

УДК 622.83

**МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА И БОЛЬШОЙ ВЫСОТЫ ГОРНОГО СКЛОНА
НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ**

Фэйфэй Ван^{1,2}

¹Хунаньский городской университет, г. Иян, 413000, Китай

²Главная лаборатория экологического и рационального строительства при учреждениях
высшего образования в пров. Хунань, Хунаньский городской университет,
E-mail: 1942016362@qq.com, г. Иян, 413000, Китай

На основе полевых исследований выявлено наличие структурных плоскостей в породном массиве и определены гидрологические условия налегающих пород над выработанным пространством. Изучен механизм возникновения оползневых явлений в условиях холодного климата и большой высоты склона, возникающих из-за сложной системы выработок. С учетом полученных результатов дан анализ механизма возникновения оползня. Анализ устойчивости горного склона, поверхность скольжения и призма сползания выполнен с помощью метода конечных элементов в двумерной постановке. Основными причинами обрушения горного склона являются: крутизна структурной плоскости в породном массиве, эрозия почвы из-за атмосферных осадков, цикл “замерзание – оттаивание”; подземная отработка рудного тела. Геологические условия определены как внутренняя причина, а подземная добыча — как внешняя. Совместное воздействие внутренних и внешних причин приводит к возникновению оползневого явления.

Горное дело, подземная выработка, низкая температура, значительная высота, оползень, механизм образования катастрофического явления

DOI: 10.15372/FTPRPI20250107
EDN: ILZYJC

Освоение запасов полезных ископаемых приводит к увеличению глубины подземной добычи и постепенному повышению объема выработанных областей. В связи с этим особое значение имеет метод подэтажной добычи открытыми забоями, когда выработанные области формируют целые системы. Выработанные пространства отличаются по форме, размеру, расположению и типу окружающих пород [1–3]. При глубокой отработке рудного тела деформация и обрушение налегающих пород над выработками облегчается, что способствует образованию провалов на дневной поверхности или оползней на горных склонах [4–6].

Работа выполнена при поддержке Фонда естественных наук пров. Хунань (2024JJ6110, 2024JJ8049), Плана прикладных и общественных исследований г. Иян (2024YR02) и Центра научно-технологических инноваций учреждений высшего образования в пров. Хунань.

В [7] на основе полевых исследований построена трехмерная модель численного анализа и получено распределение смещений зоны пластической деформации в области обрушения. В [8] использовано ПО FLAC 3D для изучения осадки и механизма разрушения пещеры на поверхности под влиянием пустой выработки; по результатам сделан вывод, что осадка от начала выемки до ее окончания постепенно уменьшается. В [9] на примере железорудной шахты Chengchao выполнен анализ характеристик вывала породы из кровли и механизма деформации дневной поверхности на начальном этапе эксплуатации шахты (в 2006 г.) посредством полевых исследований и мониторинга в реальном времени. Описан механизм деформации поверхности после вывала породы из кровли. В [10] дан системный анализ причин внезапного провала поверхности при подземной разработке железорудного тела. В [11] на примере горнодобывающего района Wulonggou в провинции Цинхай (Китай) рассмотрены причины осадки поверхности, возникающие в результате добычи открытым способом. В [12] сформулирована трехмерная модель и на основе метода конечных элементов изучено совместное влияние глубины отработки, высоты склонов, количества разрабатываемых слоев на деформацию поверхности.

В ходе анализа исследований по данной тематике выявлено, что каждая шахта обладает своими причинами и механизмами осадки и оползневых явлений, которые возникают из-за выработанных пространств, по причине уникальных геологических и горнотехнических условий [13–16]. Механизм оползневых явлений в регионах с холодным климатом или расположенных на значительной высоте отличается от обычных оползней [17, 19].

