



ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ УЧАЛИНСКОГО КАРЬЕРА ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Авторы: Кольцов П. В., к. т. н., Иванов Ю. С., Палютина Е. Н., Андреева О. Н., ОАО «Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия; Симакова Е. М., к. т. н., ООО «УГМК-Холдинг», управление промышленной безопасности, г. Верхняя Пышма, Россия

Обеспечение устойчивости бортов карьеров и своевременное предупреждение возникающих деформаций откосов в условиях изменяющейся горно-геологической обстановки являются важнейшими задачами на горных предприятиях.

Открытые работы на Учалинском карьере полностью завершены, отработка месторождения ведется подземным способом ниже дна карьера. Ликвидация объекта открытых горных работ должна сопровождаться рекультивацией [1]. Наиболее эффективным способом рекультивации карьера как в экономическом, так и природоохранном аспекте является использование хвостов обогатительной фабрики в качестве основного продукта для закладки выработанного пространства.

Целью проведенных исследований являлось районирование бортов карьера по степени устойчивости и оценка возможности безопасного производства процессов рекультивации.

Поставленная цель исследований достигнута решением ряда задач:

— обобщение опыта рекультивации карьеров хвостами обогатительных фабрик;

— оценка фактического состояния устойчивости бортов карьера;

— оценка возможности использования чаши Учалинского карьера в качестве прудка — отстойника для хвостовой пульпы и организации водооборотного водоснабжения обогатительной фабрики;

— оценка устойчивости бортов Учалинского карьера при его затоплении;

— обоснование необходимости проведения дальнейших инструментальных маркшейдерских наблюдений за состоянием устойчивости карьерных откосов;

— корректировка существующего проекта инструментальных наблюдений, связанная с изменением горнотехнических условий эксплуатации карьера.

Учалинское месторождение, расположенное в восточном крыле Мало-Учалинской антиклинали, приурочено к осложняющей это крыло брахиантиклинальной складке сундучного типа, которая деформирована меридионально вытянутой зоной разломов и тектоническими нарушениями северо-восточного и северо-западного направления.

Карьерное поле месторождения сложено вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами, про-

рванными субвулканическими интрузиями и жильными образованиями.

Гидрогеологические условия месторождения обуславливаются расположением его на водоразделе рек, наличием трех озер в непосредственной близости от карьера, сложной тектоникой, большой глубиной рудного тела, раздробленностью вмещающих пород.

В скальных породах водоносный горизонт обуславливается глубиной распространения открытых трещин и ограничивается глубиной 80–100 м. Ниже 100 м водопроводящими каналами служат зоны тектонических нарушений.

Гидрогеологическими наблюдениями водопроявления установлены как в виде отдельных источников и капеза на уступах карьера и в подземных горных выработках, так и в виде скоплений поверхностных вод на предохранительных бермах уступов. Скопление поверхностных вод на горизонтальных площадках карьера наблюдается преимущественно в осенне-весенние периоды. Часть воды через водопропускные скважины попадает в подземные выработки гор. 120 м, часть стекает по бортам карьера и попадает в подземные выработки гор. 300 м, 340 м, 380 м. Водоприитоки в карьер, в подземные выработки в значительной мере зависят от количества атмосферных осадков, от интенсивности испарения влаги, размеров депрессионных воронок вокруг карьера и шахтных стволов и от вскрытия подземными выработками. Общий объем шахтных вод в среднем составляет 2,5 млн м³/год, или 700 м³/сутки.

Естественные и искусственные выемки используются для складирования отходов, в том числе и обводненных и жидких, достаточно давно. Для объяснения геомеханических процессов, происходящих при заполнении выемок, рассмотрим опыт заполнения карьеров, накопленный Высокогорским ГОКом.

