

ИЗУЧЕНИЕ ПРОВАЛОВ И МЕХАНИЗМА ИХ ОБРАЗОВАНИЯ НА ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ШАХТЫ ИМ. А.Д. РУБАНА

Рассмотрены горногеологические условия подземной отработки угля на участке «Красноярский» шахты им. Рубана в Кузбассе, характеризующиеся наличием пологопадающих угольных пластов и углевмещающих песчаников и алевролитов Кольчугинской свиты, а также мощной, достигающей 70 м, толщи покровных неоген-четвертичных дисперсных отложений различного генезиса, верхняя часть которых представлена просадочными, структурно-неустойчивыми лессовидными суглинками. Проведен факторный анализ, выполнена систематизация данных о провалах и разрывных нарушениях и разработана типизация форм разрывных нарушений земной поверхности. Выделено по морфологии 4 типа провалов: отдельные воронки; цепочки воронок; борозды; отдельные трещины и террасы из трещин. Описан механизм сдвижения при различных мощностях наносов, основанный на существовании противоположно направленных векторов сдвижения наносов и коренных пород на их границе; близости точки максимальных растяжений земной поверхности к точке максимальных наклонов; наличии в толще налегающих пород мощных слоев песчаника, прилегающих к границе наносов. Определены наиболее вероятные причины возникновения провалов и разрывных нарушений земной поверхности при ведении горных работ: особенности геологического строения подрабатываемой толщи пород; небольшая глубина и кратность подработки; особенности рельефа; формирование наклонного техногенного рельефа и развитие оползневых деформаций; условия отработки лав по пластам. Ключевые слова: провалы, сдвижение, подземная разработка, угольные месторождения, горно-геологические условия, типизация, механизм образования, причины, Кузбасс.

Введение

Подземная разработка угольных месторождений сопровождается образованием на подрабатываемой поверхности земли негативных горногеологических явлений — мульды сдвижения, прогибов, провалов, вызванных обрушением пород

над горными выработками [1–4]. Они отрицательно влияют на природную среду, в частности, изменяют ландшафт, подземный и поверхностный сток, приводят к подтоплению и заболачиванию территорий, а иногда и их обезвоживанию, нанося значительный ущерб природным объектам (пашням, лесам и др.), населенным пунктам, промышленным сооружениям. Данные обстоятельства предопределили необходимость исследования причин и механизмов деформирования земной поверхности на шахтных полях при извлечении из недр запасов угля.

Наиболее неблагоприятными из перечисленных горно-геологических процессов являются провалы, которые обычно развиваются в виде нарушения сплошности пород подработанной земной поверхности на участках шахт, где глубины горных работ не превышают предельное значение, равное $20 \cdot m$ (m — вынимаемая мощность пласта). Данный критерий определен в результате многолетних исследований [2–4, 6, 7] в различных горногеологических условиях РФ, ближнего и дальнего зарубежья и обоснован нормативно-методическим документом ВНИМИ [1]. Отклонение от данного критерия по факту установлено на поле шахты им А.Д. Рубана, в частности, при отработки свиты пластов на участке Красноярский, где деформации типа провалов возникли на подработанных площадях при глубинах производства горных работ более $20 \cdot m$.

Инженерно-геологическая характеристика объекта исследования

Продуктивные отложения Красноярского участка представлены пластами песчаника, алевролита и угля мощностью 3–6 м Грамотеинской и Тайлуганской свит, которые повсеместно перекрыты рыхлыми неоген-четвертичными отложениями мощностью до 70 м (рис. 1).

Верхняя часть разреза покровных неоген-четвертичных отложений представлена лессовидными, макропористыми, просадочными, «псевдо хрупкими» суглинками, а нижняя и средняя — пластичными суглинками и глинами делювиально-пролювиального и аллювиального генезиса. На Красноярском участке отработка пластов продуктивной толщи к настоящему времени осуществлена с неодинаковой полнотой. Так, в северо-западной части отработаны все три угольных пласта по глубине — Байкаимский, Надбайкаитмский, Полысаевский-II, а в юго-восточной извлечены запасы угля из пластов Байкаимский, Полысаевский II и осуществляется отработка пласта Надбайкаимского.