Оползневые явления, возникающие в результате системы выработок, изучены на примере типовой металлорудной шахты и посредством полевых исследований определены: литологический состав налегающих пород, наличие структурной плоскости в породном массиве и гидрологические условия. Для анализа устойчивости горного склона и потенциальной поверхности скольжения использован двухмерных метод конечных элементов; рассмотрен механизм оползневого явления и потенциальное влияние пустых выработок на его возникновение.

ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Породы в горнодобывающем районе принадлежат формации Tumigou верхнего триасового периода. На основании вулканического осадочного цикла, литофации, литологического состава и других параметров формация разделена на три участка снизу вверх. Все участки взаимосвязаны друг с другом.

Первый участок наиболее обнажен на западе района с общим направлением простирания с севера на юг и наклоном на восток, частичным инвертированием с углом падения $75-80^\circ$. Нижняя часть участка в основном состоит из гравийно-метаморфического и метаморфического песчаника, верхняя — из известкового карбонатного филлита с включениями кристаллического известняка и линзообразного метаандезита; мощность участка превышает 600 м.

Второй участок расположен в середине района с общим направлением простирания с севера на юг и переходом от севера к северо-западу. Большая часть страт является инвертированной с наклоном на запад, с небольшим углом падения на запад и крутым углом падения на восток, который составляет $65-85^\circ$. По литологическим признакам участок можно разделить на верхнюю и нижнюю части. Контакт между частями взаимосвязанный. Мощность участка превышает 3225 м.

Третий участок обнажен на востоке района, разделен массивным структурным андезитом от серо-черного известкового карбонатного сланца. В литологический состав участка входят андезит и брекчированный андезит со слоем расколотого дацитового риолитового туфа и туфового серицитового филлита в середине. Верхняя часть участка состоит из известкового карбонатного сланца.

Общая структура района представляет собой инвертированные моноклинные страты с крутым падением в западном направлении $65-80^\circ$. Моноклинная структура развивается от запада к востоку, общее направление простирания от севера к югу.

По результатам разведки и добычи, а также в процессе бурения инженерных каротажных схем в средней части не обнаружено крупных разломов, однако выявлены малые разломы шириной 10–50 см. Дислокация разломов неочевидна, относительное смещение стенок незначительно, породы на обеих сторонах разломов принадлежат одной страте. Породные страты и рудные тела в горнодобывающем районе не повреждены крупными разломами и совокупность страт является целостной. Последовательность залегания страт отражает характер их образования от более старых к более молодым.

Разработка среднего участка ведется на четырех рабочих подучастках сверху вниз.

На первом рабочем подучастке основное рудное тело разрабатывается методом магазинирования и методами подэтажной добычи открытыми забоями. В настоящий момент осуществляется извлечение оставшейся части рудного тела и отработка целиков.

На втором рабочем подучастке выполнена закладка лежачего и висячего боков. Его разработка ведется панелями и слоями. Все панели обрабатываются методом подэтажной добычи свободными забоями.

На третьем рабочем участке лежащий бок рудного тела находится в пределах разрабатываемой панели. Висячий бок и все рудное тело еще не разрабатывались.

На четвертом рабочем подучастке восходящая горизонтальная закладочная панель находится на этапе строительства. Рудное тело обрабатывается методом подэтажной добычи открытыми забоями.

В настоящее время отработка рудного тела на первом рабочем подучастке фактически завершена, что привело к образованию значительных пустот, которые соприкасаются друг с другом, что приводит к осадке поверхности. На втором рабочем подучастке также присутствуют значительные пустоты, которые влияют на устойчивость первого рабочего подучастка. С течением времени подошва первого подучастка и кровля второго соединятся, что приведет к образованию полости высотой около 100 м. Это в значительной мере повлияет на осадку нижнего подучастка.

