

***Опыт районирования бортов карьеров по степени устойчивости для решения задач горнорудного производства***

Кольцов, П.В., Андреева О.Н., Иванов Ю.С.,

ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия

[kpavel@mail.umbr.ru](mailto:kpavel@mail.umbr.ru), [golovina\\_on@umbr.ru](mailto:golovina_on@umbr.ru), [ivanov\\_us@umbr.ru](mailto:ivanov_us@umbr.ru)

Исследование устойчивости бортов карьеров имеет большое значение на различных стадиях освоения месторождения, так как направлено на обеспечение безопасной эксплуатации карьерной выемки в устойчивых контурах, полноты извлечения запасов из недр, а также оптимизацию экономических показателей открытой разработки.

На стадии проектирования определяются допустимые по степени устойчивости параметры, на основе чего конструктивно отстраиваются откосы бортов и разрабатывается проект. Выполняется поверочный расчет устойчивости бортов проектного контура карьера, при необходимости вносятся изменения. Основой для расчетов являются данные геологоразведочных работ, проведенных на месторождении.

Строительство и эксплуатация карьера должны сопровождаться мониторинговыми исследованиями, включающими изучение имеющих место деформаций, исследование прочностных и структурных особенностей горных пород, вскрываемых в обнажениях, инструментальные наблюдения за состоянием устойчивости бортов карьера. Это позволяет повысить уровень знаний об инженерно-геологических условиях формирования бортов карьера, что особенно важно при их постановке в предельное положение.

По результатам проводимых исследований выполняется повторная оценка устойчивости проектных контуров карьера, а при наличии деформаций и фактических. В результате принимаются соответствующие решения по корректировке контура карьера с целью повышения устойчивости или оптимизации показателей по вскрыше и добыче.

После завершения горных работ в карьере зачастую его выработанное пространство используется для вскрытия штольнями запасов месторождения, отнесенных к отработке подземным способом, что требует обеспечения сохранности

бортов карьера и транспортного съезда. Также в некоторых случаях чаша карьера рассматривается как емкость для размещения отходов обогащения, а сопутствующие сооружения должны размещаться на бортах, обладающих достаточной устойчивостью.

Оценка устойчивости карьерных откосов выполняется по расчетным разрезам, располагаемым на наиболее характерных участках бортов. Количество разрезов и расстояние между ними выбирается исходя масштаба оцениваемого объекта (весь карьер, отдельный борт или локальный участок). А проследить состояние исследуемого откоса в целом позволяет его районирование по степени устойчивости.

Лабораторией устойчивости бортов карьеров и сдвижения горных пород института Уралмеханобр районирование карьерных откосов по степени их устойчивости проводилось на ряде месторождений Урала, и было приурочено к различным стадиям развития открытых горных работ.

В качестве основного показателя районирования, как правило, принимается коэффициент запаса устойчивости  $n$ , являющийся важнейшей количественной характеристикой состояния исследуемых откосов, оценкой баланса удерживающих и сдвигающих сил, действующих в прибортовом массиве по наиболее вероятной поверхности скольжения.

Так, к примеру, на месторождении «Юбилейное» районирование бортов карьера было проведено на стадии его эксплуатации с привлечением результатов исследований проводившихся в процессе развития горных работ. Нормативный коэффициент запаса исходя из стадии освоения месторождения и надежности исходных данных, согласно требованиям «Правил...» [ 1 ], принимался равным 1,3. Оценка устойчивости выполнялась по 16 расчетным разрезам по методике, разработанной институтом ВНИМИ [ 1, 2 ]. По результатам расчетов было выделено пять категорий устойчивости откосов: от весьма устойчивых ( $n \geq 1,45$ ) до весьма неустойчивых ( $n < 1,1$ ). План районирования показан на рисунке 1.

По результатам районирования установлено, что борта карьера при постанове их в предельное положение в основном будут характеризоваться устойчивостью выше нормативной ( $n > 1,3$ ), либо близкой к нормативной ( $n = 1,2 - 1,25$ ). Наименее устойчивым является западный участок, где устойчивость борта в проектном положении снижается вплоть до  $n = 1,09$ . С учетом проведенных исследований

предприятию были выданы рекомендации по разносу участка слабоустойчивого западного борта, а также по оптимальному размещению портала штольни, закладываемой для доработки запасов месторождения подземным способом.

