

В.П. Драсков

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА САРАНОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ХРОМИТОВ

Рассмотрена геомеханическая ситуация особенностей развития деформационных процессов сдвижения при подземной разработке Сарановского месторождения хромитов. Горно-геологические и геомеханические факторы обусловили в мульде сдвижения формирование зоны аномального развития процесса сдвижения, обособленных областей проявления вертикальных и горизонтальных деформаций переменного знака: оседания-поднятия, сжатия-растяжения и внезапное развитие деформационных процессов разрушения земной поверхности провального или сдвигового характера.

Ключевые слова: месторождение, подземные разработки, процессы, сдвижение, напряжения, деформации, оседание, обрушение, провалы.

Сарановское месторождение хромитов расположено на склоне Среднего Урала в пределах меридионально вытянутой возвышенности при населенном пункте пос. Сараны, который территориально относится к Чусовскому району Пермского края.

Месторождение представлено рудноносной зоной протяженностью 2 км и шириной 40–50 м, включающей три, разделенных безрудными пропластками, жилообразных рудных тела.

По характеру залегания рудных тел месторождение подразделяется на Северный, Центральный и Южный участки. В целом рудоносный комплекс имеет мощность 20–40 м, протяженность до 2 км, углы падения от 45 до 900. На глубину рудные тела прослежены до глубины 500 м от поверхности.

Месторождение известно с 1930-х гг. и его отработка до 1935 г. осуществлялась открытым способом. По завершению отработки верхней части карьера добывочные работы на нижезалегающих горизонтах осуществляются подземным способом.

Подземными горными работами к настоящему времени отработаны за-

пасы на горизонтах +400 м, +340 м, +220 м. Современные горные работы ведутся на гор. +160 м и гор. +100 м.

Подземные разработки осуществляются камерными системами с обрушением руды и вмещающих пород с оставлением междукамерных, междублоковых и междуэтажных целиков с закладкой выработанных пространств пустой породой.

Погоризонтная отработка рудных запасов месторождения осуществляется в направлениях от центра к флангам. Протяженность территории горного массива и его земной поверхности, подработанных горными работами, достигает 1,6 км.

Обращая на это внимание, представление о масштабах и состоянии подработанной территории и, следовательно, о проблеме сдвижения и охраны сооружений в зоне вредного влияния подземных разработок на месторождении складывается следующее.

В результате многолетних подземных разработок на территории месторождения образовалась обширная мульда сдвижения и обрушения земной поверхности.

В мульде сдвижения на протяжении всего периода от начала до сегодняшнего дня осуществления подземных разработок наблюдается развитие деформационных процессов сдвижения и обрушения с определенными закономерностями и особенностями [1]. При этом согласно инструментальным и визуальным наблюдениям характеру развития процесса сдвижения на Сарановском месторождении остаются присущими как известные закономерности и особенности, так и раннее неизвестные особенности.

В рамках установленных закономерностей наблюдается развитие деформационных процессов оседания, растяжения и обрушения земной поверхности на подрабатываемой территории.

К известным особенностям процесса сдвижения относятся наблюдаемые обособленные участки мульды сдвижения с проявлением деформаций поднятия и сжатия земной поверхности или участки мульды сдвижения с ано-

мальным развитием деформационных процессов сдвижения, обусловленных фактором изменения напряженного состояния подрабатываемого массива [2, 3].

Совокупность особенностей дополняют факты внезапного развития на отдельных участках мульды сдвижения деформационных процессов разрушения сплошности земной поверхности провального или сдвигового характера.