Механические свойства пород из различных литологических страт получены в ходе полевых измерений. Они использованы для построения трехмерной модели (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Механические свойства породных массивов

Массив	Объемная плотность γ , кН/м ³	Модуль упругости E , МПа	Коэффициент Пуассона μ	Когезионная прочность C , КПа	Угол внутреннего трения ϕ , град
Карбонатный сланец	2.76	2321.00	0.20	630	24
Дациит	2.73	4864.54	0.24	860	28
Рудное тело	2.55	3516.21	0.22	793	26

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Согласно данным полевых изысканий и картирования, характеристики подземной разработки породного массива обусловлены наличием господствующих структурных плоскостей в горнодобывающем районе.

Карбонатный сланец представляет собой серо-черную породу со слоистой структурой. Отдельности и трещины в массиве находятся преимущественно в состоянии сжатия, некоторые — в состоянии сжатия и кручения, они закрыты и имеют ширину < 1 мм. Ширина трещины структурной плоскости IV класса составляет 5–20 мм. Она заполнена карбонатными породами и кварцем с хорошей цементацией. Поверхность породы сухая с малым количеством влаги в верхней части области. Структурная плоскость в основном плоская и гладкая; относится к V классу. В рассматриваемой области развивается только одна структурная плоскость IV класса.

Результаты статистического анализа падения структурных плоскостей показаны на рис. 1. В массиве наблюдается четыре группы господствующих структурных плоскостей и несколько неупорядоченных. Ниже представлены господствующие структурные плоскости, которые присутствуют в массиве карбонатного сланца:

- первая группа: падение $\angle 72^\circ$, направление 273° , она составляет 60.96 % от общего количество рассмотренных структурных плоскостей;

- вторая группа: падение $\angle 88^\circ$, направление 169° , составляет 12.33 %;

- третья группа: падение $\angle 45^\circ$, направление 4° , составляет 10.27 %;

- четвертая группа: падение $\angle 19^\circ$, направление 161° , составляет 5.48 %.

Доля неупорядоченных структурных плоскостей равна 10.96 %.

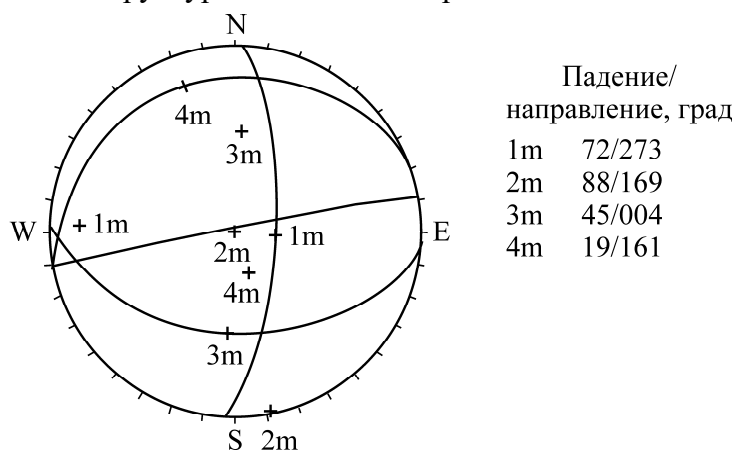


Рис. 1. Результаты статистического анализа структурных плоскостей в карбонатном сланце

Дациит представлен в виде серо-зеленого относительно целостного породного массива со сплошной структурой. Отдельности и трещины находятся в состоянии сжатия и кручения, они закрыты и имеют ширину не более 1 мм. Ширина структурной плоскости IV класса 20–120 мм. Плоскость заполнена фрагментами породы, глиной и кварцем с хорошей цементацией. Поверхность породы сухая, влага отсутствует. Структурные плоскости в основном искривлены и имеют шероховатость; относятся к V классу. В рассматриваемой области развивается четыре структурные плоскости IV класса.

Результаты статистического анализа падения структурных плоскостей в даците показаны на рис. 2. В массиве выявлено три группы господствующих плоскостей и некоторое количество неупорядоченных. Ниже представлены господствующие структурные плоскости, которые присутствуют в массиве дацита:

- первая группа: падение $\angle 90^\circ$, направление 339° , составляет 37.50 % от общего количества рассмотренных структурных плоскостей;

- вторая группа: падение $\angle 87^\circ$, направление 43° составляет 33.33 %;

- третья группа: падение $\angle 88^\circ$, направление 97° , составляет 21.53 %.