За свою деятельность Высокогорский ГОК использовал в качестве хвостохранилищ четыре карьера: Черемшанский, Каменский, Северо-Лебяжинский известковый и Главный. Заполнение Черемшанского карьера, находящегося более чем в двух километрах от зоны ведения подземных горных работ, не вызвало никаких затруднений. То же самое можно сказать и в отношении Северо-Лебяжинского известкового карьера, хотя его южная граница находится в 250–300 м к северу от зоны обрушения Лебяжинского рудника. Тем не менее отсутствие карстов, низкая интенсивность трещиноватости известняков и отсутствие крупных тектонических зон между карьерами и зоной обрушения обусловили относительно низкие водоприитоки в подземный рудник.

Заполнение Главного карьера показало опасность использования метода аналогий при проектировании заглубленных хвостохранилищ, а также роль карстовых каналов в формировании потерь воды.

Несколько по-иному развивалось заполнение Каменского карьера, который на момент окончания отработки имел глубину 120 м (отметка дна + 95 м). В 1968 г. он был переоборудован под хвостохранилище наливного типа. Хвосты, сбрасываемые в Каменский карьер, были получены от переработки магнетитовых руд, содержащих до 20–30 % примесей пылевато-глинистого материала, что обусловило большое количество тонкодисперсных частиц в сбрасываемой

пульпе. Заполнение карьера было приостановлено в 1975 г. при отметке зеркала воды + 170 м. Этот водоем просуществовал до осени 1978 г. при неизменной отметке зеркала воды, в то время как в наблюдательных скважинах, пройденных в борту карьера, уровень воды за этот же период снизился до отметки + 90 м. Сопоставление уровней воды в карьере и наблюдательных скважинах за контуром карьера явилось основанием для предположения, что толща намытых в карьере хвостов обезвожена, а вода, скопившаяся в прудке-отстойнике, удерживается в карьере за счет образовавшегося в нем донного экрана из пылевато-глинистых фракций. Для проверки этой версии из выработок под дном карьера были пробурены две скважины, которые подтвердили предположение об отсутствии воды в хвостах.

Таким образом, стихийно образовавшийся экран из пылевато-глинистых частиц, несмотря на свою небольшую мощность, обеспечил надежную гидроизоляцию подземных выработок от поверхностных вод.

Опыт использования отработанных карьеров как накопителей жидких промышленных отходов показывает, что наиболее удачно происходит эксплуатация карьеров в качестве наливных хвостохранилищ при отсутствии карстов, низкой интенсивности трещиноватости, отсутствии зон обрушения и тектонических зон, а также удаленности от зоны ведения подземных горных работ. При наличии одного или нескольких из этих факторов происходили аварийные ситуации, связанные с прорывом шламов в подземные выработки, что нарушало не только технологию подземных горных работ, но и систему обратного водоснабжения обогатительной фабрики.

При рекультивации Учалинского карьера продуктом на основе хвостов обогащения в виде пульпы, которая в настоящее время поступает в существующее хвостохранилище, необходимо учесть геологические, гидрогеологические и технологические особенности объекта исследования.

Отработка Учалинского месторождения осуществлялась комбинированным способом. В настоящее время открытые работы завершены, доработка оставшихся запасов производится подземным способом. Этажно-камерная система разработки с открытым очистным пространством в отработанное пространство карьера и закладкой выработанного пространства закладочной смесью используется на месторождении в настоящее время. Проветривание подземных горных работ производится с выходом исходящей струи воздуха в карьер.

Анализ геологической ситуации карьера показал, что породы бортов и дна карьера имеют повышенную трещиноватость и слоистость, кроме того, присутствуют растворимые соли. При заполнении обводненными хвостами все это приведет к раскрытию естественной трещиноватости и образованию техногенной трещиноватости, значительно превышающей естественную. В этом случае возникают благоприятные условия для деформации бортов карьера, что может привести к обрушению площадки для размещения насосного оборудования обратного водоснабжения. Кроме того, оползни и деформации нарушают компактность прудка-отстойника. Увеличение его площади и необходимый объем воды

для смачивания обрушившейся породы сокращает объем прудка-отстойника, что может повлиять на показатели обогащения фабрики.