Рыхлые неоген-четверичные
отложения

Лессовидные, макропористые суглинки

Плотные суглинки и глины

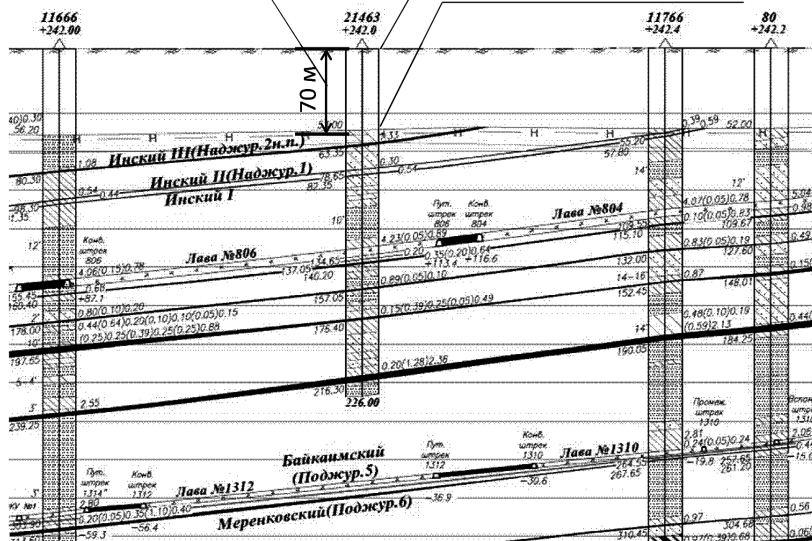


Рис. 1. Разрез участка Красногорский

Типизация нарушений земной поверхности на шахте им. Рубана

Изучение деформаций поверхности на шахтном поле включало визуальные и инструментальные наблюдения, описание и паспортизацию всех зарегистрированных на поверхности шахтного поля провалов, трещин и разрывных нарушений. Их анализ позволил по морфологическим признакам выделить 4 типа провалов:

1. Отдельные небольшие в плане и по глубине воронки.
2. Цепочки воронок (со временем превращаются в 3 тип — «борозды»).
3. «Борозды» значительной протяженности (до 500 м и более).
4. Трещины с отвесными краями различной протяженности, террасы после повторной подработки земной поверхности пластом Полысаевский-II.

Воронки на земной поверхности шахтного поля представляют собой углубления, как правило, концентрической формы небольших размеров по площади (диаметр 1–3 м) и глубине — 1–1,5 м. Отличительной особенностью этого типа разрывных нарушений земной поверхности является то, что они встреча-

ются не только на подработанных участках, но и участках вне зоны ведения подземных горных работ, поэтому появление таких воронок связано, по всей видимости, с просадкой лессовидных суглинков при замачивании водой [8, 13].

Цепочки воронок являются другой разновидностью нарушений земной поверхности, ориентировка которых связана на данной площади ведения подземных горных работ, в частности, с наличием межлавных целиков по падению пласта. Это, по всей видимости, промежуточный тип нарушений между первой и третьей разновидностью, поэтому переход первого типа нарушений в третий неизбежен и исключительно дело времени.

К третьему типу деформаций — линейных провалов и отдельных «борозд» различной длины относится большая часть нарушений поверхности шахтного поля, четко привязанных к межлавному целику, монтажным и демонтажным камерам, т.е. границам лав по простиранию и вкрест простирания пород [12].

Трещины с отвесными краями различной протяженности с раскрытием 1,0 м и более, а также их террасы, вызваны, по всей видимости, повторной подработкой земной поверхности по пл. Полысаевский-II с мощностью до 5 м, а также сдвиговыми деформациями, возникающими на образовавшихся при сдвигении склонах и наклонах рельефа [9].

Факторный анализ явления

Анализ и систематизация данных о провалах и разрывных нарушениях производились на основе имеющейся горно-графической документации: топографических планов, планов горных выработок по пластам, разрезов (рис. 2) и т.д. В качестве критериев сравнения провалов и нарушений поверхности рассматривались следующие параметры: участок, план, разрез; номер воронки, цепочки, борозды; геометрические параметры нарушения (размеры, глубина); кратность подработки (количество пластов); глубина горных работ; размеры лавы, скорость подвигания; местоположение нарушения (у штрека, над целиком, в середине лавы); мощность наносов; дата возникновения нарушения, сроки ведения горных работ под ним; особенности строения массива; мощность пласта (пластов).

Выполненное сравнение произошедших нарушений и их анализ позволяет сформулировать некоторые общие закономерности возникновения данных горногеологических явлений:

1. Установлена ярко выраженная пространственная привязка нарушений к участкам концентрации напряжений в масси-



Рис. 2. Систематизация данных о провалах и разрывных нарушениях

ве, вызванным горными работами (межлавым целикам, штрекам, границам лав и т.д.).

2. Выделены по масштабу развития три категории нарушений: наиболее масштабные, ориентированные по простиранию пласта; разрывные нарушение вкрест простирания над лавами; нарушения, приуроченные к особенностям рельефа (например, в логу).