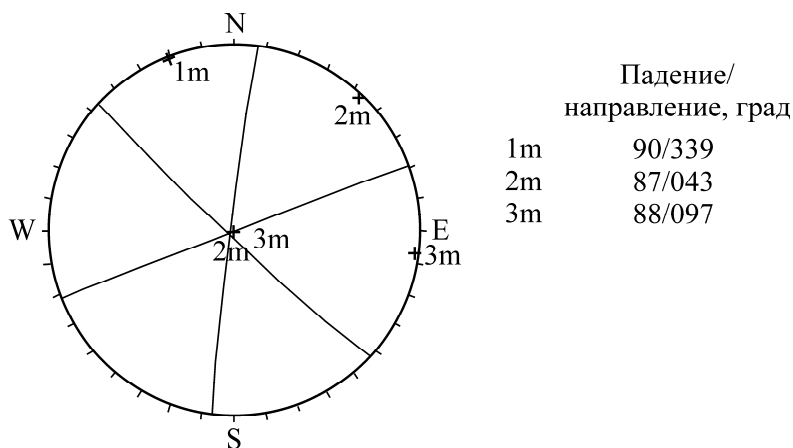


Рис. 2. Результаты статистического анализа структурных плоскостей в даците

Доля неупорядоченных структурных плоскостей равна 7.64 %.

По результатам полевых исследований и спутникового картирования местности видно, что в течение нескольких лет подземной отработки рудного тела на поверхности горного склона образовались провалы и произошли локальные оползни. Площадь осадки покрывает область от вершины до середины горы и составляет 42900 м² (длина около 330 м, ширина 50–150 м). Общая область осадки включает шесть провалов. Вокруг нее сформировались борта с крутым наклоном, глубина области составляет 80–110 м и продолжает увеличиваться.

Литологический состав области осадки представлен грунтовым слоем четвертичного периода мощностью 5–12 м. В верхней части области залегает дацит, в нижней — карбонатный сланец. Обнаженные слои породы сильно или умеренно выветрены. Согласно данным полевых исследований, структурная плоскость массива относительно развита, общее качество породы низкое и характеризуется показателем RQD. В области происходит развитие мелкомасштабных разломов, которые оказывают незначительное влияние на образование провалов.

Область осадки расположена на горном склоне. В ее окрестностях нет постоянного источника воды, однако небольшое количество воды находится в трещинах массива. Основные источники воды — атмосферные осадки и таяние снега, которые усиливают развитие области осадки и приводят к оползневым явлениям.

ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЛАСТИ ОСАДКИ

Сложные инженерно-геологические условия. Массив карбонатного сланца обладает значительным количеством отдельностей и имеет некоторые повреждения, а также характеризуется низкой устойчивостью. В естественных условиях происходит осадка сильно выветренных пород, залегающих рядом с поверхностью.

Согласно результатам статистического анализа исследования массива и картирования, в массивах карбонатного сланца и дацита присутствует множество групп структурных плоскостей (3–4 группы + неупорядоченные отдельности), которые в значительной мере разделяют массив. Из-за наличия множественных геологических структур структурные плоскости с крутым и малым наклоном чередуются друг с другом, что в значительной степени влияет на предрасположенность горного склона к оползневым явлениям и снижению устойчивости на локальных уровнях.

Гидрогеология. Сезонные осадки оказывают заметное влияние на устойчивость провалов. Во-первых, они влияют на устойчивость борта вокруг провала за счет снижения прочности массива, что увеличивает вероятность возникновения оползня. Во-вторых, осадки проникают

внутри провала и уходят под землю, приводя к возникновению подземных потоков, вывалу породы из кровли и другим негативным последствиям. При таянии снега также образуется вода, которая затекает в провал и оказывает действие, аналогичное осадкам.