Процессы деформации бортов и дна карьера, раскрытие трещин, обусловленные его геологическими условиями, значительно увеличат водопроницаемость пород и обеспечат не только рост притоков в дренажную систему карьера, но и увеличат количество направлений фильтрации, что сделает процесс сбора воды неуправляемым. Это может привести к потере прудка-отстойника и невозможности обогатительного процесса. Альтернативой в этом случае может быть сохранение и расширение коммуникаций дренажной системы в подземных выработках и использование ее как системы оборотного водоснабжения.

Если рассмотреть возможность гидроизоляции дна и бортов карьера, то возможны три варианта изолирующего материала: глина, кольматант, полиэтиленовая пленка. Использование всех этих изолирующих материалов проблематично на Учалинском карьере, так как породы карьера склонны к обрушению и пучинистости, что создаст дополнительные напряжения под уложенным изоляционным слоем и может нарушить целостность любого изолирующего слоя.

Естественное обводнение карьера происходит за счет трещинных вод, содержащихся во всех петрографических разновидностях палеозойских пород.

Мощность водоносного горизонта обусловлена глубиной распространения открытых трещин, которые наблюдаются в основном до глубины 120–180 м. В зонах тектонических нарушений трещиноватость отмечается на глубине 300 м, а иногда до глубины 400–500 м. Однако южный фланг характеризуется более сложными гидрогеологическими условиями, определяющимися большей глубиной развития зоны трещиноватости и наличием озера Малые Учалы.

Зоны с хорошими фильтрационными свойствами чередуются с участками слаботрещиноватых и слабофильтрующих пород. В гидрологическом отношении благодаря организованному подземному дренажу карьера довольно низкая водообильность пород, в целом месторождение можно отнести к слабообводненным с коэффициентом водообильности, равным по руде 0,44–0,71, а вскрыше — 0,28–0,42.

На основании приведенных данных было предложено использовать карьер для рекультивации продуктом на основе хвостов обогащения в полусухом виде с организацией прудка-отстойника обогатительной фабрики в существующем хвостохранилище.

Проведение оценки устойчивости бортов Учалинского карьера было одной из главных задач при его рекультивации. По результатам проводимых обследований карьера в течение последних лет устойчивость бортов в целом оценивается как удовлетворительная. Наиболее слабыми участками являются северный и юго-восточный борта карьера, устойчивость которых была осложнена доработкой прибортовых запасов руды сочетанием открытого и подземного способов, где в течение нескольких лет протекают деформации в виде просадок прибортовой поверхности и локальных вывалов и обрушений.

Оценка устойчивости бортов Учалинского карьера была произведена по десяти расчетным профилям (рис. 1) согласно методическим указаниям ВНИМИ.

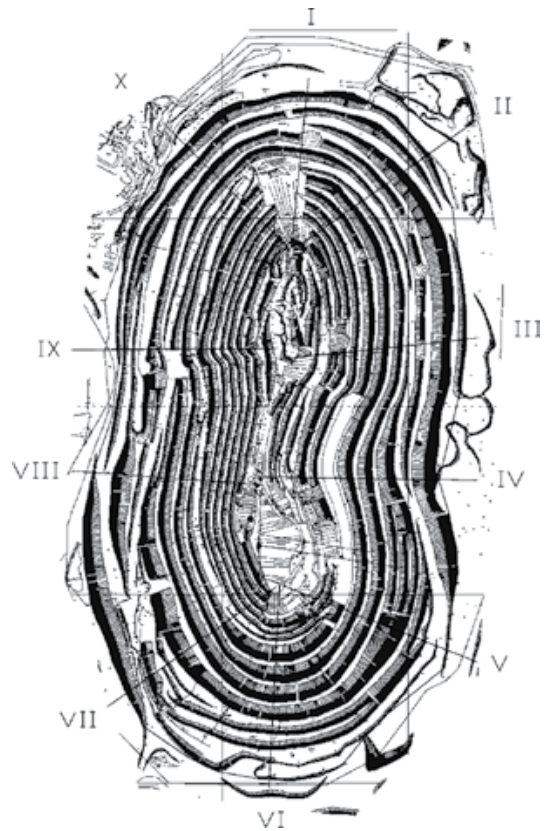


Рис 1. Схема положения расчетных профилей

Расчеты выполнялись для следующих условий:

- состояние бортов на начало рекультивации (фактическое положение);
- заполнение чаши карьера продуктом на основе хвостов обогащения на 1/3 высоты бортов;
- полное заполнение чаши карьера хвостами обогащения.

