

УДК 622.34:658.62.018.012.004.9

**Павлишина Дарья Николаевна**  
младший научный сотрудник,  
Горный институт КНЦ РАН,  
184209 г. Апатиты, Мурманская обл.  
ул. Ферсмана, 24  
e-mail: [shibaeva\\_goi@mail.ru](mailto:shibaeva_goi@mail.ru)

**Шумилов Павел Александрович**  
ведущий программист,  
Горный институт КНЦ РАН

**Терещенко Сергей Васильевич**  
заведующий лабораторией,  
декан горного факультета,  
Горный институт КНЦ РАН,  
Кольский филиал Петрозаводского  
государственного университета,  
184209, Мурманская обл., г. Апатиты,  
ул. Лесная, 29

#### **РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА РУДОПОТОКА**

##### *Аннотация:*

*Разработан программный модуль «Управление качеством руд», обеспечивающий информационную поддержку процесса формирования эффективных технологических схем по стабилизации качества рудопотока. Управление качеством добытой руды реализуется за счет регулирования движения транспортных потоков, применения процесса предконцентрации, формирования плана загрузки усреднительного штабеля.*

*Ключевые слова:* алгоритм управления качеством руд, усреднение, предконцентрация

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.048

**Pavlishina Darya N.**  
junior researcher,  
The Mining Institute Kola science center RAS,  
184209, Russia, Apatite Murmansk region,  
24 Fersman st.  
e-mail: [shibaeva\\_goi@mail.ru](mailto:shibaeva_goi@mail.ru)

**Shumilov Pavel A.**  
programming supervisor,  
The Mining Institute Kola science center RAS

**Tereshchenko Sergey V.**  
the head of the laboratory,  
the dean of mining faculty,  
The Mining Institute, Kola science center RAS,  
Kola Branch of Petrozavodsk State University,  
184209, Russia, Apatite, Murmansk region,  
29 Lesnaya st.

#### **WORKING OUT A TOOL FOR FORMATION EFFICIENT TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ORE FLOW QUALITY STABILIZATION**

##### *Abstract:*

*The authors have worked out a software module "Ore grade control" which provides information support to efficient technological processes formation for ore flow quality stabilization. Quality control of ore recovered is realized by regulating the movement of transport flows, applying pre-concentration and forming the blending pile loading plan.*

*Key words:* ore quality control algorithm, averaging, pre-concentration.

Одним из важнейших параметров, определяющих работу горнорудного предприятия, является содержание полезного компонента (ПК) в добываемых рудах. Необходимость поддержания значения содержания ПК в установленных пределах (на уровне заданного обогатительной фабрикой качества с минимальной величиной колебаний), обусловлена высокой инерционностью обогатительного производства: при отклонении содержания полезного компонента от регламентируемого уровня оно не способно в оперативном режиме внести изменения в технологический процесс. Количественным критерием колебаний (отклонений содержания полезного компонента от регламентируемого уровня) является величина его среднеквадратичного отклонения (СКО). Минимизировать значение СКО позволяют технологические решения, направленные на формирование и стабилизацию качества поступающей на переработку руды.

Существуют два основных пути формирования качества: усреднение, стабилизирующее содержание полезного компонента за счет интенсивного перемешивания рудной массы разного качества, и разделение технологического потока по сортам или на рудную и породную части, реализация которых обычно предполагает их раздельное использование. Один из путей модернизации существующих систем подготовки рудной массы к

переработке основан на использовании сочетания способов формирования и стабилизации качества с целью минимизации их недостатков. Решение этой задачи возможно с помощью анализа качественных характеристик руды в массиве и определения необходимой последовательности технологических решений (рис. 1). Согласно алгоритму управления качеством руд, представленному на рис. 1, выбор технологических решений определяется исходя из природных особенностей минерального сырья: содержания основного полезного компонента, характера его распределения в исследуемом объеме месторождения, наличия включений пустых и слабоминерализованных пород и их соответствия технологическим требованиям перерабатывающего производства (бортовое и регламентируемое содержание ПК). Количественным критерием характера пространственного распределения полезного компонента в исследуемом объеме месторождения принят предложенный профессором В.А. Мокроусовым показатель контрастности  $M$  [1], величина которого рассчитывается по формуле