В реалиях таких фактов на месторождении фигурируют произошедшее в 1970-х гг. событие аномального развития и приращения в глубину массива на 160 м зоны обрушения по висячему боку на Центральном участке в осях +10÷+22, проявление в 2005 г. деформационных оползневых процессов разрушения приконтурного массива зоны обрушения по лежачему боку на Центральном участке в районе шахтной промплощадки, а в подземных условиях это разрушение штрека на гор. +340 м и, наконец, события 2013 г., когда были зафиксированы



Рис. 1. Внезапное обрушение земной поверхности и образование провала на Южном фланге

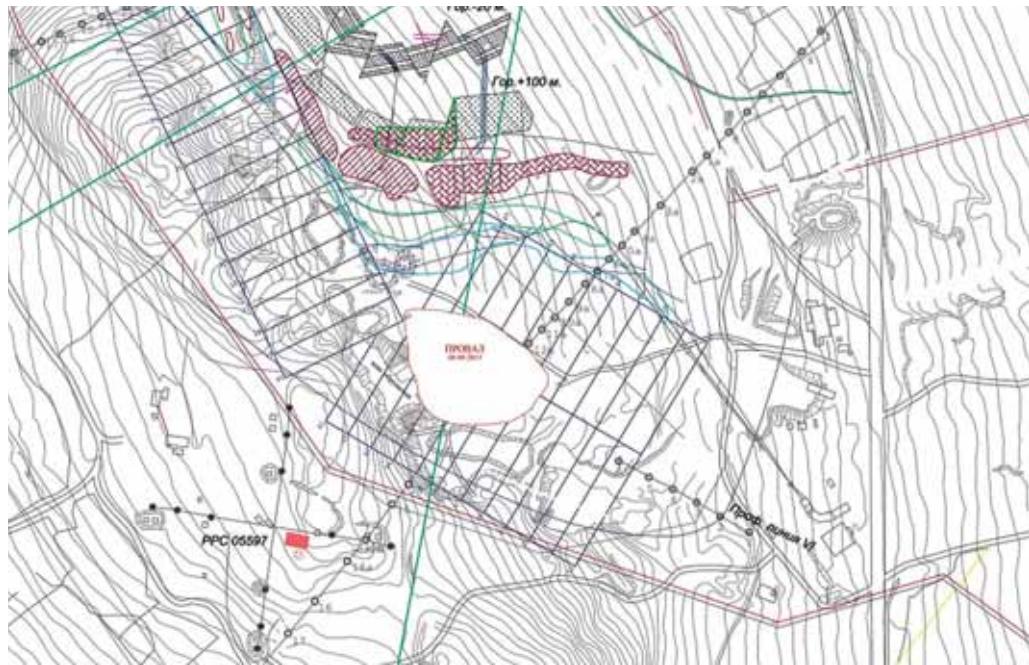


Рис. 2. План поверхности подработанной территории и провала на Южном фланге

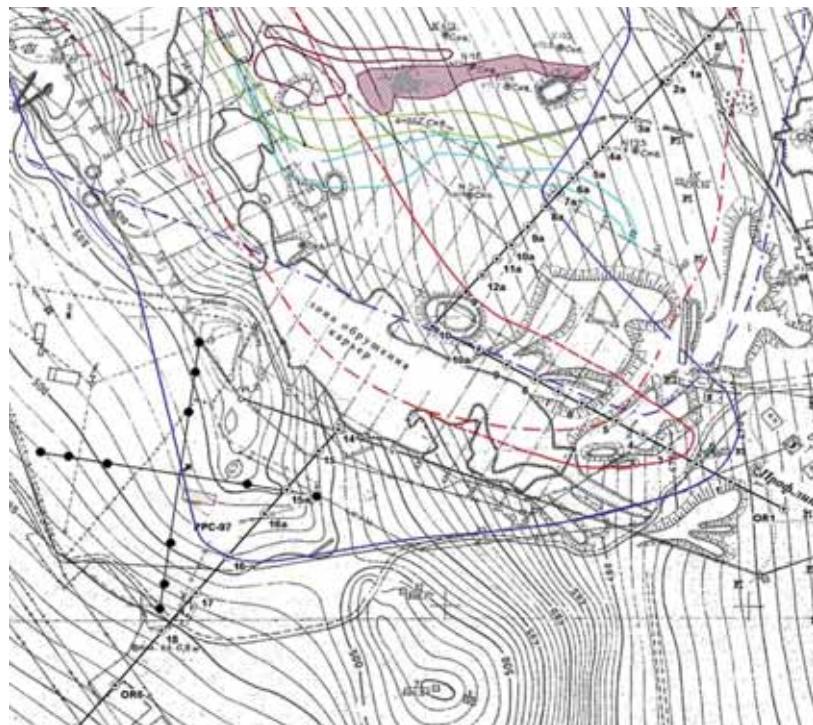


Рис. 3. План поверхности подработанной территории Южного фланга до образования провала