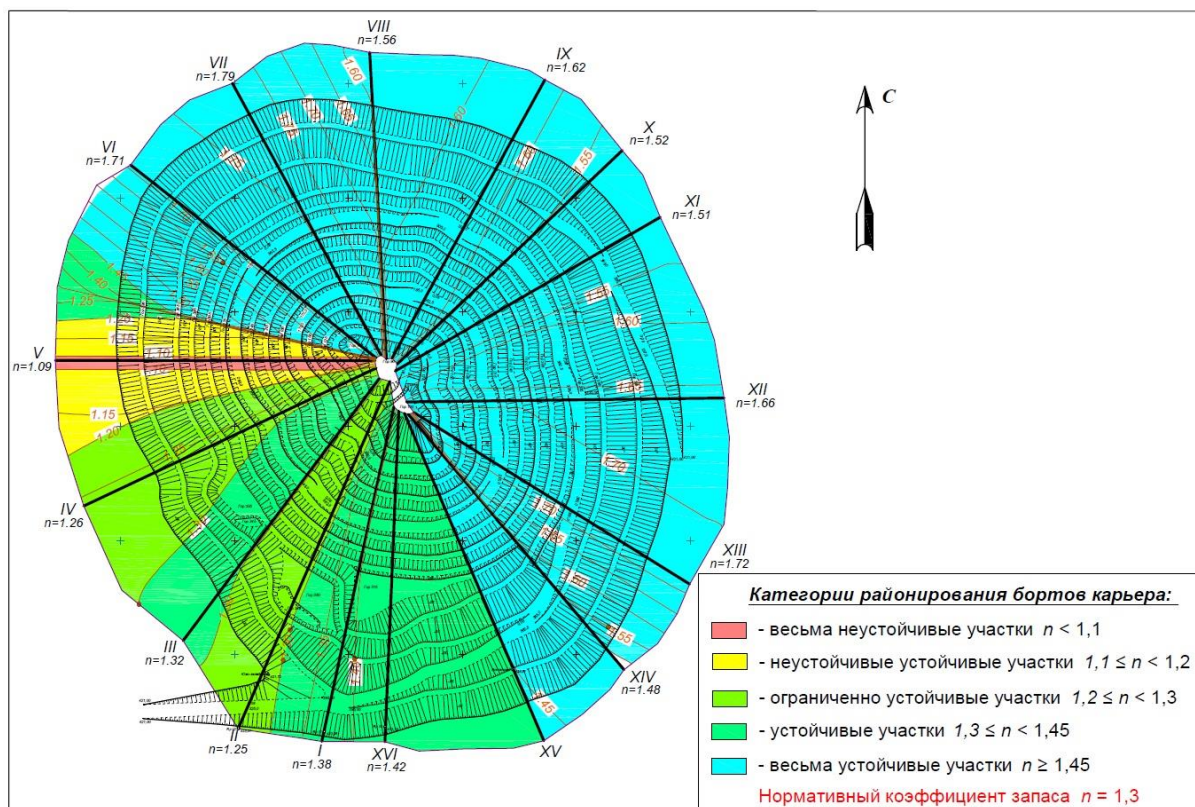


Рисунок 1 – Районирования бортов карьера «Юбилейный»

Для полноты представления о том, каким образом формируется устойчивость карьерных откосов, целесообразно проведение многопараметрового районирования, включающего оценку распределения их геометрических параметров и основных характеристик пород, слагающих прибортовой массив.

Подобное районирование проводилось нами на месторождении «Осеннее» и включало пять показателей. Первые два показателя районирования – это основные геометрические параметры бортов карьера принятые в проекте: предельная высота и угол погашения. Следующий показатель – это предельная высота вертикального откоса  $H_{90}$  [ 1, 2 ] – параметр, зависящий от физико-механических характеристик пород, слагающих прибортовой массив, и непосредственно входящих в основные расчетные формулы по оценке устойчивости, и в частности: плотность, сцепление, угол внутреннего трения и интенсивность трещиноватости пород.