Цикл “Замерзание – оттаивание”. Так как горнодобывающий район находится в регионе вечной мерзлоты на значительной высоте, циклы “замерзание – оттаивание” оказывают существенное влияние на поведение массива. Когда вода, находящаяся в порах и трещинах массива, замерзает, ее объем увеличивается, что приводит к расширению трещины. Когда лед тает, вода проникает глубже в массив по расширенной трещине. Объем воды также увеличивается при повторном ее замерзании. Таким образом, при частом замерзании и оттаивании происходит постоянное расширение трещин, что способствует разрушению массива.

Подземная добыча. Провалы на поверхности возникают в результате подземной выемки рудного тела. В ходе отработки образуется большое количество выработанных областей и осадка налегающих над ними пород в конечном итоге приводит к образованию провала на поверхности. В ходе подземной отработки рудного тела размеры провала постепенно увеличиваются, как и высота бортов общей области осадки. Осадка непрочных пород над выработками уменьшает устойчивость бортов провалов. Если борт провала не укреплять, то он будет постепенно оседать или приведет к оползню. Подземная добыча влияет на устойчивость борта области осадки посредством образования провалов налегающих пород.

На устойчивость горного склона также влияют климатические условия, осадки, расширение горнопромышленной инфраструктуры и другие факторы. Среди многих факторов влияния геологические и гидрогеологические условия являются внутренними факторами, а сейсмические события, процесс отработки рудного тела, климат и осадки — внешними. Внутренние факторы играют решающую роль в обеспечении устойчивости борта, тогда как внешние приводят к потере устойчивости.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПОЛЗНЯ

Исследуемый горнодобывающий район расположен на востоке Цинхай-Тибетского плато и в средней части горной системы Хенгдуань (Китай). Рельеф является холмистым с плотным расположением гор. Значительная холмистость рельефа наблюдается на севере, юге и западе. Средняя высота составляет 4300 – 4600 м. Район находится в регионе с вечной мерзлотой, толщина которой в течение года изменяется от 3 до 5 м. На рис. 3 показана форма и расположение рудного тела относительно поверхности. Наименьшее расстояние от рудного тела до поверхности менее 100 м. Механизм возникновения оползня на горном склоне можно разделить на три стадии: образование трещин в налегающей над выработкой породе; осадка налегающих пород; осадка поверхности. Основные причины осадки поверхности горного склона: развитие в массиве структурной плоскости с крутым наклоном, эрозия массива в результате воздействия осадков, влияние циклов “замерзание – оттаивание”, подземная отработка рудного тела.

Стадия образования и развития трещин в налегающей породе. В нетронутой породе структурные плоскости, такие как отдельности, трещины и разломы, обеспечивают устойчивость массива при условии отсутствия динамических возбуждений. При подземной отработке рудного тела методом подэтажной добычи свободными забоями возникают динамические возбуждения (вибрация от взрывных работ, механизмов и оборудования), в результате которых отдельности и разломы в массиве теряют начальную устойчивость и начинают деформироваться по типу сдвига, растяжения и сжатия. Также образуются новые трещины в массиве, развитие которых распространяется до поверхности.