факты внезапного обрушения земной поверхности с образованием провала в висячем боку на Южном фланге в осях +41÷+47 и обнаружено развитие обособленной мульды прогиба земной поверхности в осях -8÷-11 с участком разрушения и проседания грунта на Северном фланге. При этом в рамках анализа природы развития этих геомеханических процессов сдвижения и обрушения на месторождении особенно обращает внимание событие внезапного обрушения земной поверхности на одном из участков подработанной территории Южного фланга (рис. 1 и 2).

Внезапное обрушение и образование провала на подработанной территории Южного фланга произошло 8 августа 2013 г. в 02:00 по местному времени. Провал овальной формы размерами 220×160 м и глубиной 60 м образовался в краевой части существующей зоны обрушения и бывшего карьера в осях +41÷+47 (рис. 2).

Фактическая мульда сдвижения и ее зона обрушения на участке внезапного образования провала сформировалась при отработке запасов Южного фланга на первом подземном горизонте +400 м.

Гор. +400 м была вскрыта рудоносная зона с рудными телами, залегающими у поверхности и частично отработанных карьером.

Поэтому развитие процессов обрушения и формирование общей зоны обрушения при отработке произошло в пределах контура выработанного пространства карьера (рис. 3). Поэтому развитие процессов обрушения и формирование общей зоны обрушения при отработке произошло в пределах контура выработанного пространства карьера.

При этом полного обрушения массива висячего бока над отработанными блоками не произошло. В результате образовалась зависшая консоль

подработанной толщи, на поверхности которой достигшие ее локальные деформационные процессы обрушения локализовались в виде обособленных воронок обрушения.

В последующий период по настоящее время были полностью отработаны запасы в этаже горизонтов: +160÷+400 м. Современные подземные разработки ведутся в этаже горизонтов +100÷+160 м и достигли глубины 380 м от поверхности.

Граница подработки массива висячего бока Южного фланга отстояла от контура зоны обрушения на расстоянии 200÷250 м.

С переходом подземных горных работ на нижезалегающие эксплуатационные горизонты процесс сдвижения от отработанных горизонтов развивается преимущественно с приращением зоны плавных сдвижений и деформаций земной поверхности.

Наблюдаемая стабилизация деформационных процессов обрушения на протяжении всего периода от начала образования окончательной зоны обрушения до события внезапного обрушения была обусловлена удерживающим фактором, которым являются оставляемые целики и потолочкины после отработки запасов на эксплуатационных горизонтах.

Следует отметить, что рудные запасы, законсервированные в оставленных целиках или в некоторых блоках, списанных с балансового учета по горно-геологическим причинам, выступают в роли мотивации в заинтересованности у шахты для их повторной отработки на протяжении всего периода эксплуатации месторождения.

Поэтому в технологии ведения очистных работ не исключалась возможность погашения потолочин и рудных целиков. И в подтверждении этому следует привести, например, далеко не единственный факт на месторождении, а именно факт отработки в конце