3. Определен согласный с простиранием пластов характер расположения нарушений, которые являются наиболее протяженными, и сформированы предпосылки для дальнейшего статистического анализа пространственных характеристик подобных нарушений.

Систематизация фактических данных о форме, размерах, интенсивности нарушений земной поверхности, на основе статистических методов корреляционного и дисперсионного анализов позволила выделить на плане горных работ потенциально опасные зоны в части возникновения в них провалов и разрывных нарушений (рис. 2).

Механизм сдвижения наносов

Общеизвестно, что при небольшой мощности наносов (до 5 м) векторы перемещений различных точек их толщи при формировании мульды сдвижения практически повторяют векто-

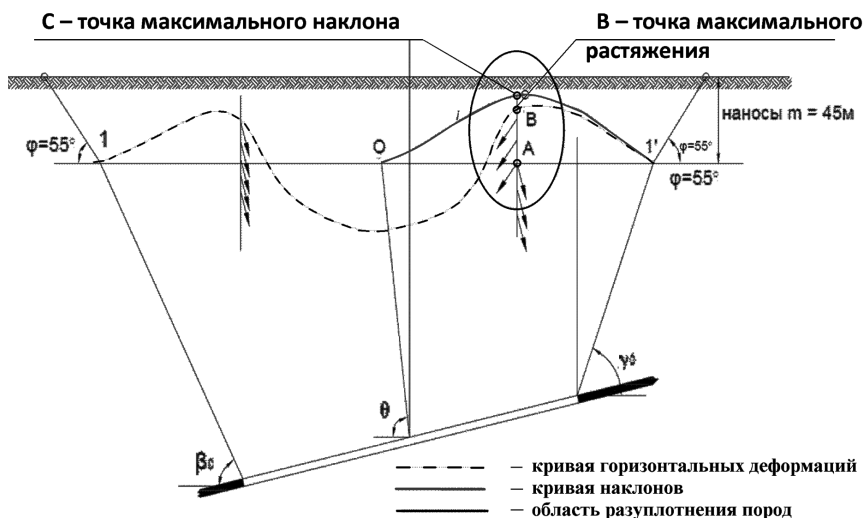


Рис. 3. Область разуплотнения пород

ры перемещений точек толщи коренных пород на их контакте. Сдвигание в наносах с мощностью 15–20 и более метров происходит при резком изменении направления векторов смещения точек земной поверхности. Вероятность возникновения разрывных деформаций в толще наносов большой мощности и, как следствие, на земной поверхности, связана с:

- «существованием противоположно направленных векторов сдвигания наносов и коренных пород на их границе;
- близостью точки максимальных растяжений земной поверхности к точке максимальных наклонов;
- наличием в толще налегающих пород мощных слоев песчаника, прилегающих к границе наносов и коренных пород» [5, 12].

На рис. 3 показана область разуплотнения пород, которая тяготеет к трем точкам, указанным в пп. № 1, 2.

Из трех наиболее вероятных причин возникновения разрывных нарушений, приведенных выше, наибольшего внимания заслуживает вторая причина. Первая причина так же может быть источником появления вертикальной трещины в наносах, однако, ввиду не большого угла падения пласта, разность в направлениях векторов сдвигания наносов и коренных пород не столь значительна. Третья причина так же не является определяющей, хотя и может иметь отношение к возникновению таких трещин. Из рис. 2 видно, что наибольшее количество тре-

щин в подрабатываемом массиве появляется в местах, близко расположенных к точке максимального растяжения (*В*) и точке максимального наклона (*С*). Именно на этом участке мульды сдвижения создаются наиболее благоприятные условия для возникновения вертикальной трещины (или трещин) в наносах, пронизывающей наносы сверху до низу. В точке максимального наклона (*С*) участка мульды сдвижения по восстанию на границе коренных пород с наносами возникает трещина с увеличивающимся кверху раскрытием, которая и вызывает, в конечном итоге, «ров» и «борозда» на земной поверхности.

Причины образования провалов

Таким образом, к числу наиболее вероятных причин возникновения провалов и разрывных нарушений земной поверхности при ведении горных работ на глубинах, превышающих $20 \cdot m$, m — вынимаемая мощность, относятся:

1. Особенности геологического строения подрабатываемой толщи пород, таких как: наличие мощных слоев песчаника, большая мощность неоген-четвертичных пород, наличие в верхней части структурно-неустойчивых лессовидных пород, склонных к просадкам при замачивании, гидрогеологические условия [10, 14] — наличие водоносных горизонтов в неоген-четвертичных породах и углевмещающих порода.