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \alpha| \cdot m_i}{\alpha \cdot \sum_{i=1}^n m_i},$$

где  $\alpha$  – среднее содержание ПК в изучаемом объекте;  $y_i$  – содержание полезного компонента в  $i$ -ом элементе объема;  $m_i$  – масса  $i$ -го элемента объема горной массы;  $n$  – количество  $i$ -ых элементов в объеме горной массы.

Для количественного описания объемов породных включений используется показатель наличия пустых пород  $N$  [2]:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \theta) m_i}{\sum_{i=1}^n |y_i - \theta| m_i},$$

где  $\theta$  – бортовое содержание ПК.

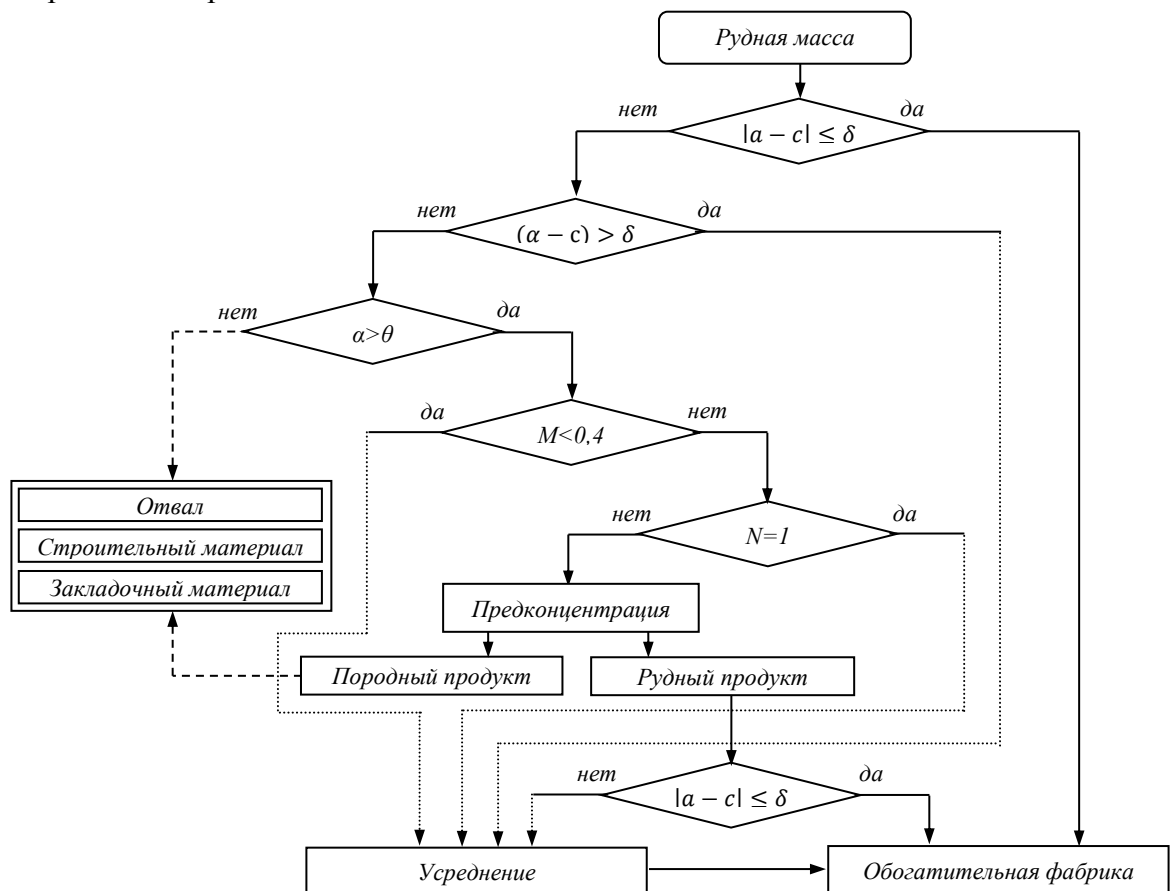


Рис. 1 – Алгоритм управления качеством руд:

$c$  – регламентируемое содержание полезного компонента в питании обогатительной фабрики;

$\delta$  – среднеквадратичное отклонение

Автоматизация задачи формирования и стабилизации качества рудопотока реализована в программном модуле «Управление качеством руд»<sup>1</sup>. Разработанный инструмент обеспечивает информационную поддержку принятия технологических решений на этапе оперативного планирования и управления горнодобычными работами.

На рис. 2 представлен первый этап работы программного модуля.

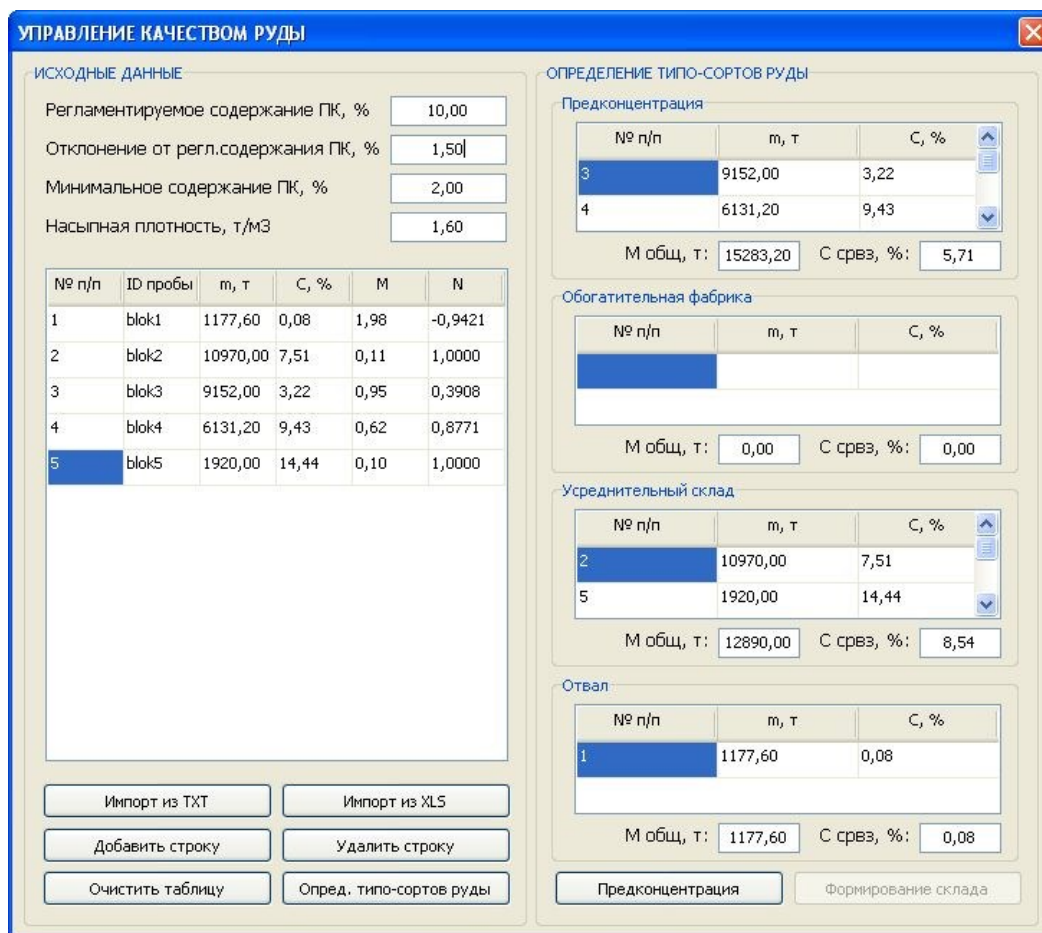


Рис. 2 – Первый этап формирования качества минерального сырья: «Классификация исходной руды»