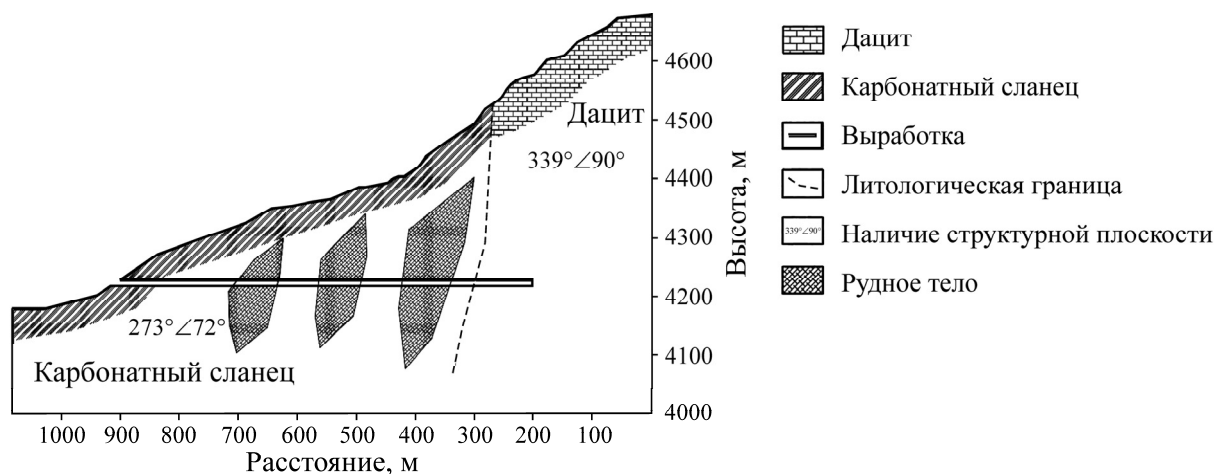


Рис. 3. Изначальное состояние горного склона

Стадия просадки налегающей породы. В результате совместного влияния исходных и новых структурных плоскостей когезионное усилие и усилие сдвига структурной плоскости не способны преодолеть усилие собственного веса породных блоков. Это приводит к вывалу породы из кровли. В ходе циклического процесса динамического возбуждения порода кровли постоянно вываливается до образования относительно устойчивой арки. По мере отработки рудного тела объем пустых выработок увеличивается и изначальная арка перестает выполнять свою функцию, после чего происходит новая стадия вывала породы из кровли. Циклический процесс образования арки давления приводит к непрерывному вывалу породы, вследствие чего уменьшается мощность налегающего породного пласта.

Стадия развития осадки на поверхности. В процессе вывала налегающих пород из кровли расстояние между выработкой и поверхностью постепенно уменьшается, что приводит к образованию большого количества провалов на дневной поверхности. Образование провала происходит одновременно с отработкой рудного тела. Рыхлая порода в провале будет продолжать проседать, и вокруг провала образуются борта из породы с крутым наклоном. При эрозии породы в результате осадков и циклов “замерзания – оттаивания” структурная поверхность между блоками постепенно разрыхляется и отслаивается. По результатам полевых исследований наклон основной структурной плоскости массива составляет 72–90°. Дальнейшее развитие трещин оказывает влияние на общую устойчивость массива и повышает вероятность ослабления и отслоения породы. На начальном этапе на горном склоне образуется большое количество локальных провалов (рис. 4). По мере развития горной осадки провалы постепенно соединяются друг с другом и образуют крупномасштабную область осадки.

Согласно инженерно-геологическим условиям и результатам полевых исследований, породный слой не предрасположен к устойчивому поведению, а рассматриваемый горный склон является слоистым. Когда отработка рудного тела достигнет определенного уровня, происходит обрушение заднего борта провала под воздействием наклона структурной плоскости, в результате чего формируется дугообразная поверхность скольжения. Для определения местоположения возможного оползня выполнено моделирование и последующий анализ потенциальной поверхности скольжения с помощью метода конечных элементов в плоской постановке. Результаты показаны на рис. 4, где приведена потенциальная поверхность скольжения.

