



**ОСОБЕННОСТИ ОБРУШЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ СЛЕПЫХ РУДНЫХ ТЕЛ
ЮГО-ВОСТОЧНОГО УЧАСТКА ТАШТАГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Т. В. Лобанова

*Сибирский государственный индустриальный университет,
E-mail: lobanova_tv@sibsiu.ru, ул. Кирова 42, г. Новокузнецк 654006, Россия*

Рассмотрена проблема устойчивости обнажений слепых рудных тел, отработка которых проводится системами с обрушением руд и вмещающих пород в сложных горно-геологических условиях. Приведены результаты мониторинга процессов сдвижения и деформирования земной поверхности над выработанным пространством слепых рудных тел, где расположены охраняемые объекты. Установлены аномальные параметры вертикальных и горизонтальных сдвижений, высокие короткопериодные движения при проведении массовых взрывов. Особое внимание уделено параметрам сдвижения земной поверхности над будущим провалом перед его образованием, которые были существенно меньше критериальных значений. Проанализированы факторы, повлиявшие на образование провала.

Слепые рудные тела, земная поверхность, охраняемые объекты, параметры сдвижения, провал, массовые взрывы

**FEATURES OF THE EARTH'S SURFACE COLLAPSE
OVER MINED-OUT SPACE OF BLIND ORE BODIES
IN SOUTH-EASTERN SITE OF THE TASHTAGOL DEPOSIT**

T. V. Lobanova

*Siberian State Industrial University,
E-mail: lobanova_tv@sibsiu.ru, ul. Kirova 42, Novokuznetsk, 654006 Russia*

The problem of exposure stability of blind ore bodies which are mined by the systems with a collapse of ores and enclosing rocks in difficult mining and geological conditions is considered. The results of monitoring the processes of displacement and deformation of the Earth's surface over the mined-out space of blind ore bodies, where the protected objects are located, are presented. Anomalous parameters of vertical and horizontal displacements, high short-period movements during large-scale blasting were established. Particular attention is paid to the parameters of displacement of the Earth's surface above the future pit before its formation, which were significantly lower than the criteria values. The factors which influenced the pit formation are analyzed.

Blind ore bodies, the Earth's surface, protected objects, displacement parameters, pit, large-scale blasting

Рудная зона Юго-Восточного участка Таштагольского месторождения находится на расстоянии 500–600 м от юго-восточного продолжения рудной зоны Восточного участка (рис. 1) и представлена слепыми телами. Верхняя кромка рудных тел расположена на глубине 400–500 м от земной поверхности. В пределах трех этажей, запроектированных к отработке, максимальная длина рудных тел по простиранию составляет 470 м, максимальная общая мощность рудных тел до гор. –70 м не превышает 75 м, их угол падения — 80–90°, вынимаемая высота рудного тела — 210 м. Налечающие породы представлены преимущественно сланцами и песчаниками. Минимальная глубина залегания рудных тел от земной поверхности до гор. +140 м составляла 470 м, мощность наносов — 6 м, коэффициент крепости налегающих и вмещающих пород 10–16 в зонах повышенной трещиноватости снижается до 5–6.