В левой части экрана (рис. 2) отображаются входные параметры, импортированные из текстовых или табличных документов, в том числе созданных в различных программных комплексах (например, MineFrame [3]), в правой части – результат первого этапа формирования качества минерального сырья «Классификации исходной руды» (определение тип-сорт руды). Распределение объемов руды осуществляется по четырем направлениям: «Предконцентрация», «Обогатительная фабрика», «Усреднительный склад» и «Отвал». Объемы, удовлетворяющие условию “ $c =$  регламентируемое содержание ПК”, направляются на обогатительную фабрику. При входных параметрах, соответствующих условиям системы

$$\left\{ \begin{array}{l} c \neq \text{регламентируемое содержание ПК} \\ c > \text{минимальное содержание ПК,} \\ N = 1 \\ M \leq 0,4 \end{array} \right.$$

<sup>1</sup> В разработке программного модуля принимал участие студент горного факультета Кольского филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет»

заполняется блок «Усреднительный склад». Формирование блока «Предконцентрация» осуществляется для объемов, удовлетворяющих условиям

$$\left\{ \begin{array}{l} c \neq \text{регламентируемое содержание ПК} \\ c > \text{минимальное содержание ПК.} \\ N \neq 1 \\ M > 0,4 \end{array} \right.$$

Объемы с содержанием ПК ниже или равным минимальному ( $c \leq$  минимальное содержание ПК) направляются в блок «Отвал».

Таким образом, по результатам реализации первого этапа управления качеством руды определены объемы, не требующие дальнейших рудоподготовительных операций («Обогатительная фабрика»), и объемы, для формирования регламентируемого качества которых необходимо применение разделительных («Предконцентрация») и усреднительных мероприятий («Усреднительный склад»).

При условии наличия объемов руды, содержащих часть пустых пород (рудной массы с содержанием ПК ниже минимального), осуществляется операция предконцентрации. Результатом разделения (1) являются два продукта: обогатенный и отвалный (рис. 3). Отвалный продукт направляется в отвал или может использоваться в качестве строительного материала. Обогащенный продукт, согласно качественным характеристикам, перемещается в блок «Обогатительная фабрика» или в блок «Усреднительный склад» (2).

В случае неудовлетворительных результатов процесса разделения, отсутствия возможности реализации предконцентрации или других причин руда может быть направлена на усреднительный склад, вне зависимости от ее характеристик.

