

УДК 622.013.364.2

Кантемиров Валерий Данилович

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией управления
качеством минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: ukrkant@mail.ru

Титов Роман Сергеевич

старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: ukrigd15@mail.ru

Яковлев Андрей Михайлович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: krissy-puh@yandex.ru

Тимохин Александр Владимирович

научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: timohin.igduran.geo@mail.ru

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ
СВЕРХНОРМАТИВНЫХ ПОТЕРЬ
ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО ПРИ
РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ***Аннотация:*

В статье изложены методологические положения по оценке сверхнормативных потерь полезного ископаемого при открытой разработке месторождений со сложными горно-геологическими условиями. В качестве примера приведены показатели потерь полезного ископаемого при разработке Костанокского участка Чаньвинского месторождения известняков, используемых для производства каустической соды. Установлен фактический уровень потерь, превышающий 30 % от объема добычи сырья. Изложены основные причины повышенных потерь известняка по сравнению с уровнем, обоснованным проектом. Установлено, что при детальной разведке массива известняков не были выявлены карстовые зоны и участки с повышенным содержанием глины, залегающие в виде «жил» в зонах повышенной трещиноватости. Вследствие этого в результате взрывных работ происходит перемешивание взрываемых закарстованных, заглинизированных участков с чистым известняком, его загрязнение до значений, превышающих допустимые проектом, что приводит к потере балансовых запасов полезного ископаемого при выемке. Даны рекомендации по расчету уровня потерь при отработке сложных забоев, которые характеризуются перемежаемостью породы с продуктивной толщей известняка и карстовыми зонами.

Ключевые слова: эксплуатационные потери полезного ископаемого, засорение сырья, разубоживание, карстовые зоны, методика оценки потерь.

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.01.047

Kantemirov Valery D.

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory of quality management
of mineral raw materials,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
620075 Ekaterinburg,
Mamina-Sibiryaka Str.,
e-mail: ukrkant@mail.ru

Titov Roman S.

Senior Researcher,
Laboratory of mineral raw material
quality management,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: ukrigd15@mail.ru

Yakovlev Andrey M.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of mineral raw material
quality management,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: krissy-puh@yandex.ru

Timokhin Alexander V.

Researcher,
Laboratory of mineral raw material
quality management,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: timohin.igduran.geo@mail.ru

**METHODOLOGY FOR ESTIMATING
EXCESS LOSSES OF MINERALS
DURING DEVELOPMENT
COMPLEX STRUCTURAL DEPOSITS***Abstract:*

The article presents methodological provisions for the assessment of increased mineral losses during open-pit mining of deposits with difficult mining and geological conditions. As an example, the indicators of mineral losses during the development of the Kostanoksky site of the Chanvinsky deposit of limestones used for the production of caustic soda are given. The actual level of losses exceeding 30 % of the volume of extraction of raw materials has been established. The main reasons for the increased limestone losses compared to the level justified by the project are outlined. It was found that during the detailed exploration of the limestone massif, karst zones and areas with a high clay content, lying in the form of "veins" in areas of increased fracturing, were not identified. As a result, after blasting works, exploding quarries, clogged areas with pure limestone are mixed, its contamination to values exceeding those allowed by the project, which leads to the loss of balance reserves of minerals during excavation. Recommendations are given for calculating the level of losses during the development of complex faces, which are characterized by the intermittency of rocks with productive limestone strata and karst zones.

Key words: operational losses of minerals, clogging of raw materials, dilution, karst zones, loss assessment methodology.

Введение

Одним из элементов стратегии рационального недропользования является сокращение потерь полезного ископаемого (ПИ) при добыче. Как правило, нормативный уровень потерь ПИ устанавливается проектом на основании геологических данных о месторождении, сложности залегания рудных тел и вмещающих пород, принятой технологии разработки конкретных добычных участков. В большинстве случаев уровень потерь составляет 2 – 9 % от общего объема добычи [1 – 7]. Однако при разработке некоторых сложноструктурных месторождений имеют место повышенные сверхнормативные потери ПИ (20 – 35 %) [8].