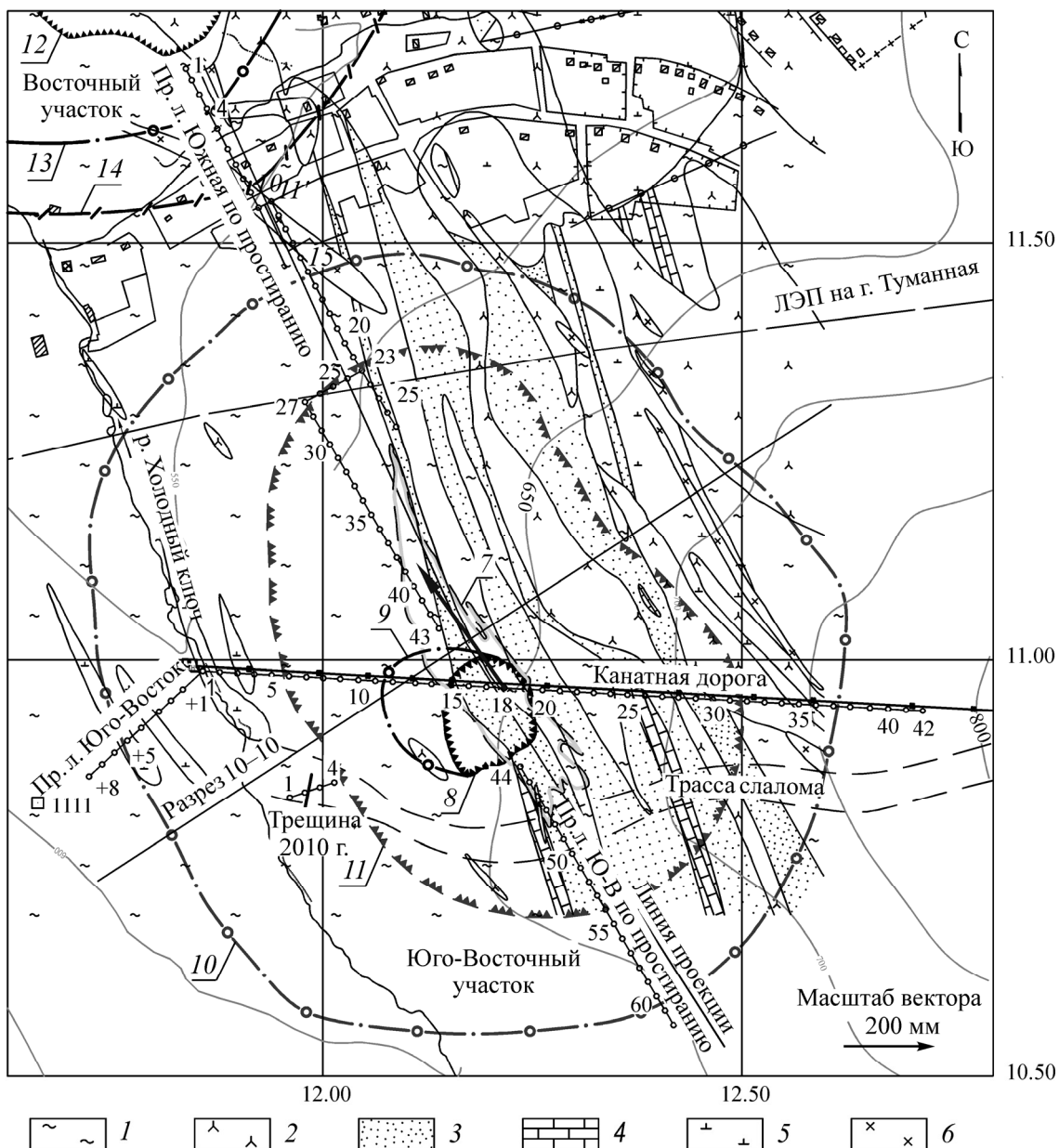


Рис. 1. План поверхности Юго-Восточного участка: 1 — сланцы; 2 — сиениты; 3 — песчаники; 4 — известняки; 5 — габбро-порфириты; 6 — дайки диоритового порфирита; 7 — проекция рудных тел гор. +70, ±0, -70 м; 8 — провал; 9, 10 — граница зоны опасных сдвижений соответственно фактической и ожидаемой от гор. -70 м; 11 — граница зоны возможного внезапного образования провалов от гор. -70 м; 12, 13, 14 — соответственно границы провала, зоны опасных сдвижений и мулды сдвижения Восточного участка