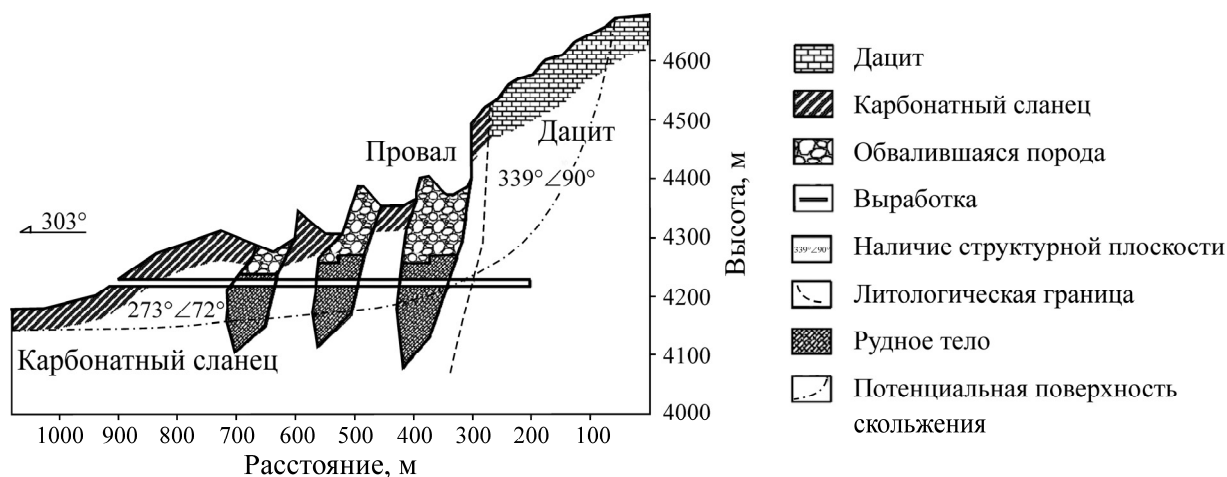


Рис. 4. Стадия возникновения оползневого явления

ВЫВОДЫ

На основе полевых исследований получен литологический состав налегающих пород, определено местоположение структурных плоскостей и выявлены гидрологические условия пород склона над выработанным пространством.

Вокруг провала образуются борта с крутым наклоном, которые разрушаются по типу обвала. Причины возникновения оползневых явлений: развитие крутой структурной плоскости породного массива; эрозия породы под воздействием осадков, циклы “замерзания – оттаивания”, техногенное влияние в результате отработки рудного тела и т.д. Провал на дневной поверхности образуется из-за совместного влияния внутренних и внешних факторов. Механизм возникновения оползня на горном склоне можно разделить на три стадии: образование и развитие трещин в налегающей породе; вывал налегающей породы из кровли; осадка дневной поверхности. Под воздействием крутой структурной плоскости задний борт провала предрасположен к обрушению. При его развитии образуется дугообразная поверхность скольжения. Методом численного моделирования определено местоположение поверхности скольжения; результаты расчета коррелируют с результатами анализа оползня в натуральных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang F.F., Ren Q.Y., Zou P., et al. Study on the formation and development mechanisms of surface subsidence in chaganaobao iron-zinc mine, Rock and Soil Mechanics, 2020, Vol. 41, No. 11. — P. 3757–3768.
2. Cheng J. W., Zhao G., Sa Z. Y., et al. Overlying strata movement and deformation calculation prediction models for underground coal mines, J. Min. and Strata Control Eng., 2020, Vol. 2, No.4. — P. 043523.
3. Song X. G., Liu X. M., Chen C. X., et al. Study on the mechanism of surface collapse and ground deformation in western mined area of chengchao iron mine, Chinese J. Rock Mech. and Eng., 2018, Vol. 37, No. S2. — P. 4262–4273.
4. Cai Y. F., Li X. J., Deng W. N., et al. Simulation of surface movement and deformation rules and detriment key parameters in high-strength mining, J. Min. and Strata Control Eng., 2020, Vol. 2, No. 4. — P. 043511.
5. Wang D. Y., Li X. B., Li C. J., et al. Mechanism of surface subsidence caused by underground mining, Min. Metall. Eng., 2020, Vol. 40, No. 1. — P. 16–21.