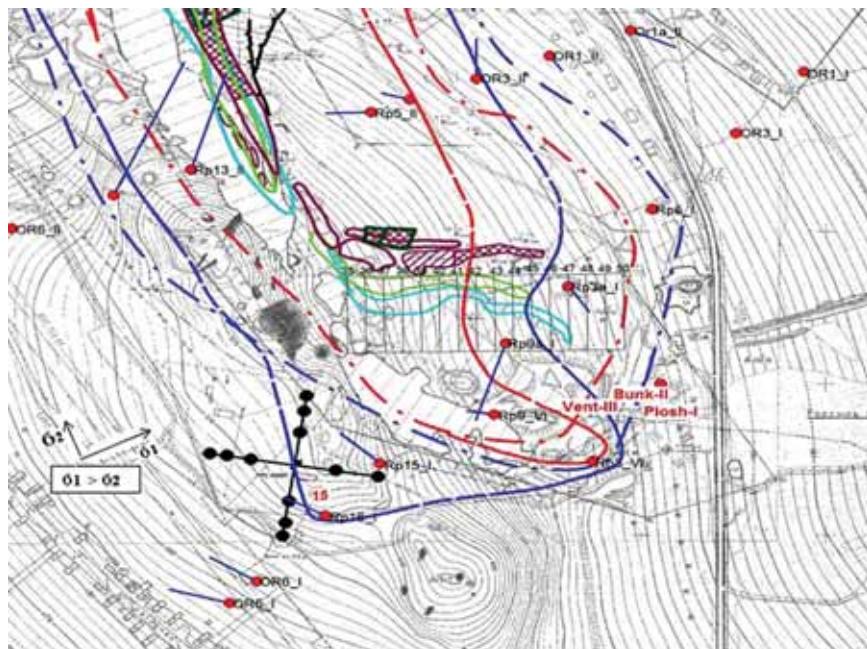


Рис. 4. Вектора сдвигений 2009–2010

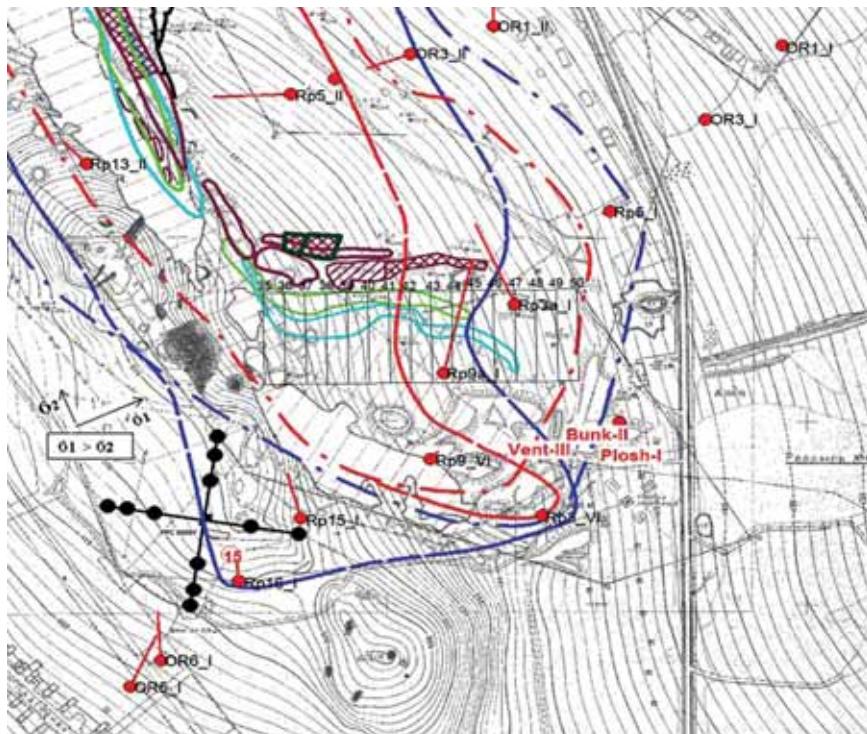


Рис. 5. Вектора сдвигений 2011–2012

1990-х потолочины на Южном фланге в этаже горизонтов +160÷+220 м и в осях +41÷+46.

Рудные запасы в оставленных целиках и списанные рудные запасы в размерах объема целого блока в осях +44÷+50 на горизонте +400 м, а также запасы бедной руды в породных отвалах, явились предлогом для их повторной отработки.

Поэтому шахтой в существующей зоне сдвижения и обрушения на Южном фланге с 2010 г. до образования провала в 2013 г. для добычи руды начал осуществляться весь комплекс открытых работ.

Таким образом, в качестве причины потенциальной возможности совершения события внезапного развития процесса обрушения провального характера на Южном фланге следует рассматривать следующие предпосылки:

- реализация эффекта действующего на месторождении анизотропного поля тектонических напряжений ($\sigma_1:\sigma_2:\sigma_3=1:0,6:0,5$), которым обусловлены особенности развития деформационных процессов сдвижения аномального характера;

- процесс разупрочнения уже подработанного массива по месту образования провала обусловлен негативными последствиями от объединения выработанных пространств подземных блоков в результате отработки или естественного разрушения удерживающих целиков и ведение открытых работ на поверхности в зоне обрушения в висячем боку.