Технология отработки участка в этажах (-70)–(+140) м заключается в следующем. Участок обрабатывается системой этажно-принудительного обрушения тремя этажами высотой по 70 м (рис. 2). Рудное тело по простиранию на каждом горизонте разделено на четыре блока. Отдельные блоки в этажах, в зависимости от условий отбойки разделяются на слои, секции или панели. Отработка проводится сверху вниз, начиная с верхнего этажа (+70)–(+140) м. Промежуточный горизонт выпуска руды расположен на гор. ±0 м, а основной — на гор. -70 м. Через промежуточный горизонт осуществлялся выпуск руды из компенсационных камер, перепускных щелей и руды, обеспечивающей необходимое разрыхление для отбойки в зажатой среде. Остальной объем отбитой руды в верхнем и среднем этажах магазинируется и выпускается только при отработке нижнего этажа.

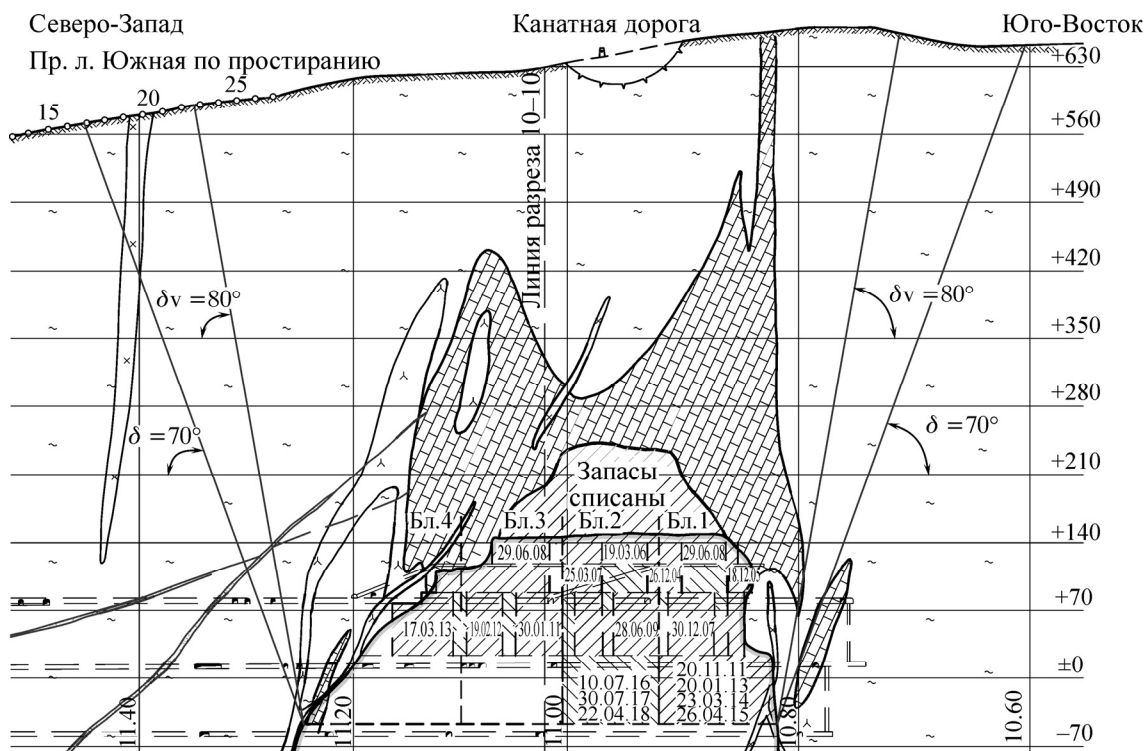


Рис. 2. Вертикальная проекция по простиранию Юго-Восточного участка (запасы списаны по протоколу ТКЗ Кузбасснедра № 1028)

Разработка запасов Юго-Восточного участка начата в 2004 г. Таштагольским филиалом ОАО «Евразруда». За период 2004–2017 гг. на участке полностью взорваны запасы рудных тел в верхних этажах (+70)–(+140) и (±0)–(+70) м. В нижнем этаже (–70)–(±0) м взорваны и полностью отработаны запасы блока 1, в блоке 2 проведено два массовых взрыва по обрушению панелей 1–1 и 2–1.