При выполнении расчетов фактического положения учитывалось, что борта карьера полностью сдrenированы подземными горными выработками, но в то же время находятся в зоне сдвижения от подземной отработки. Результаты оценки устойчивости представлены в таблице 1.

Проведенный расчет устойчивости показывает, что в фактическом состоянии наименьшей устойчивостью обладают юго-восточный, южный и северный борта карьера. Коэффициент запаса устойчивости на этих участках колеблется от 1,22–1,28, что ниже нормативной величины 1,3 и не исключает незначительных деформаций откосов.

Для расчета устойчивости бортов при затоплении карьера необходимы достаточно точные данные о фильтрационных свойствах массива, обеспечивающие достоверность определения изменения уровней в бортах при заданном изменении уровня воды в карьере.

В зависимости от сложности гидрогеологической обстановки и глубины карьера расчет устойчивости бортов производится для двух-четырех положений уровней воды в карьере и борту.

Общая устойчивость бортов при затоплении карьера изменяется под влиянием взвешивающего и пригружающего действия воды в котловане и зависит для фильтрующих откосов от положения зеркала воды в нем и депрессионной кривой. Наихудшее состояние общей устойчивости бортов карьера возникает при подтоплении карьера на 1/3 его глубины, если эта

часть борта сложена фильтрующими породами. В этом случае призма упора оказывается полностью затопленной, т. е. имеет минимальный вес, а призма активного давления остается сухой, т. е. вес ее неизменен. При этом коэффициент запаса устойчивости уменьшается на 10–25 % по сравнению с необводненным откосом. При повышении уровня воды более чем на 1/3 высоты борта устойчивость последнего повышается, и при полном затоплении карьера коэффициент запаса устойчивости откоса, сложенного породами с высоким сцеплением, на 25–40 % выше, чем коэффициент запаса устойчивости незатопленного карьера.

Вопрос об устойчивости бортов погашенных карьеров должен решаться в зависимости от принятого варианта использования карьера. С точки зрения устойчивости погашенного борта наиболее оптимальным вариантом является полное затопление карьера, так как устойчивость при этом повышается на 25–40 % (кроме случая, когда в борту преобладают пески). При рекультивации погашенного карьера как емкости под хвостохранилище устойчивость бортов также будет повышаться по мере его заполнения твердыми составляющими.

Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости бортов в процессе рекультивации карьера представлены в таблице 1.

Исследованиями института ВНИМИ установлено, что при запасе устойчивости 1,2–1,25 деформации, фиксируемые маркшейдерскими наблюдениями, достигают 50–70 мм, при этом преобладающей является горизонтальная составляющая вектора сдвижения. При запасе 1,1–1,15 прибортовой массив испытывает значительные деформации с образованием видимых трещин и заколов; максимальные смещения в пределах призмы обрушения достигают 0,5–2 м. В случае, когда

запас устойчивости составляет 1,05 и менее, в скором времени происходит обрушение борта.

Анализ таблицы показывает, что при заполнении карьера на 1/3 по всем бортам отмечается значительное снижение устойчивости до величин порядка 1–1,24, не исключающее развития значительных деформаций карьерных откосов. Относительно более устойчивыми в этих условиях будут восточный, юго-западный и западный борта карьера. Данные участки бортов могут сохранить кратковременную устойчивость. Дальнейшая рекультивация до полного заполнения чаши карьера приведет к повышению коэффициента запаса устойчивости до 1,28–1,56. Наименее устойчивым участком при этом остается юго-восточный борт при коэффициенте запаса меньше нормативного, составляющем 1,28.

По результатам проведенных расчетов было выполнено районирование бортов карьера по степени их устойчивости. В качестве индекса районирования принят коэффициент запаса устойчивости. Изолинии при районировании проводились через 0,05 (К.З.У).