Сверхнормативные потери – превышенные фактические потери над нормативными потерями полезного ископаемого, определенные по выемочной единице.

Основными причинами высокого уровня потерь и разубоживания при добыче и переработке полезного ископаемого являются [1 – 8]:

- недостаточная изученность геологического строения месторождения;
- отсутствие должной экономической заинтересованности предприятий в наиболее рациональной разработке и обогащении полезного ископаемого;
- нарушение предусмотренных проектом технологических процессов при добыче и переработке;
- применение систем разработки и технологий горных работ, не соответствующих горно-геологическим условиям и особенностям геологического строения отрабатываемого месторождения и отдельных его частей;
- несовершенство принятых методик определения и нормирования потерь и разубоживания.

В статье представлена методика оценки потерь ПИ на примере разработки Костанокского участка Чаньвинского месторождения известняков (Пермский край, АО «Березниковский содовый завод»).

Описание

Костанокский участок характеризуется следующими горно-геологическими условиями отработки запасов: мощность вскрыши не более 10 м при среднем ее значении 2,5 м; рельеф в пределах участка относительно ровный с углами наклона дневной поверхности, практически не превышающими 15°. Известняк отличается высокой чистотой, количество вредных примесей составляет 2 – 4 %.

Особенностью Костанокского участка месторождения является его повышенная закарстованность и широкое развитие глинистых образований. Карстовые формы открытого типа представлены конусовидными, чашеобразными и блюдцеобразными воронками. Карстовые воронки целиком заполнены рыхлым материалом, представляющим собой обломки карбонатных пород, цементированных песчанистой глиной. В большинстве случаев выше залегает маломощный слой песчанистой глины с небольшим количеством щебня известняка.

Участки месторождения с присутствием глинистых образований названы зонами повышенного и высокого содержания глин (ПВСГ). При проведении детальной разведки и доразведке месторождения зоны ПВСГ не были выявлены, поэтому фактические потери ПИ значительно превышают установленные проектом. Разработка этих участков приводит к потерям ПИ свыше 30 %.

В границах участка ведения добычных работ Чаньвинского месторождения выделены следующие виды эксплуатационных потерь известняка:

- при отработке карстовых участков (глинистых тел) на контактах известняка с зоной карста (глины) при его выемке;
- при отработке участков зон дробления «заглинизированного» известняка ПВСГ внутри зоны на контактах известняка с глиняными прослоями;

- при отработке приконтактных зон известняка с засоряющими породами и некондиционным известняком, «известняк–ПВСГ» фронтальным забоем;
- при зачистке кровли известняков от покрывающих рыхлых пород;
- в бортах и днище карьера при недоработке выклинивающихся частей продуктивной толщи известняка (проектные потери).

Отрабатываемые участки Чаньвинского месторождения известняка по геолого-морфологическим признакам можно отнести к сложному типу с пологими и крутыми как прямолинейными, так и криволинейными контактами приконтактных зон «известняк – глина (карст)» или «известняк – повышенное содержание глины (ПВСГ)» (рис. 1).