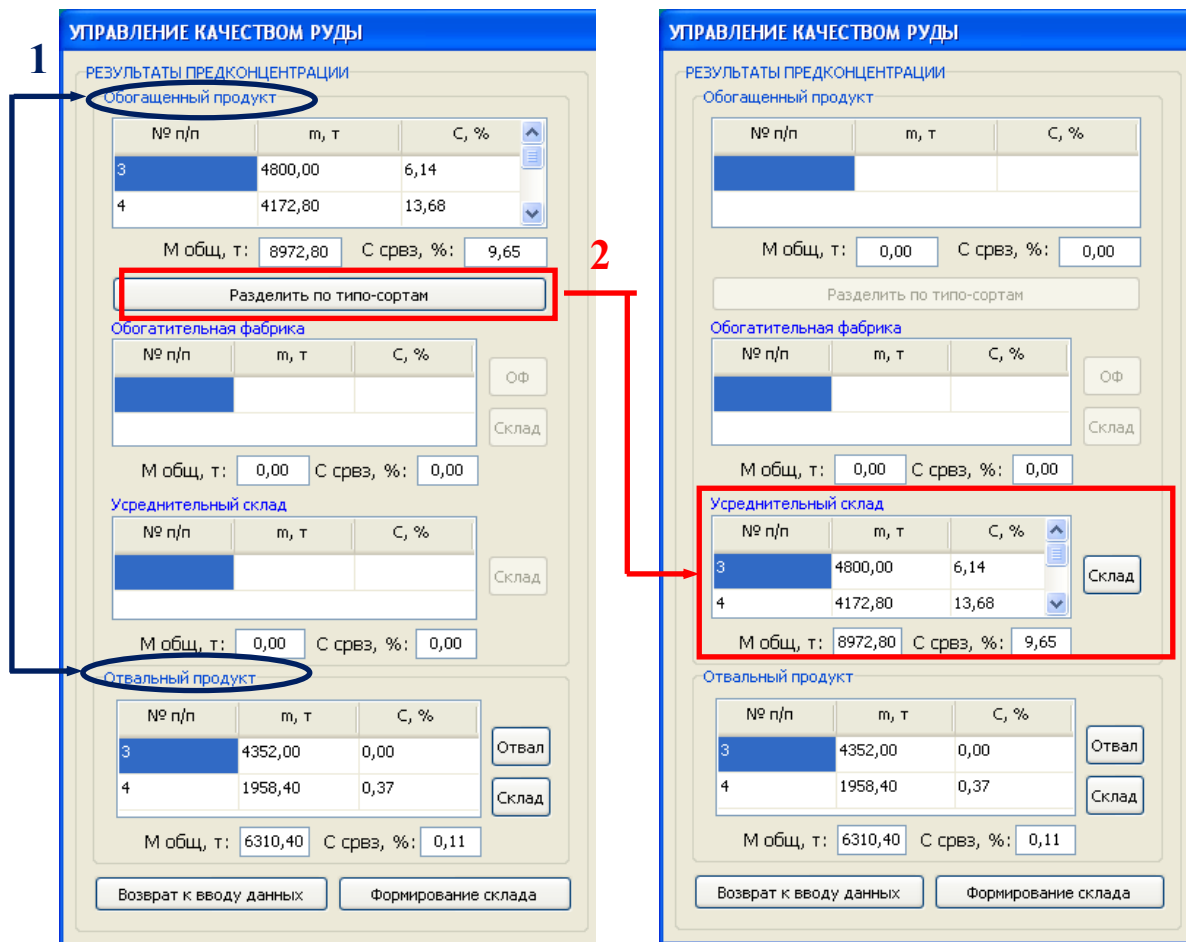


Рис. 3 – Диалоговое окно «Результаты предконцентрации»

Модель усреднительного склада отражает основные свойства складов шевронного типа (рис. 4), формирование которых осуществляется с использованием укладчиков, совершающих возвратно-поступательные движения по центральной линии штабеля. Шевронный способ представляет собой штабелирование большого числа слоев, имеющих убывающую толщину поверх друг друга. Регулирование толщины слоя обеспечивается за счет изменения скорости движения сбрасывающей установки.

Недостаток применения шевронного способа для формирования штабеля (сегрегация материала: мелкие фракции остаются в центральной части штабеля, а крупные сыпаются вниз) минимизируется использованием торцевого способа выемки, предпочтительно оборудованием типа «Усреднитель» (рис. 5).

*а**б*

Рис. 4 – Схема формирования  
*а* – продольного и *б* – кругового усреднительного склада шевронного типа