В качестве критерия районирования принималась степень устойчивости бортов карьера, основанная на нормативной документации. При этом выделены следующие категории:

1. Величина коэффициента запаса $n \geq 1,3$; прибортовой массив испытывает преимущественно упругие деформации, величины которых находятся в пределах точности маркшейдерских измерений; относительные горизонтальные деформации не превышают 1×10^{-3} ; борт находится в устойчивом состоянии.

2. Величина коэффициента запаса $1,2 \leq n < 1,3$; отмечается появление трещин; общие смещения поверхности прибортовых массивов достигают 200–300 мм;

Таблица 1. Расчет коэффициента запаса устойчивости бортов в процессе рекультивации карьера

Разрез	Борт карьера	Отметки, м Высота борта, м	Фактический угол погашения борта, градус	Степень заполнения карьера		
				начало намыва	30 %	100 %
				Коэффициент запаса устойчивости борта		
I-I	северный	551,3–249,0 302,3	37,0	1,27	1–1,10	1,39
II-II	северо-восточный	535,2–250,1 285,1	34,6	1,33	1–1,15	1,46
III-III	восточный	542,5–209,1 333,4	34,8	1,44	1,04–1,24	1,56
IV-IV	восточный	529,8–219,3 310,5	33,8	1,43	1,03–1,24	1,56
V-V	юго-восточный	518,3–184,9 333,3	38,8	1,22	1–1,05	1,28
VI-VI	южный	531,1–185,5 345,6	34,7	1,28	1–1,11	1,39
VII-VII	юго-западный	530,9–184,9 346	36,1	1,39	1,01–1,21	1,53
VIII-VIII	западный	524–195,9 328,1	41,0	1,37	1–1,18	1,43
IX-IX	западный	534,2–204 330,2	39,1	1,44	1,03–1,24	1,51
X-X	северо-западный	551–246,5 304,5	40,3	1,35	1–1,16	1,41