Четвертый показатель районирования – это параметр  $H'$ , являющийся отношением предельной высоты вертикального откоса к проектной высоте борта, и позволяющий судить насколько породам, слагающим прибортовой массив, соответствует принятая проектом высота борта. И, наконец, пятый показатель районирования – это собственно коэффициент запаса устойчивости  $n$ .

Шаг районирования и количество категорий по каждому из показателей выбирались исходя из разброса значений в выборке.

По степени устойчивости откосов выделено пять категорий: от избыточно устойчивых (I категория), характеризующихся коэффициентом запаса  $n > 2,0$ , до слабоустойчивых (V категория,  $n < 1,4$ ).

План районирования карьера «Осенний» представлен на рисунке 2.

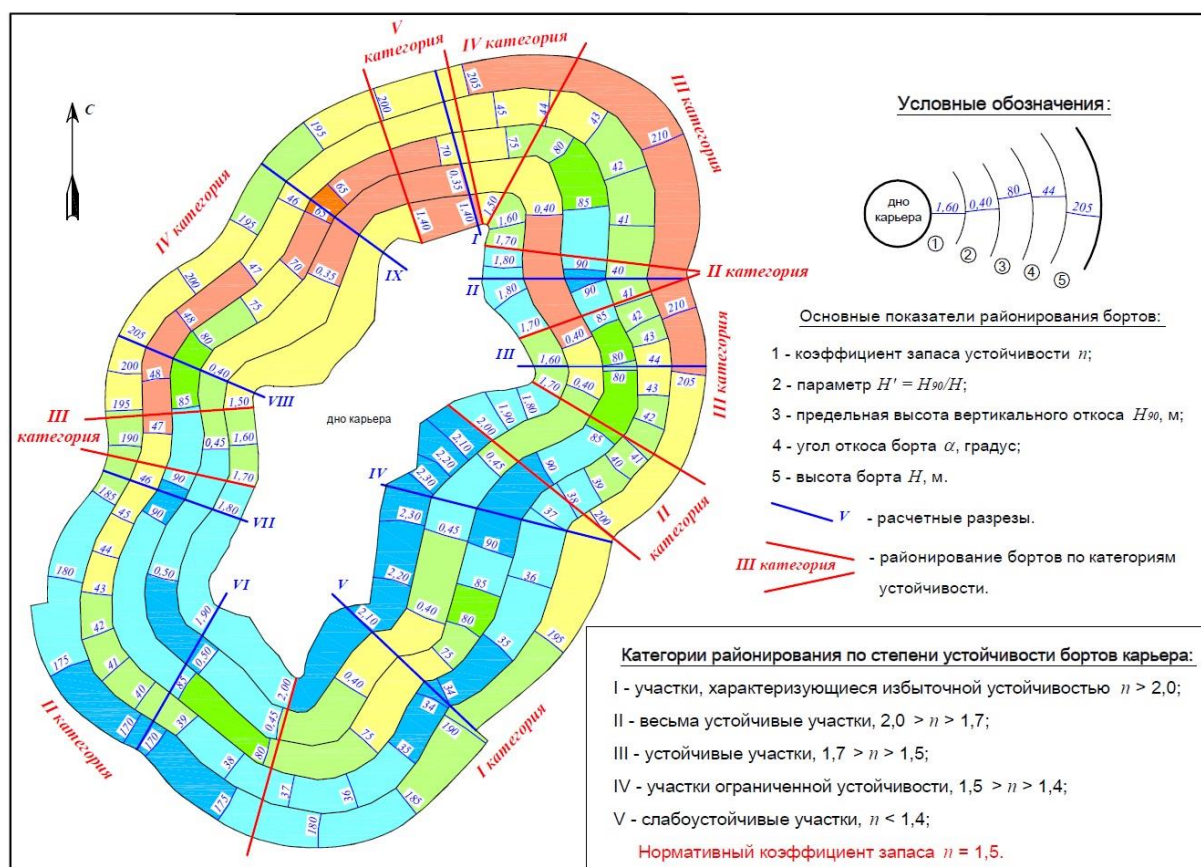


Рисунок 2 – Районирования бортов карьера «Осенний»

В целом по геометрическим параметрам бортов карьера выделяется северная часть карьера, как характеризующуюся сочетанием наибольшей высоты и угла заоткоски бортов, и южная – где величины высоты и угла имеют наименьшие значения.