Особенностью отработки запасов Юго-Восточного участка является не только необходимость обеспечения безопасного ведения горных работ, но и требование устойчивой эксплуатации охраняемых объектов в пределах потенциальной зоны опасных сдвижений. В этой зоне от гор. –70 м на начало ведения очистных работ были расположены горнолыжный подъемник (канатная дорога), трасса слалома и руч. Холодный ключ (рис. 1). Эксплуатация объектов на земной поверхности при отработке слепых рудных тел зависит от устойчивости обнажений [1]. На первом этапе извлечения запасов участка до гор. –70 м расчетами ВостНИГРИ в 2002 г. был сделан прогноз устойчивого состояния налегающих и боковых пород. В процессе отработки участка при уточнении параметров выработанного пространства расчеты устойчивости обнажений периодически повторялись. Усовершенствована также методика оценки устойчивости [1, 2], согласно которой было получено предельно устойчивое состояние обнажений. В связи с этим принято решение о закрытии горнолыжной трассы. В 2009–2010 гг. в северной части зоны опасных сдвижений появился новый охраняемый объект — ЛЭП на г. Туманная.

Образование провала на земной поверхности произошло вдоль трассы бывшего горнолыжного подъемника предположительно 9 ноября 2017 г., когда сейсмостанцией Таштагольской шахты зафиксировано значительное количество низкочастотных событий, которые можно рассматривать как обрушения. Маркшейдерским отделом шахты выполнена съемка поверхности в районе провала. Глубина воронки с северной стороны доходила до 10–15 м, с южной — до 30 м, размеры воронки в горизонтальной плоскости составляли 110×130 м. С ноября 2017 г. по сентябрь 2018 г. размеры провала в плане практически не изменились, что зафиксировано инструментальными наблюдениями, в то же время заметно увеличилась глубина провала.

Фактическая возможность эксплуатации объектов на подрабатываемой территории оценивается по величинам сдвижений и деформаций [1], определяемым инструментальными наблюдениями в процессе отработки месторождений. Для прогноза устойчивого состояния налегающей толщи в качестве основного метода ВостНИГРИ предложен метод инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности по грунтовым реперам, включающий геометрическое нивелирование и линейные измерения, выполняемые в соответствии с нормативными требованиями [3]. При проведении инструментальных наблюдений возможность временного нахождения людей на земной поверхности над выработанным пространством слепых рудных тел зависит от критериев безопасного состояния [4]: оседания земной поверхности до 300 мм, деформации растяжения 10 мм/м, разности оседаний соседних реперов не более 250 мм.

Инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности Юго-Восточного участка проводятся ежегодно с 2003 г. по профильной линии грунтовых реперов, заложенной вдоль трассы подъемника в пределах зоны возможного опасного влияния горных разработок (рис. 1). В дополнение к этой профильной линии в июне 2011 г. маркшейдерским отделом Таштагольского филиала осуществлена закладка четырех реперов в районе трещины, которая обнаружена летом 2010 г. в южной части горнолыжной трассы. В сентябре 2018 г. согласно “Проекту реконструкции наблюдательной станции за сдвижением земной поверхности Юго-Восточного участка Таштагольского месторождения”, разработанному НИЦ “Геомеханика”, СибГИУ в связи с образованием провала земной поверхности в районе юго-западного склона г. Буланже, заложена профильная линия по простиранию рудных тел Юго-Восточного участка и выполнена первая серия наблюдений.

Развитие процессов сдвижения и деформирования земной поверхности Юго-Восточного участка до образования провала носило периодический характер чередования оседаний – поднятий и растяжений – сжатий (рис. 3), что отражало напряженно-деформированное состояние налегающих пород.