2. Небольшая глубина и кратность подработки.

3. Рельеф земной поверхности, наличие логов, склонов и т.д. Изменение рельефа после подработки, т.е. формирование вторичного техногенного рельефа, сопровождающегося увеличением углов наклона и развитием на откосах сдвиговых деформаций.

4. Схема отработки свиты пластов, характеризующаяся расположением межлавных целиков и лав друг над другом.

Заключение

Подводя итог анализу степени влияния всех выше упомянутых причин на появление провалов и сосредоточенных деформаций, отметим, что интенсификация данных процессов на земной поверхности произошла после двукратной подработки. Выявлены особенности процесса сдвижения и деформирования пород подработанного породного массива в коренных наиболее прочных углевмещающих породах и неоген-четвертичной толщии покровных отложений. Установлены причины, вызвавшие появление разрывных нарушений на земной поверхности, сре-

ди которых наибольшее влияние оказывают: большая суммарная мощность отработки пластов; схема отработки свиты пластов, характеризующаяся расположением межлавных целиков и лав друг над другом; наличие в толще коренных пород прочных слоев песчаника; наличие наносов большой мощности и слоя лессовидных суглинков; наличие логов, пойм рек, склонов на подрабатываемой территории; образование вторичного техногенного рельефа с откосами поверхности, на которых формируются наиболее напряженные зоны и развиваются сдвиговые деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях.* — М.: Недра, 1981. — 288 с.
2. *Кратч Г.* Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений. — М.: Недра, 1978. — 494 с.
3. *Акимов А. Г. и др.* Геомеханические аспекты сдвижения горных пород при подземной разработке угольных и рудных месторождений. — СПб., 2003. — 166 с.
4. *Иофис М. А., Шмелев А. И.* Инженерная геомеханика при подземных разработках. — М.: Недра, 1985. — 248 с.
5. *Казаковский Д. А.* Сдвигение земной поверхности под влиянием горных разработок. — М.: Углетехиздат, 1953. — 228 с.
6. *Акимов А. Г., Зеленцов С. Н., Тяпин В. М.* Влияние естественной напряженности массива на параметры и величины сдвижений и деформаций горных пород / Горное давление, горные удары и сдвигение массива: Сборник научных трудов ВНИМИ. — СПб., 1996. — С. 3–8.
7. *Зеленцов С. Н., Сосунов Ю. А.* Определение допустимых размеров выработанного пространства по падению при неполной подработке земной поверхности // Маркшейдерский вестник. — 2000. — № 3. — С. 16–20.
8. *Singh B., Dhar B.* Sinkhole subsidence due to mining // *Geotechnical and Geological Engineering.* — 1997. — № 15. — pp. 327–341.
9. *Казанин О. И., Зеленцов С. Н., Мешков А. А.* Особенности воздействия угледобычи на подрабатываемые земляные участки в условиях шахты «Красноярская» (СУЭК-Кузбас) // Записки Горного института. — 2013. — Том 205. — С. 32–35.
10. *Pacheco-Martínez J.* Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México // *Engineering Geology.* — 2013. — pp. 172–186.
11. *Mahanta B., Singh H. O., Singh P. K., Kainthola A., Singh T. N.* Stability analysis of potential failure zones along NH-305, India // *Natural Hazards.* 2016.
12. *Idea T. S., Pollard D.* Fissure formation and subsurface subsidence in a coalbed fire // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* — 2010. — № 47. — Vol 1. — pp. 81–93.

13. *Sahua P., Lokhandeb R. D.* An Investigation of Sinkhole Subsidence and its Preventive Measures in Underground Coal Mining // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2015. – Vol 11. – pp. 63–75.

14. *Menga Z., Shia X., Lic G.* Deformation, failure and permeability of coal-bearing strata during longwall mining // *Engineering Geology*. – 2016. – Vol. 208. – pp. 69–80. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Зеленцов Сергей Николаевич*¹ – кандидат технических наук,

*Кутепов Юрий Юрьевич*¹ – аспирант,

e-mail: Jura992@gmail.com,

Боргер Елена Борисовна – главный маркшейдер

шахтоуправления, АО «СУЭК-Кузбасс»,

e-mail: BorgerEB@suek.ru,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 5, pp. 271–280.

