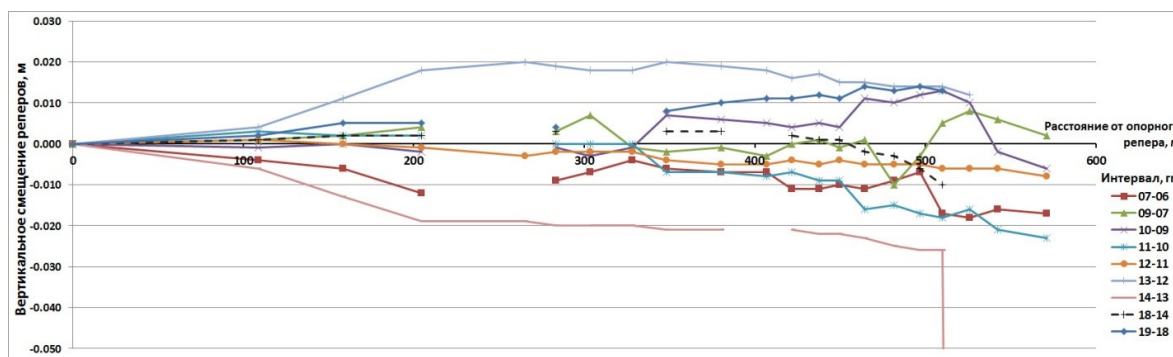


Рис. 3 – Графики годовых вертикальных смещений реперов висячего бока профильной линии I за период 2006 – 2019 гг.

В последующий за обрушением период 2013 – 2014 гг. закономерно произошло значительное оседание всячего 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. Последняя 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 [15, 16].

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 (см. рис. 2 в), а за период 2010 – 2011 гг. – поднятие группы реперов в всячем боку линии II, достигающее 40 мм (см. рис. 2 б). Более того, по результатам последней серии наблюдений 2018 – 2019 гг. рассматриваемый участок всячего 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 (см. рис. 2 б, в) и в виде незначительных оседаний на фоне общего поднятия поверхности (см. рис. 2 а). Отсутствие данной области в период, 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.

С учетом постоянства 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).

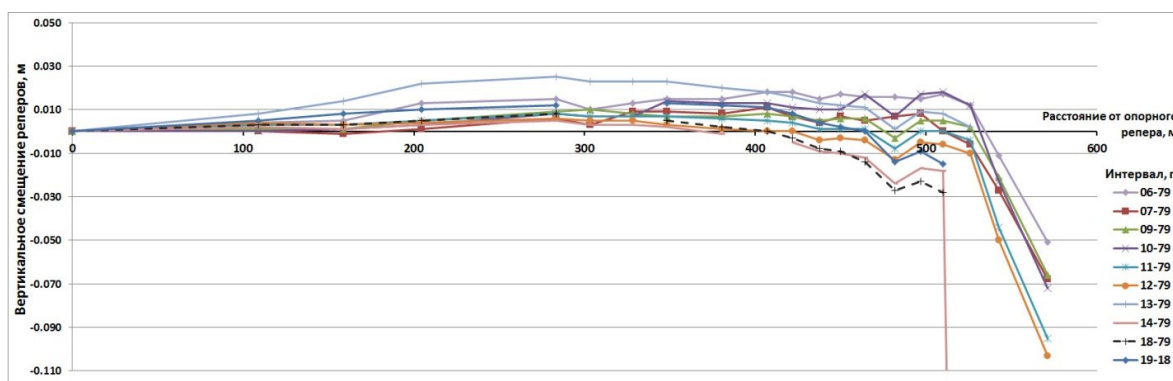


Рис. 4 – Графики вертикальных смещений реперов висячего бока профильной линии I относительно исходной серии наблюдений 1979 г.

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 г. испытали крайние 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, анализ наблюдений на данном интервале также осложнялся 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.

Таблица 1

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

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

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 сдвигения земной поверхности развивались в виде оседаний с постепенно возрастающей скоростью (см. табл. 1).

*Выводы*

1. Деформационные процессы в скальном массиве могут развиваться весьма локализованно, не оказывая заметного влияния на прилегающие участки массива горных пород.
2. Непосредственно на участке образования провала в течение нескольких лет наблюдалось развитие оседания земной поверхности с постепенно возрастающей скоростью, продолжавшееся даже на фоне общего поднятия Южного фланга месторождения.
3. Развитие оседания в данной локальной области происходило при отсутствии подземных горных работ в непосредственной близости от рассматриваемого участка.
4. Наблюдавшиеся на смежных участках (в районе профильных линий II и III) значительные оседания реперов и возрастание их скоростей обусловлены развитием горных работ непосредственно под данными участками. В настоящее время скорости смещения данных точек стабилизировались.
5. Знакопеременные годовые изменения высотных отметок обусловлены геодинамическими движениями активной геологической структуры, к которой приурочено



месторождение. Активизация данной структуры, вероятно, вызвана многолетним воздействием горных работ.