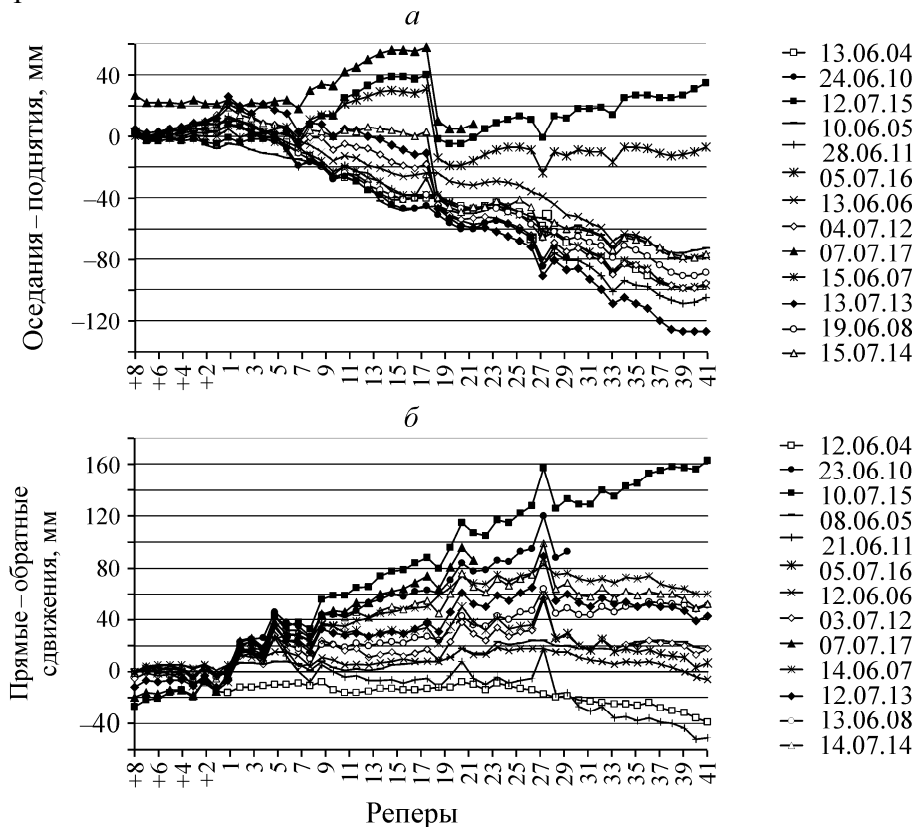


Рис. 3. Вертикальные (а) и горизонтальные (б) сдвижения по профилю линии вкрест простирания участка “Юго-Восточный” за 2004–2017 гг.

Так, на земной поверхности Юго-Восточного участка в 2016 г. наблюдались оседания до 42 мм и прямые горизонтальные сдвигения, отражающие растяжение налегающей толщи до 156 мм, в то время как предыдущими наблюдениями зафиксированы поднятия до 160 мм и обратные сдвигения до 214 мм. В результате деформирования пород в 2016 г. несколько снизились аномальные сдвигения, зафиксированные в 2015 г., но в 2017 г. уровень напряженности горных пород участка снова увеличился. Это проявилось в поднятии земной поверхности за 2016–2017 гг. до 10–27 мм и развитии обратных горизонтальных сдвижений до 48 мм. Таким образом, налегающая толща и вмещающие породы участка на момент обрушения земной поверхности находились в пригруженном состоянии: поднятия земной поверхности достигали 60 мм, а сжатия — 140 мм.