Основой для исследований закономерностей и особенностей развития деформационных процессов сдвижения на месторождении являются инструментальные наблюдения.

Принимая во внимание, что расположение проф. линии I удачно соглашается с местом образования провала в 2013 г., были проанализированы результаты наблюдений по ее репе-

рам с целью прояснить какой характер развития вертикальных и горизонтальных сдвигов испытала земная поверхность до наступления события внезапного обрушения (рис. 4, 5).

Анализ результатов наблюдений за период с 2009–2013 гг. показал следующее.

В период с 2009 по 2011 гг. по всем реперам за исключением реперов, расположенных по месту будущего провала, наблюдается общий процесс поднятия и сжатия земной поверхности подработанного массива висячего бока с наибольшим приращением этих сдвигов в 2010 г. А уже в сериях наблюдений 2011–2013 гг. отмечается развитие процесса общего оседания земной поверхности, представленного вертикальными смещениями подъема реперов и растяжениями интервалов между реперами.

Наблюдаемый характер развития процесса сдвижения за рассматриваемый период указывает на упругое деформирование подработанного массива. При этом изменение общей направленности векторов сдвижений согласуется с направлением наибольшего главного напряжения σ_1 (рис. 4, 5).

По реперам 9, 10 и 12 а, расположенных по месту будущего провала, наблюдается развитие процесса оседаний с приращением их величины от 21 мм до 103 мм. Наибольший наклон i достиг уровня 60% от критерия $i = 4 \cdot 10^{-3}$.

Приращение величины горизонтальной деформации ε от ее значения $0,013 \cdot 10^{-3}$ возросло до значения $2,27 \cdot 10^{-3}$, что превысило уровень критерия опасных деформаций $\varepsilon = 2,00 \cdot 10^{-3}$.

Практика показывает, что если на участках мульды сдвижения над выработанными подземными пространствами зафиксирована величина горизонтальных деформаций, достигших или превысивших критерий опасных

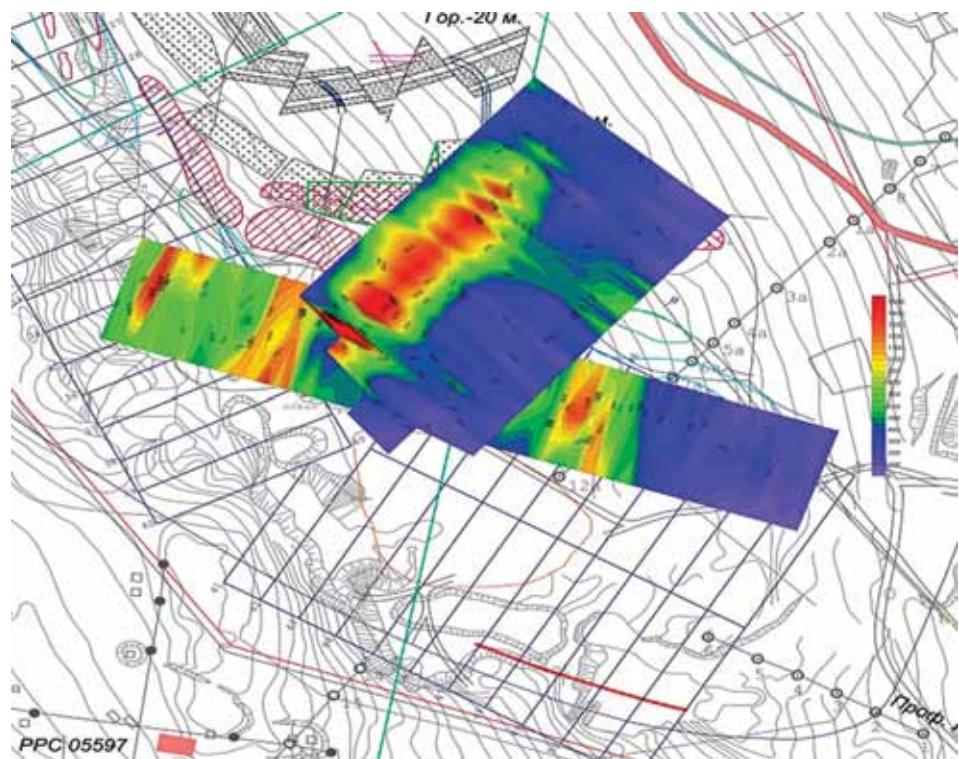


Рис. 6. Результаты геофизических наблюдений 2010–2013 гг.