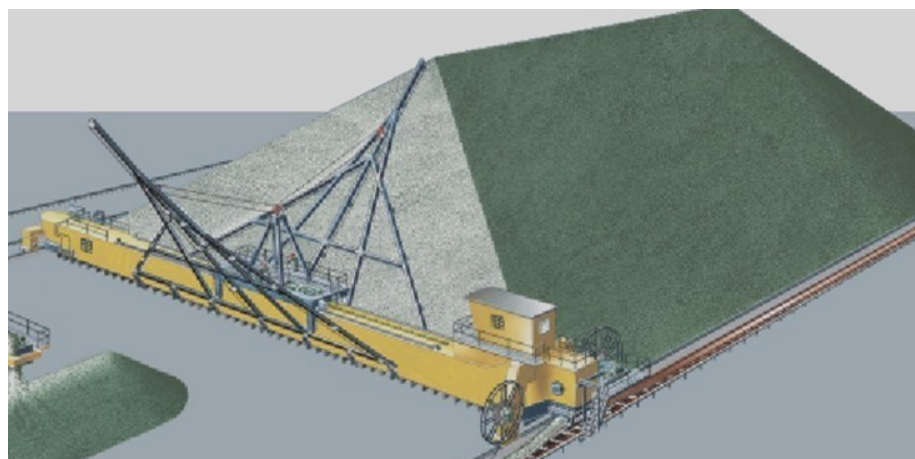


Рис. 5 – Разгрузка склада с использованием разгрузочного оборудования типа «Усреднитель»



Исходные данные для формирования усреднительного склада, обусловленные возможностями и режимом работы обогатительной фабрики, задаются пользователем (рис. 6). На основе методики [4] рассчитываются геометрические параметры штабеля: ширина, длина, высота, а также величина единичной порции усреднения. По умолчанию она принята равной объему, формирующему один погонный метр слоя штабеля. Для изменения пользователем величины единичного объема усреднения необходимо активировать режим ручного ввода – возможности внесения изменений. Важно отметить, что новое значение единичной порции усреднения должно быть кратно объему одного слоя штабеля. Дальнейший процесс стабилизации качества рудопотока оперирует набором данных, представленных определенным количеством единичных порций, характеризующих качество руды в каждом исследуемом объеме.

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РУДЫ**

**ПАРАМЕТРЫ УСРЕДНИТЕЛЬНОГО СКЛАДА**

Исходные данные

Производительность фабрики, т/ч: 100

Время формирования штабеля, сут: 3

Рабочих часов в сутки, ч: 24

Количество слоев в штабеле, шт: 5

Отклонение от регл.содерж. ПК, %: 1,0

Расчет параметров усреднительного склада

Расчетные данные

Длина штабеля, м: 20

Ширина штабеля, м: 15,50

Высота штабеля, м: 5,82

Единичный объем усреднения, т: 45

Возврат к вводу данных | Визуализация

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПО-СОРТОВ РУДЫ**

**Предконцентрация**

№ п/п	м, т	С, %

М общ, т: 0,00 | С срвз, %: 0,00

**Обогатительная фабрика**

№ п/п	м, т	С, %

М общ, т: 0,00 | С срвз, %: 0,00

**Усреднительный склад**

№ п/п	м, т	С, %
2	10970,00	7,51
5	1920,00	14,44

М общ, т: 12890,00 | С срвз, %: 8,54

**Отвал**

№ п/п	м, т	С, %
1	1177,60	0,08

М общ, т: 1177,60 | С срвз, %: 0,08

Предконцентрация | Формирование склада

Рис. 6 – Параметры усреднительного склада

В качестве критерия для оценки результата формирования качества рудопотока, направляемого на обогатительную фабрику, принята величина отклонения содержания основного полезного компонента от регламентируемого уровня. Его значение определяется из условия достижения максимальной эффективности процессов переработки – обеспечения оптимальных технологических показателей и минимальных экологических последствий.

Полученные результаты формирования усреднительного штабеля (рис. 7) отображаются в виде графиков поперечного и продольного срезов сечения штабеля, а также в табличном представлении.

Поперечный срез иллюстрирует номера проб, формирующих содержание в каждом слое штабеля, его среднее значение в каждом погонном метре склада, продольный – очередность загрузки штабеля; номер в каждой ячейке соответствует номеру добычного забоя. Для наглядности реализована возможность раскраски блоков в зависимости от содержания в них полезного компонента. Результаты формирования склада можно экспортировать в табличном виде для последующей обработки.