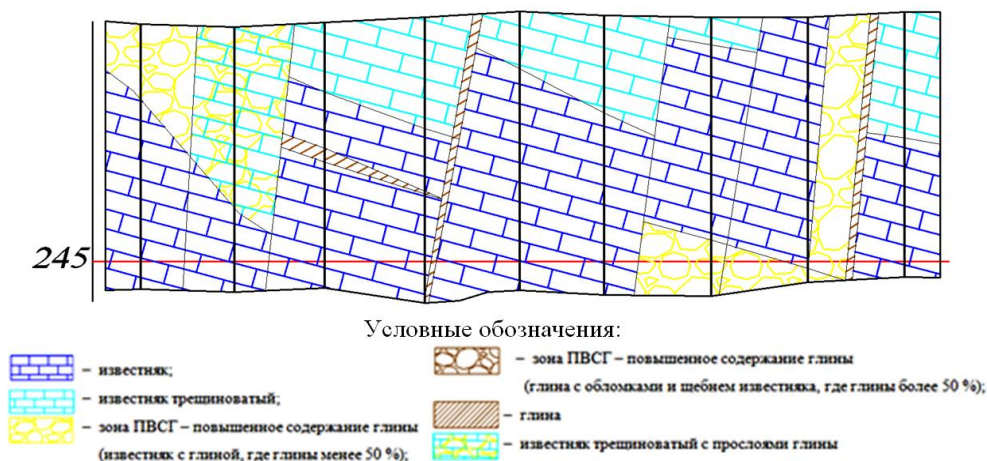


Рис. 1. Характерное геологическое строение взрывного блока в карьере Чаньвинского месторождения

Результаты

Эксплуатационные потери, возникающие при отработке карстовых участков, зон ПВСГ и приконтактных зон «известняк – ПВСГ» рекомендуется объединить в одну группу потерь в зоне влияния участков засоряющих пород $\Pi_{зп}$ в границах выемочного участка (блока). Тогда объем потерь для оцениваемого участка отработки (блока) можно представить в следующем виде, т:

$$\Pi_{об} = \Pi_{зп} + \Pi_{то} + \Pi_{зк}, \quad (1)$$

где $\Pi_{зп}$ – потери известняка, образующиеся при отработке зон ПВСГ, карста и некондиционного известняка, т;

$\Pi_{то}$ – потери, образующиеся при производстве технологических операций буровзрывных работ (БВР) и транспортирования, т;

$\Pi_{зк}$ – потери, образующиеся при зачистке кровли известняка от покрывающих пород, т.

Потери известняка, образующиеся при отработке зон засоряющих пород (глин), определяются по следующей формуле, т:

$$\Pi_{зп} = \left[\left(\frac{K_{из}}{100} \times \frac{K_r}{100} \right) \times B_v \gamma_{и} \right] + Q_{п}, \quad (2)$$

где $K_{из}$ – теряемый известняк, приуроченный к участкам зон ПВСГ, дробленого «заглиненого» известняка, %;

K_r – засоренность выемочного участка глинистыми породами зон ПВСГ и некондиционным известняком по данным детальной разведки (проекта), %;

B_v – погашаемые балансовые запасы известняка в границах отрабатываемого участка (блока), м³;

$\gamma_{и}$ – среднее значение объемного веса известняка (установлено проектом 2,54 т/м³), т/м³;

$Q_{п}$ – потери при отработке приконтактных зон с засоряющими породами и некондиционным известняком, «известняк-ПВСГ», т.

Потери известняка, приуроченного к добычному участку в зоне ПВСГ, можно записать в следующем виде, %:

$$K_{\text{из}} = \left(\frac{\Pi_{\text{зп}}}{B_{\text{в}}} \right) 100 = 1 - \frac{Q_{\text{г}}}{100}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{г}}$ – количество глины в границах зоны ПВСГ, (определяется на основании опыта разработки месторождения), %.

Балансовые запасы ($B_{\text{в}}$) в границах отрабатываемого участка с учетом несоответствия проектной закарстованности ее фактической величине определяют из следующего выражения, т:

$$B_{\text{в}} = V_{\text{т}} - V_{\text{к}} = V_{\text{т}} - \left(V_{\text{т}} \frac{K_{\text{з}}}{100} k_{\text{з}} \right), \quad (4)$$

где $V_{\text{т}}$ – объем продуктивной толщи в границах участка отработки, м³;

$V_{\text{к}}$ – объем карста (глины) в границах участка отработки, м³.

$K_{\text{з}}$ – закарстованность участка отработки, установленная по данным детальной разведки (проекта), %;

$k_{\text{з}}$ – коэффициент учета закарстованности участка отработки, дол. ед.