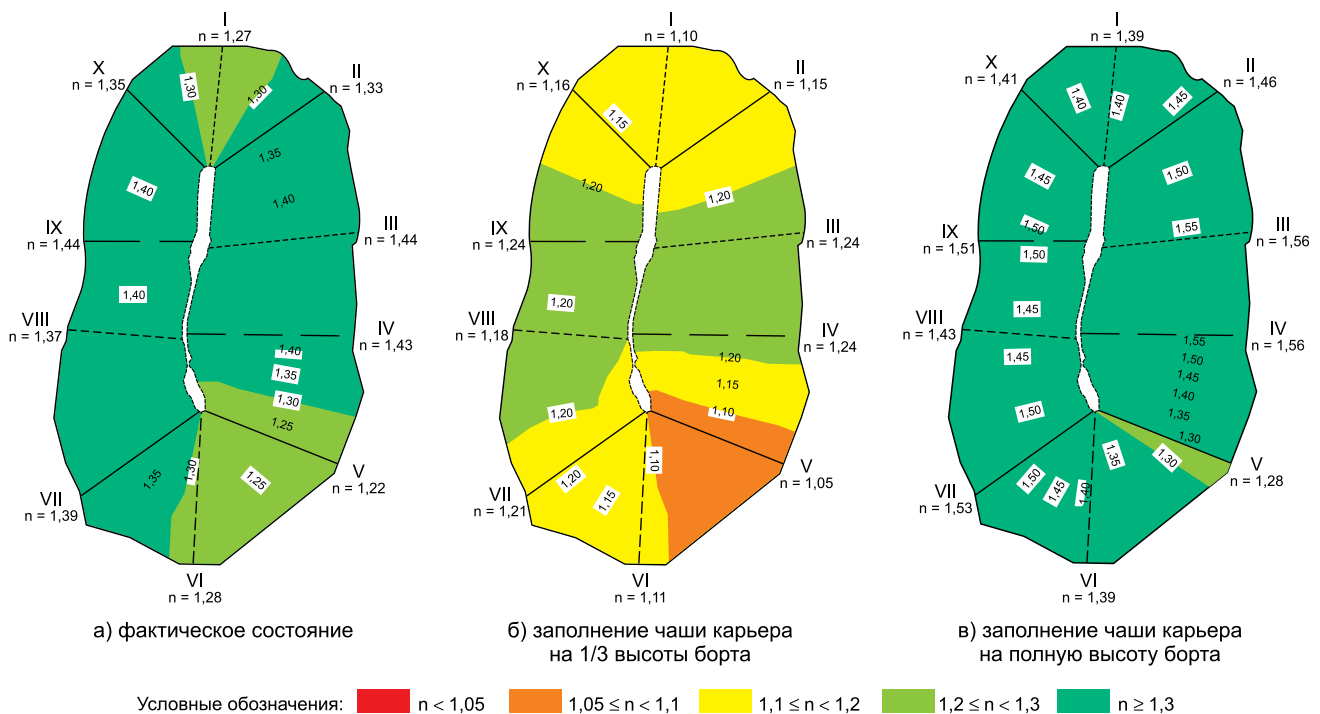


Рис 2. Карты районирования бортов Учалинского карьера по устойчивости

относительные горизонтальные деформации могут достигать $(2-5) \times 10^{-3}$; преобладающей является горизонтальная составляющая вектора сдвижения; смещения затухают во времени.

3. Величина коэффициента запаса $1,1 \leq n < 1,2$; появляются заколы; горизонтальные деформации могут достигать 30×10^{-3} ; а общие величины смещений $1,5-2$ м; деформации преимущественно затухают во времени.

4. Величина коэффициента запаса $1,05 \leq n < 1,1$; происходит дальнейшее развитие опасных деформаций.

5. Величина коэффициента запаса $n < 1,05$; в скором времени происходит сползание или обрушение борта; однако при значительных подвижках прибортовой поверхности и деформациях откосов борт может сохранить кратковременную устойчивость при условии изменения горнотехнического и горно-геологического состояния борта.

Районирование было проведено также для трех условий, как и расчет устойчивости. Карты районирования представлены на рис. 2.

Рекультивация отработанного карьера приведет к изменению горно-геологического состояния прибортового массива и, как следствие этого, к снижению устойчивости бортов карьера и проявлению деформационных процессов в виде просадок, локальных вывалов и обрушений.

На Учалинском карьере в непосредственной близости от борта карьера (23 м) находится здание складского комплекса, в связи с этим, а также для расположения оборудования по складированию продукта для рекультивации в чашу карьера возникает необходимость проведения мер по предотвращению деформаций бортов. Данная задача может быть решена путем проведения инструментальных маркшейдерских наблюдений.

Таким образом, оценив возможность рекультивации карьера сгущенным продуктом на основе хвостов обогащательной фабрики и выполнив оценку устойчивости Учалинского карьера при разной степени его заполнения, были получены карты районирования, позволяющие оценить устойчивость отдельных участков бортов и выделить из них наиболее безопасные для размещения необходимого технологического оборудования.

Список использованной литературы

1. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых: утв. Ростехнадзором 11.12.2013, действует с 03.10.2014. — Информационно-поисковая система NormaCS (база данных на 04.03.2015).
2. Попов В. Н., Байков Б. Н. Технология отстройки бортов карьеров. — М.: Недра, 1991. 252 с.
3. Александров И. Н., Самохин А. В., Заровняев Б. Н., Шубин Г. В., Вычужин Т. А. Патент РФ № 2171893, МПК Е 21 С 41/26, бюл. № 22.2001.
4. Туринцев Ю. И. Разработка, исследование и внедрение инженерных методов управления и способов контроля устойчивости бортов меднорудных карьеров. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Свердловск, СГИ, 1975. 303 с.
5. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров: одобрено и рекомендовано к применению Госгортехнадзором СССР. — Л.: ВНИМИ, 1972.
6. Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии: утв. Министерством цветной металлургии СССР 14.01.88. — М.: Унипромедь, 1989.