Величины оседаний, наклонов и горизонтальных деформаций, превышавшие соответственно 15 мм и 0.5 мм/м в отдельные периоды и в отдельных точках, свидетельствовали о начале процессов сдвижения земной поверхности и преобладающем влиянии процессов перераспределения напряжений в налегающей толще при развитии выработанного пространства. Максимальные величины оседаний над выработанным пространством и в потенциальной зоне опасных сдвижений достигали 50–110 мм, что составляло 15–35 % от значений критерия возможного развития обрушений над слепыми телами. Максимальные деформации растяжения достигали 1.72 мм/м, сжатия — 1.50 мм/м, наклоны — 1.95 мм/м и отражали местную концентрацию деформаций на контактах пород. Сопоставление объемов добычи сырой руды в отдельные периоды отработки участка и в целом показало, что явной зависимости между сдвигениями земной поверхности и объемами очистной добычи не наблюдается.

В районе трещины на земной поверхности по горнолыжной трассе как теоретическими методами, так и инструментальными наблюдениями связи развития трещины с очистными работами Юго-Восточного участка также не установлено. Это отражало расчетное и фактическое устойчивое состояние породного массива лежачего бока, которое подтверждено зарегистрированными параметрами сдвижений и деформаций по наблюдательной станции (рис. 1).

Несмотря на отсутствие величин сдвижений и деформаций земной поверхности над выработанным пространством слепых рудных тел Юго-Восточного участка можно выделить ряд особенностей в развитии процессов сдвижения и деформирования реперов профильной линии по трассе подъемника. В 2014–2017 гг. (реперы 14–18) развивались максимальные, по сравнению с прилегающими участками профильной линии, и практически равные по величине поднятия массива горных пород (рис. 3). Здесь же наблюдалось существенное отличие вертикальных сдвижений реперов 18 и 19, которое стало проявляться с 2010 г. и характеризовало движение пород по практически вертикальному контакту песчаников и сланцев. Вертикальные смещения по данному контакту с 6 мм в 2010 г. увеличились до 48 мм в 2017 г. Следует заметить, что этот участок земной поверхности находился над восточным контуром рудной зоны на гор. ± 0 м и над выработанным пространством блока 2 в этажах (+70)–(+140) и (± 0)–(+70) м. В 2009–2010 гг. произведены два массовых взрыва по обрушению блока 2 в этаже (± 0)–(+70) м и соответственно, выпуск руды из блока.

Неравномерные вертикальные сдвигения реперов 18 и 19 привели к развитию максимального наклона земной поверхности, который в 2017 г. приблизился к 2 мм/м, однако это составляло всего 50 % от критического значения для особо ответственных объектов. Неравномерность наклонов, в свою очередь, привела к формированию кривизны выпукло-вогнутого характера с максимальным ее значением до 0.09 мм/м. При этом деформации растяжения земной поверхности в этом интервале не превышали 0.5 мм/м.

Аналогично развитию повышенных вертикальных сдвижений и деформаций на реперах 18 и 19 профильной линии “Юго-Восток” в этот же период 2010–2017 гг. наблюдался рост растягивающих деформаций земной поверхности в интервале реперов 22–23 профильной линии “Южная по простиранию”. Деформация растяжения в этом интервале с 0.2 мм/м в 2008 г.

увеличилась до 1.3 мм/м к 2010 г., а в 2017 г. составляла 1.6 мм/м. Влияние очистных работ Восточного участка на деформирование этого интервала можно полностью исключить ввиду отсутствия такого уровня деформаций даже вблизи провала. Наиболее вероятно, что растяжение в интервале реперов 22–23 обусловлено влиянием процессов, происходящих на Юго-Восточном участке. Заметим, что реперы 22–23 находятся вблизи контакта пород, по которому происходили вертикальные сдвиги и деформации в районе реперов 18–19.

Высокий уровень аномальных поднятий и обратных горизонтальных сдвигов земной поверхности, который наблюдался практически за весь период отработки запасов участка до обрушения земной поверхности в ноябре 2017 г., несомненно, был осложнен наличием геодинамических движений [5, 6]. Эти смещения, зафиксированные как при проведении массовых взрывов на Юго-Восточном участке, так и после массовых взрывов на Восточном участке, были короткопериодными с развитием в течение 20–40 мин. Так, непосредственно над местом взрыва 03.06.2007 на репере 18 профильной линии “Юго-Восток” смещения достигали 300 мм (рис. 4).