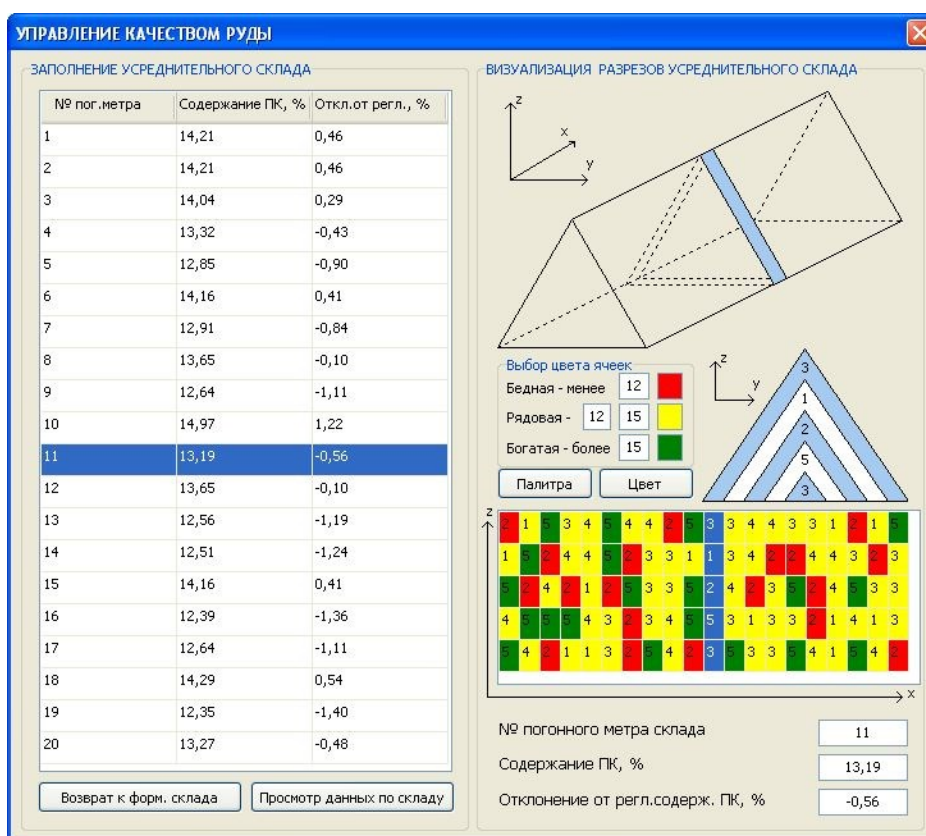


Рис. 7 – Визуализация сформированного склада

Формирование регламентируемого качества питания процессов обогащения достигается за счет регулирования направлений движения транспортных потоков, применения процесса предконцентрации руды и определения очередности разгрузки единичных порций руды при формировании усреднительного штабеля.

Представленный программный модуль позволяет автоматизировать этап предварительной оценки по выбору способов формирования заданного содержания ПК в рудопотоке, направляемого на переработку, на этапе оперативного планирования, т. е. является эффективным инструментом формирования эффективных технологических схем стабилизации качества рудопотока.

### Литература

1. Мокроусов В.А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд / В.А. Мокроусов, В.А. Лилеев. – М.: Недра, 1979. – 192 с.
2. Терещенко С.В. Оценка выбора последовательности технологических решений в процессе формирования и стабилизации качества рудопотока / С.В. Терещенко, Д.Н. Павлишина // Маркшейдерский вестник. - 2014. - № 6. – С. 5 - 8.
3. Лукичев С.В. Компьютерная технология инженерного обеспечения горных работ при освоении месторождений твердых полезных ископаемых / С.В. Лукичев, О.В. Наговицын // Горный журнал. — 2010. — № 9. – С.11 - 15.
4. Порцевский А.К. Управление качеством рудной массы на открытых горных работах: учеб. пособие / А.К. Порцевский. - М.: МГОУ, 1998. - 44 с.