UDC 622.831

S.N. Zelentsov, Yu.Yu. Kutepov, E.B. Borger

INVESTIGATION OF SURFACE FAILURES AND MECHANISM OF THEIR FORMATION ON UNDERMINED EARTH SURFACE OF THE MINE NAMED AFTER RUBAN

The analysis of the geotechnical conditions has been done for the Krasnoyarskiy site of the coal mine named after Ruban in Kuzbass where there is a suite of thick coal seams and the productive aeries of sandstone and siltstone of suite Kolchuginskaya. Top layers of Neogene-Quaternary overburden soils represent itself subsiding structurally unstable loess loam. Thickness of soil layer in some places reaches 70 m. Productive aeries consisting of three seams with a capacity of 2.6 to 5 m has been worked out not uniform in cross-section.

Based on available mining documentation factor analysis has been carried out as well as systematization of data on surface failures and fissures and a typification of surface failure forms has been developed. By morphology there are 4 types of failures: sinkholes; chains of sinkholes; fissures; individual cracks and fissures of the terraces.

The subsidence mechanism has been described for various capacities of sediments. It based on: the existence of oppositely directed subsidence vectors in sediments and bedrock on their border; the proximity of the maximum surface strain point to the point of maximum inclination; the presence of thick layers of sandstone in bedrock mass adjacent to the border of sediments.

The most probable causes of surface failures and faults formation has been determined during the mining operations at great depths. They are: features of the geological structure of the undermined sediments; small depth and undermining frequency; relief features associated with the presence of the inclined areas, ravines and so forth; the formation of technogenic inclined topography and development of landslide deformations; mining conditions of longwalls location.

Key words: surface failures, subsidence, underground mining, coal deposits, mining conditions, typification, formation mechanism, causes, Kuzbass.

AUTHORS

Zelentsov S.N.¹, Candidate of Technical Sciences,
Kutepov Yu. Yu.¹, Graduate Student,
e-mail: Jura992@gmail.com,
Borger E.B., Chief Surveyor of Mine Administration,
e-mail: BorgerEB@suek.ru,
JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsk, Russia.
¹ Saint Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. *Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh razrabotok na ugol'nykh mestorozhdeniyakh* (Protection Regulations of constructions and natural objects from harmful influence of under-ground mining in coal deposits), Moscow, Nedra, 1981, 288 p.
2. Kratch G. *Sdvizhenie gornykh porod i zashchita podrabatyvaemykh sooruzheniy* (Mining subsidence engineering), Moscow, Nedra, 1978, 494 p.
3. Akimov A. G. *Geomekhanicheskie aspekty sdvizheniya gornykh porod pri podzemnoy razrabotke ugol'nykh i rudnykh mestorozhdeniy* (Geomechanical aspects of rocks subsidence in underground mining of coal and ore deposits), Saint-Petersburg, 2003, 166 p.
4. Iofis M. A., Shmelev A. I. *Inzhenernaya geomekhanika pri podzemnykh razrabotkakh* (Engineering Geomechanics in underground mining), Moscow, Nedra, 1985, 248 p.
5. Kazakovskiy D. A. *Sdvizhenie zemnoy poverkhnosti pod vliyaniem gornykh razrabotok* (Subsidence the Earth's surface under the influence of mining), Moscow, Ugletehizdat, 1953, 228 p.
6. Akimov A. G., Zelentsov S. N., Tyapin V. M. *Gornoe davlenie, gornye udary i sdvizhenie massiva: Sbornik nauchnykh trudov VNIMI* (Mining pressure, rock bursts and subsidence of the rock mass. Proceedings VNIMI), Saint-Petersburg, 1996, pp. 3–8.
7. Zelentsov S. N., Sosunov Yu. A. *Marksheyderskiy vestnik*. 2000, no 3, pp. 16–20.
8. Singh B., Dhar B. Sinkhole subsidence due to mining. *Geotechnical and Geological Engineering*. 1997, no 15. pp. 327–341.
9. Kazanin O. I., Zelentsov S. N., Meshkov A. A. *Zapiski Gornogo instituta*. 2013, vol. 205, pp. 32–35.
10. Pacheco-Martínez J. Land subsidence and ground failure associated to ground-water exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Engineering Geology*. 2013. pp. 172–186.
11. Mahanta B., Singh H. O., Singh P. K., Kainthola A., Singh T. N. Stability analysis of potential failure zones along NH-305, India. *Natural Hazards*. 2016.
12. Idea T. S., Pollard D. Fissure formation and subsurface subsidence in a coalbed fire. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2010, no 47. Vol 1. pp. 81–93.
13. Sahu P., Lokhandeb R. D. An Investigation of Sinkhole Subsidence and its Preventive Measures in Underground Coal Mining. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015. Vol 11. pp. 63–75.
14. Menga Z., Shia X., Lic G. Deformation, failure and permeability of coal-bearing strata during longwall mining. *Engineering Geology*. 2016. Vol. 208. pp. 69–80.