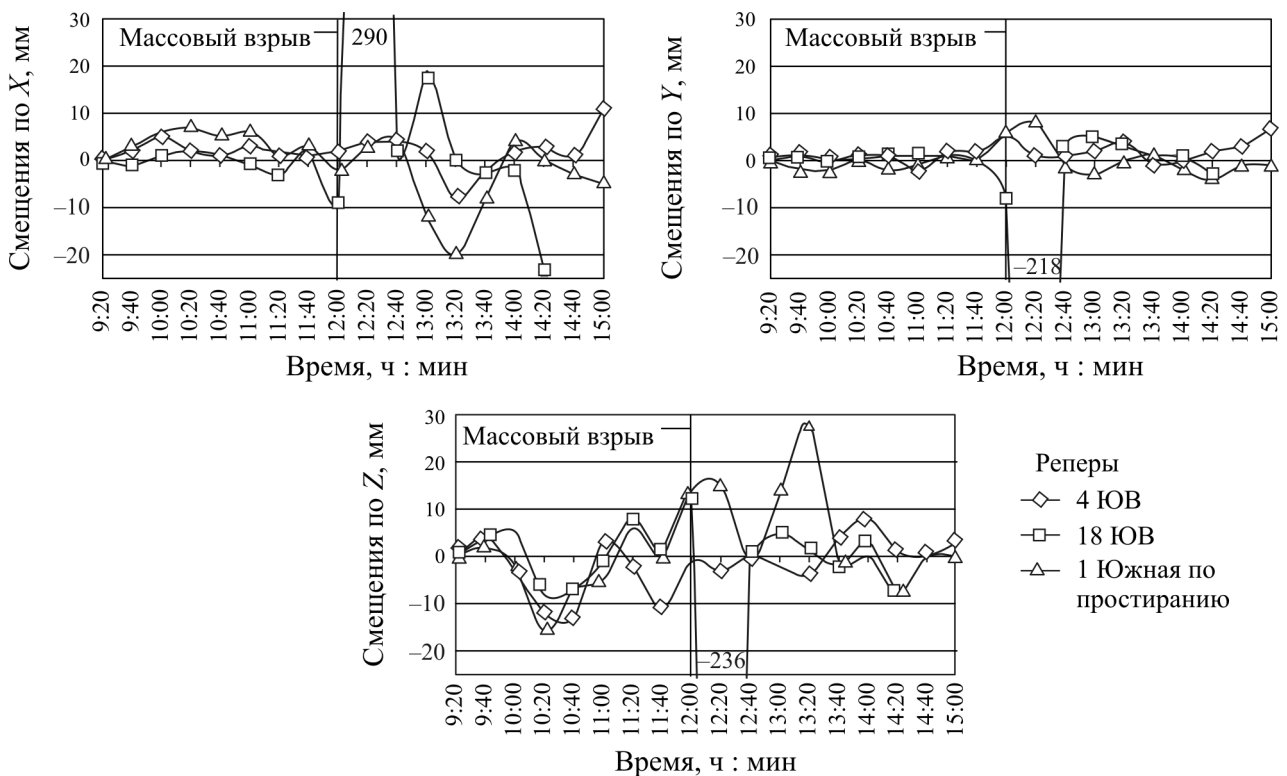


Рис. 4. Смещение горных пород в районе Юго-Восточного участка в период массового взрыва 03.06.2007 (1-й слой блока 3 в этаже (+70)–(+140) м)

Векторы максимальных горизонтальных сдвигов имеют близкое направление, ориентированы по простиранию рудных тел участка и по контактам пород (рис. 1). Скачкообразное сдвижение реперов сначала в направлении с юго-востока на северо-запад свидетельствует о мгновенной пригрузке месторождения действующими в этом направлении геотектоническими напряжениями сжатия, а возвращение реперов практически в исходное до скачка состояние характеризует упругое восстановление массива в результате перераспределения напряжений по благоприятно ориентированным контактам пород.