Рис. 7. Диагностика геомеханического состояния приконтурного массива зоны обрушения в районе шахты



Рис. 8. Участок обособленной мульды сдвижения на Северном фланге над блоком 8-12

деформаций подобно динамическому скачку, то на подработанной территории неизбежно возрастаёт вероятность потенциальной угрозы проявления деформационных процессов сдвижения и обрушения земной поверхности [4].

На рис. 6 показана построенная по результатам геофизических наблюдений 2013 г. и прошлых лет геолектрическая модель участка подработанной территории в границах внезапного образования провала.

Диэлектрические свойства модели, представленные областями синего цвета, указывают на то, что подработанному массиву пород висячего бока в большей степени остаются присущими признаки ненарушенной первичной структуры – пластообразное строение, рассеченное разрывными нарушениями невысоких рангов.

Красная область диэлектрических свойств характеризует явно произошедшие изменения структуры массива и отражает его дезинтегрированное состояние или его нарушенность, обусловленная развитием деформационных процессов сдвижения и обрушения.

На местности в границах рассматриваемого участка наблюдается про-

явление деформационных процессов сдвижения и обрушения краевой части существующей зоны обрушения и развитие обособленной воронки обрушения.

Результаты геофизических измерений хорошо согласуются с результатами инструментальных геодезических наблюдений, которыми зафиксировано на рассматриваемом участке проявление опасных деформаций и активного развития процесса оседания.

Применимость совмещения методов геофизики с инструментальными геодезическими наблюдениями для диагностики геомеханического состояния подработанных массивов, подверженных воздействию экстремальных величин сдвигов и деформаций, подтверждается опытом аналогичных исследований, осуществляемых на других месторождениях [5].

Результатами геофизических наблюдений по исследованию геомеханического состояния приконтурного массива борта зоны обрушения на Северном фланге в районе шахтной промплощадки своевременно были обнаружены признаки развития разрывных нарушений сдвигового характера в границах выявленной ранее

зоны деструктивных пород, отмеченной на рис. 7 оранжевым цветом.

По результатам диагностики было принято решение по предотвращению угрозы распространения деформационных процессов на охраняемые объекты шахты. В качестве мер охраны объектов были задействованы мероприятия по засыпке зоны обрушения породным отвалом, которым обеспечивалась стабилизация развития оползневых процессов сдвижения.

При проведении в 2013 г. текущей серии мониторинга процесса сдвижения на месторождении была выявлена ранее не наблюдавшаяся обособленная область фактической зоны сдвижения в маркшейдерских осях -8÷-12 на Северном фланге с особенностями проявившихся деформационных процессов сдвижения (рис. 8).

В наблюдаемой области были зафиксированы фактические признаки вредного влияния деформаций от подземных разработок на участок земной поверхности на территории залегания отработанных рудных залежей.

В качестве этих признаков выступают образование обособленной мульды общего прогиба земной поверхности с участком проседания почвы наносов в виде провальной ямы и небольших впадин.

На участке образования провальной ямы и впадин, расположенных над выработанным пространством подземного блока гор. +280 м в осях: -8÷-12, согласно результатам инструментальных наблюдений ИГД УрО РАН и результатам назначенного мониторинга, осуществляющегося шахтой, земная поверхность подвержена трендовому воздействию деформаций переменного знака, отражающему динамический процесс образования и развития мульды прогиба земной поверхности.

Обращает внимание деформационное состояние подработанной толщи и ее земной поверхности вблизи проваль-

ной ямы, где величина горизонтальной деформации ε в интервале между реферами 5–6–17 проф. линии IV превысила уровень по критерию опасных деформаций $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ и в период с 2005–2013 гг. она имела численные значения 2,08, 3,62 и $4,20 \cdot 10^{-3}$.