6. Уничтожение реперов наблюдательных станций, весьма распространенное на практике, сильно осложняет анализ и прогноз развития опасных деформационных процессов. Необходимо рассматривать применение альтернативных методов мониторинга, не требующих наличия деформационных марок.

7. Независимо от используемого метода наблюдений по-прежнему актуальным остается вопрос о критериях, свидетельствующих о приближении опасного события. Повторение подобных натуральных экспериментов на практике не представляется возможным, что препятствует накоплению достаточного объема статистических данных.

### *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 локализованно, 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.

### **Литература**

1. Белодедов А. А. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт / А. А. Белодедов, П. Н. Должиков, С. О. Легостаев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – № 1. – С. 160 - 169.
2. Лаврова Н. В. Мониторинговые наблюдения за провалами на территории Пермского края в первом полугодии 2017 г. / Н. В. Лаврова, М. В. Богомаз, О. И. Кадебская // Горное эхо. – 2017. – № 2 (67). – С. 28 - 33.
3. Шачков А. С. Экологический мониторинг ликвидированных месторождений / А. С. Шачков, А. В. Ветошкина, И. В. Соляник // Новое в познании процессов рудообразования : сборник материалов 7-ой Российской молодежной научно-практической школы (Москва, 13–17 ноября 2017 г.). – Москва : ИГЕМ РАН, 2017. – С. 319 - 322.

4. Горнотехнические и геомеханические аспекты сдвижения пород на горнорудных предприятиях Кривбасса / Е.П. Чистяков, А.И. Федоренко, Д.Е. Чистяков, В. И. Мошинский // Горный вестник. – 2013. – № 1 (96). – С. 109 - 112.
5. Mine subsidence as a post-mining effect in the Upper Silesia coal basin / G. Strozik, R. Jendrus, A. Manowska, M. Popczyk. – DOI 10.15244/pjoes/61117 // Polish Journal of Environmental Studies. – 2016. – Vol. 25. – No. 2. – P. 777 – 785.
6. Sinkhole formation above underground limestone quarries: A case study in South Limburg (Belgium) / Van Den Eeckhaut M., J. Poesen, M. Duser, V. Martens, Ph. Duchateau. – DOI 10.1016/j.geomorph.2007.01.016 // Geomorphology. – 2007. – Vol. 91. – P. 19 - 37.
7. Harnischmacher S. Mining and its impact on the earth surface in the Ruhr District (Germany) / S. Harnischmacher, H. Zepp // Zeitschrift für Geomorphologie. – 2014. – Vol. 8. – Suppl. 3. – P. 3 - 22.
8. Scotto di Santolo A. Analysis of sinkhole triggering mechanisms in the hinterland of Naples (southern Italy) / Scotto di Santolo A., G. Forte, A. Santo. – DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.02.014 // Engineering Geology. – 2018. – Vol. 237. – P. 42 - 52.
9. The risk of collapse in abandoned mine sites: the issue of data uncertainty / L. Longoni, M. Papini, D. Brambilla, D. Arosio, L. Zanzi. – DOI 10.1515/geo-2016-0022 // Open Geosciences. – 2016. – Vol. 8. – Iss. 1. – P. 246 - 258.
10. Engineering geology and ground collapse mechanism in the Chengchao iron-ore Mine in China / K. Xia, C. Chen, Y. Zheng, H. Zhang, X. Liu, Y. Deng, K. Yang. – DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.12.028 // Engineering Geology. – 2019. – Vol. 249. – P. 129 - 147.
11. Collapses of old mines in Korea / T. Waltham, H. D. Park, J. Suh, M. H. Yu, H.H. Kwon, K. M. Bang. – DOI 10.1016/j.enggeo.2010.11.007 // Eng. Geol. – 2011. – Vol. 118 (1). – P. 29 - 36.
12. Sainsbury D. P. Investigation of caving induced subsidence at the abandoned Grace Mine / D.P. Sainsbury, B.L. Sainsbury, L.J. Lorig. – DOI: 10.1179/174328610X12820409992336 // Mining Technology. – 2010. – Vol. 119. – No. 3. – P. 151 - 161.
13. Bétournay M. C. Abandoned metal mine stability risk evaluation / M. C. Bétournay. – DOI 10.1111/j.1539-6924.2009.01267.x // Risk Anal. – 2009. – V. 29 (10). – P. 1355 - 1370.
14. Драсков В. П. Анализ особенностей развития деформационных процессов сдвижения по результатам натуральных наблюдений на Сарановском месторождении хромитов / В. П. Драсков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 9. – С. 49 - 58.
15. Деформационные предвестники техногенных землетрясений при разработке месторождений углеводородов / Ю.А. Кашников, С.Г. Ашихмин, В.Г. Букин, С.В. Гришко, И.В. Гетманов, С.Л. Одинцов, А.В. Горбатиков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 4. – С. 40 - 49.
16. Szwedzicki T. Rock mass behaviour prior to failure / T. Szwedzicki – DOI: 10.1016/S1365-1609(03)00023-6 // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 2003. – Vol. 40. – P. 573 - 584.