Выявленные максимальные смещения в горизонтальной плоскости (чаще на месторождениях Горной Шории фиксируются максимальные вертикальные смещения), по-видимому, обусловлены особенностями проведенных взрывов [7]. По регистрации сейсмических колебаний в эпицентре взрыва на г. Буланже 03.06.2007 также установлены максимальные смещения в горизонтальном направлении перпендикулярно трассе подъемника, т. е. в направлении, совпадающем с направлением максимальных короткопериодных смещений (рис. 1, 4).

ВЫВОДЫ

Анализ геомеханических, геодинамических и техногенных параметров при отработке запасов Юго-Восточного участка показал, что на развитие аномальных сдвижений и образование провала земной поверхности над выработанным пространством слепых рудных тел повлияло сочетание ряда факторов: слоистое строение налегающей толщи с вертикально ориентированными контактами пород, ориентация контактов пород в направлении простираения рудных тел и максимальных напряжений в нетронутом массиве, значительные объемы выработанного пространства, наличие в налегающей толще зон дробления карбонатных пород. Отсутствие увеличенного водопритока в выработки участка после образования провала свидетельствует о возможной подработке зоны дробления или карстовой полости, не выявленной при геолого-разведке, над которой по вертикальным контактам пород произошло обрушение земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Indications** for the protection of facilities and natural objects from the harmful effects of underground mining on iron ore deposits of Evrazruda, Novokuznetsk, 2006, 95 pp. [**Указания** по охране сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на железорудных месторождениях ОАО “Евразруда”. — Новокузнецк, 2006. — 95 с.]
2. **Instruction** on the conditions of safe mining of blind ore deposits in the iron ore deposits of Gornaya Shoriya and Khakassia, Novokuznetsk, 2006, 58 pp. [**Инструкция** по условиям безопасной отработки слепых рудных залежей на железорудных месторождениях Горной Шории и Хакасии. — Новокузнецк, 2006. — 58 с.]
3. **Instruction** for overseeing by displacement of rocks and the land surface by underground mining of ore fields, Moscow, Nedra, 1988, 112 pp. [**Инструкция** по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. — М.: Недра, 1988. — 112 с.]
4. **Methodical indications** on monitoring of a condition of the overlapping breeds at working off of blind deposits on mines of Sibruda, Novokuznetsk, 1996, 52 pp. [**Методические указания** по контролю состояния налегающих пород при отработке слепых залежей на рудниках АО “Сибруда”. — Новокузнецк, 1996. — 52 с.]
5. **Lobanova T. V. and Vasil’eva E. V.** Short-period displacements at the Tashtagol deposit tectonic fault borders, GEO-Siberia-2010, Novosibirsk, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 147–151. [**Лобанова Т. В., Васильева Е. В.** Короткопериодные смещения на границах тектонических разломов Таштагольского месторождения // ГЕО-Сибирь-2010. — Новосибирск, 2010. — Т. 2. — № 2. — С. 147–151.]
6. **Lobanova T. V. and Lobanov S. A.** Modern geodynamic movements and their influence on the protected infrastructure in the Tashtagol mining area, Fundamental and Applied Mining Science, 2015, no. 2, pp. 32–38. (in Russian) [**Лобанова Т. В., Лобанов С. А.** Современные геодинамические движения в районе Таштагольского месторождения и их влияние на эксплуатацию охраняемых объектов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2015. — № 2. — С. 32–38.]
7. **Mashukov I. V.** Recording of seismic vibrations induced by large-scale underground blasts, Mining Information Analytical Bulletin, 2014, no. 4, pp. 216–221. (in Russian) [**Машуков И. В.** Регистрация сейсмических колебаний от подземных массовых взрывов // ГИАБ. — 2014. — № 4. — С. 216–221.]