Однако в рамках анализа причины, вызвавшей образование провальной ямы, фактор воздействия опасных деформаций далеко не единственный и не может быть отнесенными к основным факторам. Так как провальная яма не соответствует характерным нарушениям земной поверхности в результате развития процесса сдвижения и выхода его на дневную поверхность, а это трещины, террасы и воронки обрушения.

Результатами геофизических исследований состояния подработанной толщи в обособленной мульде сдвижения были выявлены деструктивные зоны породного массива, отстоящие от дневной поверхности и участка провальной ямы на глубине 20–25 м.

Как правило, деструктивные зоны формируются на участках существенной нарушенности массива, обусловленной естественной трещиноватостью и тектоникой или подземными выработанными пространствами и процессами обрушения над ними.

Породная потолочина, залегающая над деструктивными зонами, сохранила не нарушенную горными работами первичную структуру, но она изобилует трещинами, обусловленные деформациями прогиба подработанной породной толщи.

Принимая это во внимание, в качестве основной причины образования провальной ямы наряду с горными и геомеханическими факторами следует рассматривать суффозионные процессы грунта, которые активизировались в результате образования депрессионной зоны, обусловленной ведением подземных разработок.

Таким образом, приведенные факты особенностей развития деформационных процессов сдвижения и обрушения на месторождении обусловлены горно-геологическими,

геологическими и геомеханическими факторами влияния не только подземными работами, но и изменением напряженно-деформированного состояния подработанных массивов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрaskов В.П. Особенности развития процесса сдвижения горных пород на Сарановском месторождении хромитов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 6. – С. 169–173.
2. Сашурин А.Д. Сдвижение горных пород на рудниках черной металлургии. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 268 с.
3. Сашурин А.Д. Особенности сдвижения горных пород в условиях тектонических полей напряжений железорудных месторож-дений // Горный журнал. – 1980. – № 4. – С. 47–49.
4. Усанов С.В., Мельник В.В., Замятин А.Л. Мониторинг трансформации структуры горного массива под влиянием про-цесса сдвижения // Физико-технические проблемы полезных ископаемых. – 2013. – № 6. – С. 83–89.
5. Замятин А.Л. Исследования геодина-мической активности геофизическими мето-дами // Горный журнал. – 2012. – № 6. – С. 321–315. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Дрaskов Владимир Павлович – старший научный сотрудник, e-mail: draskov_vp@mail.ru, Институт горного дела УрО РАН.

UDC 622.834.53

THE ANALYSIS OF PECULIARITIES OF DEVELOPMENT OF DEFORMATION PROCESSES TRAFFICS ON THE RESULTS OF FIELD OBSERVATIONS ON SARANY DEPOSIT OF CHROMITE

Draskov V.P., Senior Researcher, e-mail: draskov_vp@mail.ru,
Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 620219, Ekaterinburg, Russia.

Based on the case study of peculiarities of development of deformation processes traffics in underground development Sarany chromite Deposit. Geological and geomechanical factors resulted in the mulde rock formation of zones of abnormal development of the process of displacement, separate areas manifestations of vertical and horizontal deformations of variable sign: subsidence-uplift, compression-tension and the sudden development of deformation processes of destruction of the earth surface failure or shear nature.

Key words: mine: underground mining, process, stress, strain, movement, subsidence, failure, ollapse.

REFERENCES

1. Draskov V.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2004, no 6, pp. 169–173.
2. Sashurin A.D. *Sdvizhenie gornykh porod na rudnikakh chernoy metallurgii* (Rock movement in iron-and-steel-industry mines), Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 1999, 268 p.
3. Sashurin A.D. *Gornyy zhurnal*. 1980, no 4, pp. 47–49.
4. Usanov S.V., Mel'nik V.V., Zamyatkin A.L. *Fiziko-tehnicheskie problemy poleznykh iskopaemykh*. 2013, no 6, pp. 83–89.
5. Zamyatkin A.L. *Gornyy zhurnal*. 2012, no 6, pp. 321–315.