6. **Ma C. D., Li X. B., Chen F., et al.** Research on in-situ stress distribution in deep mine with natural caving method, *Min. Metall. Eng.*, 2010, Vol. 30, No.6. — P. 10–14+22.
7. **Wang F. F., Ren Q.Y., Zou P., et al.** Study on strata movement in subsidence area hanging wall based on theory of gradual disintegration of the hanging wall: a case of chaganaobao iron-zinc mine, *Arabian J. Geosciences*, 2020, Vol. 13, No. 21. — P. 1155–1170.
8. **Xue D. D., Gou R. J., Ma Z. Y., et al.** Study on the stability of the cave dwelling above mined-out area, *China Mining Magazine*, 2017, Vol. 26, No.2. — P. 129–132+168.
9. **Xia K. Z., Chen C. X., Zheng Y., et al.** Engineering geology and ground collapse mechanism in the chengchao iron-ore mine in China, *Eng. Geology*, 2019, Vol. 249. — P. 129–147.
10. **Deng Y. Y., Chen C. X., Xia K. Z., et al.** Cause analysis of surface collapse in western area of chengchao iron mine, *Rock Soil Mech.*, 2019, Vol. 40, No.2. — P. 743–758.
11. **Shen N., Wang R., Qi H., et al.** Analysis of causes of surface collapse in qinghai province wulong gou mine mine in huanglong valley section as an example, caused by open stope method, *World Nonferrous Metals*, 2017, Vol. 8. — P. 247–248.
12. **Zhu D. C., Shang T., Yang X. Z.** Analysis of influencing factors of surface deformation in goaf and study on “activation”, *J. China and Foreign Highway*, 2020, Vol. 40, No. S2. — P. 95–101.
13. **Wang X. L., John J. C., Crosta G. B., et al.** Relationship between the spatial distribution of landslides and rock mass strength, and implications for the driving mechanism of landslides in tectonically active mountain ranges, *Eng. Geology*, 2021, Vol. 292. — P. 106281.
14. **Nappo N., Dario P., Olga M., et al.** Slow-moving landslides interacting with the road network: analysis of damage using ancillary data, in situ surveys and multi-source monitoring data, *Eng. Geology*, 2019, Vol. 260. — P. 105244.
15. **Nappo N., Olga M., Francesco N., et al.** Use of UAV-based photogrammetry products for semi-automatic detection and classification of asphalt road damage in landslide-affected areas, *Eng. Geology*, 2021, Vol. 294. — P. 106363.
16. **Narayan K. B., Arvind K. M., Rakesh K., et al.** Singh application of logistic regression, CART and random forest techniques in prediction of blast-induced slope failure during reconstruction of railway rock-cut slopes, *Eng. Failure Analysis*, 2022, Vol. 137. — P. 106230.
17. **Cui, S.J., Wang, F.F., Guo, Q.L., et al.** Study on mechanism and treatment scheme of multi-step landslide in open-pit, *Min. Research Dev.*, 2022, Vol. 42, No. 5. — P. 65–69.
18. **Wang W. H., Wang Y., Du C. F., et al.** Stability analysis of large-area goaf group by room and pillar mining, *Min. Research Dev.*, 2020, Vol. 40, No. 08. — P. 41–44.
19. **Wang F. F., Tian, C. Y., Ren, Q. Y., et al.** Numerical simulation of progressive development process of surface subsidence caused by underground complex goaf, *Min. Metall. Eng.*, 2020, Vol. 40, No.6. — P. 22–25+29.
20. **Li L., He C., Xu P., et al.** Study on Slope Sliding Mechanism Under Multi Factor Coupling, *Min. Research Dev.*, 2020, Vol. 40, No.4. — P. 79–84.
21. **Qi W. B., Liu H. L., Wang F. F., et al.** Numerical simulation of landslide development process caused by underground mining, *Min. Metall. Eng.*, 2021, Vol.41, No.4. — P. 29–32+37.

Поступила в редакцию 23/VIII 2023

После доработки 08/I 2025

Принята к публикации 23/I 2025