Наибольшая высота зафиксировано по разрезу II (213 м), а наименьшая – по разрезу VI (169 м). Максимальный конструктивный угол заоткоски борта приурочен к разрезу VIII (48,5°), а наименьший – к разрезу V (33,9°).

По прочностным характеристикам пород прибортового массива наименее устойчивым является участок северо-западного борта карьера, где предельная высота вертикального откоса  $H_{90}$  снижается ниже 75 м, достигая минимума по разрезу IX. Локально снижение прочностных характеристик пород прослеживается на юго-восточном борту, но не так существенно по величине и по простиранию борта.

По параметру  $H'$  выделен наименее устойчивый участок по северному, северо-западному бортам карьера ( $H' < 0,40$ ), что обусловлено относительно низкими прочностными характеристиками пород, и, вместе с тем, относительно большой высотой борта. Также локальное снижение параметра зафиксировано по разрезу V. Максимальные значения относятся к юго-западному борту.

По состоянию устойчивости бортов наименее устойчивым является северо-западный участок карьера, где величина запаса устойчивости снижается менее 1,50 (IV и V категории). Участок характеризуется достаточно крутым углом заоткоски борта (от 44 до 48,5°) при высоте борта от 191 до 207 м, и приурочен к наименее устойчивым на карьере породам, величина  $H_{90}$  которых составляет от 64 м в средней части до 77 – 85 м на флангах. Параметр  $H'$  на данном участке также имеет наименьшие значения, изменяясь от 0,33 до 0,42.

По данным института ВНИМИ, при коэффициенте запаса устойчивости  $n \geq 1,3$  борт карьера находится в устойчивом состоянии, а прибортовая полоса не испытывает деформаций, фиксируемых маркшейдерскими инструментальными наблюдениями. При снижении коэффициента запаса до 1,2 – 1,25 смещения на прибортовой полосе достигают 50 – 70 мм; преобладающей является горизонтальная составляющая вектора смещения; а ширина полосы, охваченной деформациями, не выходит за зону, ограниченную наиболее слабой поверхностью скольжения. Дальнейшее снижение коэффициента запаса приводит к активизации деформаций, а при  $n = 1 - 1,05$  неизбежен оползень или обрушение борта [ 3 ].

Учитывая тот факт, что данные для расчета принимались по результатам геологоразведочных работ, нормативный коэффициент запаса для повышения надежности увеличен с 1,3 до 1,5, согласно требованиям «Правил...» [ 1 ].

Для определения характера возможных деформаций пропорционально уменьшаем фактически рассчитанные значения запаса устойчивости. Получаем, что на участке северо-западного борта коэффициент запаса устойчивости снижается до 1,23 – 1,26 против нормативного 1,3. Это позволяет судить о том, что борт при постановке в его проектное положение на полную высоту может испытывать незначительные деформации, которые существенно не осложняют эксплуатации карьера.

Для контроля состояния рассматриваемого участка северо-западного борта карьера рекомендуется организация инструментального мониторинга устойчивости карьерных откосов, транспортных съездов и прибортовой полосы. После завершения открытых горных работ, доработка месторождения планируется подземным способом со вскрытием запасов штольнями из выработанного пространства карьера, что потребует обеспечения безопасности эксплуатации карьерного транспортного съезда. Для обеспечения долговременной устойчивости северо-западного борта рекомендуется рассмотреть вопрос его пригрузки на завершающей стадии ведения открытых горных работ.

Вместе с тем, как показывают результаты районирования, наиболее устойчивым участком на карьере является юго-восточный борт, характеризующийся наименьшим углом погашения, относительно небольшой высотой борта. Коэффициент запаса устойчивости здесь составляет более 2,00 (I категория устойчивости). Предельная высота вертикального откоса  $H_{90}$  пород колеблется в широких пределах.

Избыточная устойчивость бортов карьера в его южной части позволила предприятию в свое время провести корректировку проекта разработки, сократив тем самым объемы вскрышных работ.

Следует отметить, что, не смотря на удовлетворительную общекортовую устойчивость, локальные участки бортов могут в силу проявления различных неблагоприятных факторов (ослабленные, интенсивно трещиноватые породы, обводненность массива, тектонические нарушения) иметь устойчивость меньше нормативной и претерпевать деформации. Поэтому на эксплуатируемых карьерах

районирование должно проводиться как всю высоту бортов, так и более детально, с учетом результатов визуального обследования уступов и откосов, геологической съемки обнажений, результатов инструментальных наблюдений.

Еще одним примером районирования бортов по степени их устойчивости является Учалинский карьер.

Отработка месторождения осуществляется комбинированным способом. К настоящему времени горные работы в карьере после отработки ряда участков законтурных руд полностью завершены и подземным способом системами с закладкой дорабатываются запасы глубоких горизонтов.

После полного завершения горных работ на месторождении планируется рекультивация карьерной выемки путем заполнения ее отходами обогатительного производства. Поэтому для обеспечения безопасности рекультивационных работ, выбора оптимальных мест размещения сооружений и оборудования была проведена оценка устойчивости и районирование бортов карьера.

Учитывая тот факт, что при затоплении карьера происходит изменение состояния устойчивости его бортов, расчет проводился для трех вариантов: в предельном положении, при затоплении карьера на 30 % высоты бортов и затопление на всю высоту бортов.

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 необходимым 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.

При расчетах также учитывалось негативное влияние на состояние бортов их подработки.

Результаты расчета приведены в таблице 1, а планы поэтапного районирования приводится на рисунке 3.

Таблица 1 – Коэффициент запаса устойчивости бортов Учалинского карьера при его рекультивации

Разрез	Борт карьера	Высота борта, м	Угол погашения борта, градус	Степень заполнения карьера		
				начало намыва	30 %	100 %
				Коэффициент запаса устойчивости борта		
I-I	северный	302	37	1,27	1,10	1,39
II-II	северо-восточный	285	35	1,33	1,15	1,46
III-III	восточный	333	35	1,44	1,24	1,56
IV-IV	восточный	310	34	1,43	1,24	1,56
V-V	юго-восточный	333	39	1,22	1,06	1,28
VI-VI	южный	346	35	1,28	1,11	1,39
VII-VII	юго-западный	346	36	1,39	1,21	1,53
VIII-VIII	западный	328	41	1,37	1,18	1,43
IX-IX	западный	330	39	1,44	1,24	1,51
X-X	северо-западный	304	40	1,35	1,16	1,41

Как показывают расчеты, борта карьера в предельном положении в основном находятся в устойчивом состоянии при коэффициенте запаса выше нормативного ( $n > 1,3$ ). Исключение составил локальный участок северного борта и юго-восточный сектор (разрезы V-V и VI-VI), устойчивость которых немного ниже нормативной.

При заполнении карьера на 1/3 его глубины по всем бортам отмечается значительное снижение устойчивости до величин порядка 1,06 – 1,24, не исключающее развития существенных деформаций карьерных откосов. Относительно более устойчивыми в этих условиях будут восточный, юго-западный и западный борта карьера. Данные участки бортов могут сохранить кратковременную устойчивость.

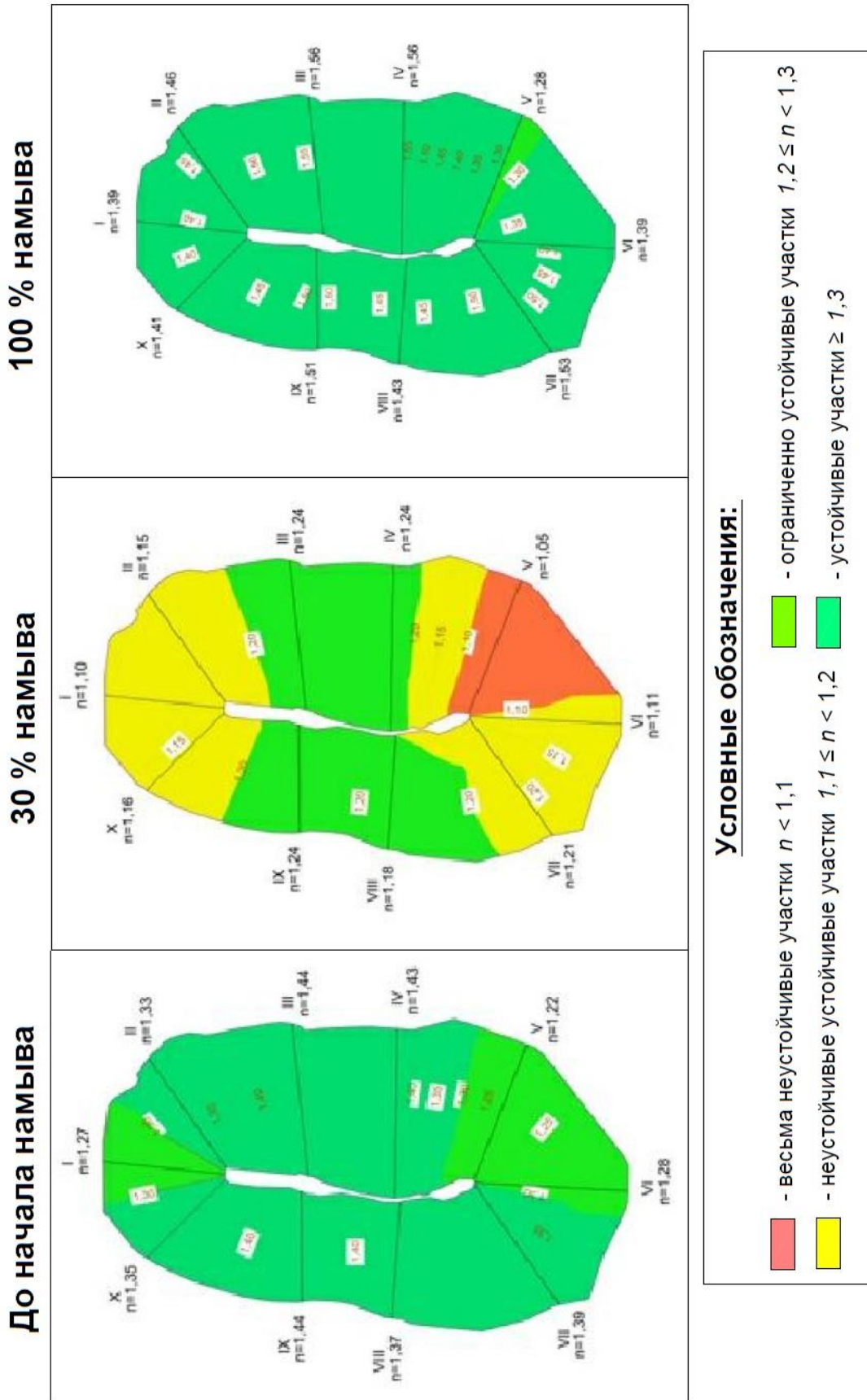


Рисунок 3 - Планы поэтажного районирования бортов Учалинского карьера

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.

Размещение сооружений, оборудования и трубопроводов, связанных со складированием хвостов обогащения в чашу карьера, планируется на прибортовой полосе восточного борту. Как видно на рисунке 3, центральная часть борта, приуроченная к разрезу IX-IX, будет обладать удовлетворительной устойчивостью на различных этапах заполнения карьера.

Однако учитывая тот факт, что в процессе намыва будет происходить существенное снижение устойчивости бортов ниже нормативной, что может повлечь развитие значительных деформаций, было принято решение о складировании в чашу карьера осушенных хвостов обогащения.

Таким образом, проведение работ по оценке устойчивости бортов карьеров и их районирование по степени устойчивости позволяют на различных стадиях освоения месторождения решать различные задачи, связанные с обеспечением безопасности и экономической эффективности горного производства.

### ***Использованные источники***

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: утв. Госгортехнадзором России 16.03.98. – С.-Пб.: ВНИМИ, 1998. – 207 с.

2. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 168 с.

3. Инструкция по расчету устойчивости бортов разрезов при их ликвидации и обеспечению сохранности прилегающих к разрезам территорий: утв. Министерством угольной промышленности СССР 17.01.77. – Л.: ВНИМИ, 1977 – 55 с.