Для учета имеющегося расхождения фактической закарстованности и засоренности массива ПИ от проектной предложено ввести в расчетные формулы поправочные коэффициенты, предусматривающие приведение проектных значений к эксплуатационным:

– коэффициент учета закарстованности ($k_{\text{з}}$):

$$k_{\text{з}} = \frac{K_{\text{з}} \pm \Delta K_{\text{з}}}{K_{\text{з}}} = \frac{K_{\text{фз}}}{K_{\text{з}}}; \quad (5)$$

– коэффициент учета заглинизованности ($k_{\text{г}}$):

$$k_{\text{г}} = \frac{K_{\text{г}} \pm \Delta K_{\text{г}}}{K_{\text{г}}} = \frac{K_{\text{фг}}}{K_{\text{г}}}, \quad (6)$$

где $\Delta K_{\text{з}}$ – прирост (убыль) закарстованности известняка для выемочного участка по итогам ее отработки, %;

$K_{\text{фз}}$ – фактическая закарстованность выемочного участка, %.

$\Delta K_{\text{г}}$ – прирост (убыль) засоренности известняка глинистыми породами для выемочного участка по итогам ее отработки, %;

$K_{\text{фг}}$ – фактическая засоренность выемочного участка глинистыми породами, %.

Коэффициенты $k_{\text{з}}$ и $k_{\text{г}}$ определяются для каждого выемочного участка отдельно.

Потери, возникающие при добычных работах фронтальным забоем в приконтактных зонах известняка с засоряющими породами и некондиционным известняком с крутыми контактами «известняк-ПВСГ» («треугольники» потерь, рис. 2), рекомендуется определять следующим образом:

– потери при отработке приконтактных зон с засоряющими породами и некондиционным известняком определяются следующей формулой, т:

$$Q_{\text{п}} = \left(\frac{K_{\text{пз}}}{100} \right) B_{\text{в}} \gamma_{\text{и}}; \quad (7)$$

– коэффициент количественных потерь при разработке известняка в приконтактной зоне «известняк-ПВСГ» определяется формулой, %:

$$K_{\text{пз}} = \left[\frac{h^2 \sin \delta L_{\text{к}} \lambda_{\text{и}}}{2 B_{\text{в}} \lambda_{\text{и}} \sin \beta \sin \alpha} \right] 100, \quad (8)$$

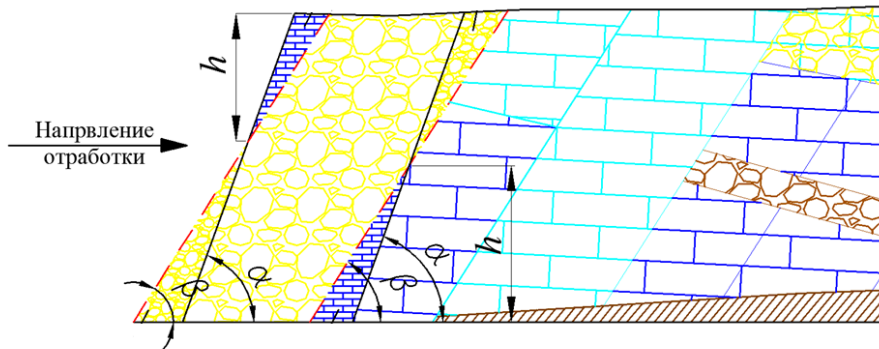
где h – высота «треугольника» теряемого известняка, м;

β – угол падения залежи, град;

α – угол откоса рабочего уступа, град;

L_k – длина всех погашаемых контактов известняка с засоряющими породами в границах обрабатываемого участка (блока), м;

δ – угол, который при $\beta > \alpha$ равен $(\beta - \alpha)$, при $\alpha > \beta$ равен $(\alpha - \beta)$ и при несогласном падении контакта рудного тела с линией откоса уступа – $(\beta + \alpha)$, град.



— — контур выемки;

- - - - контур тела полезного ископаемого (известняка)

Рис. 2. Схема к расчету потерь известняка при разработке приконтактных зон с четкими плоскими контактами

С учетом вышеизложенного выражение для определения потерь известняка при отработке участков с засоряющими породами $\Pi_{зп}$ будет иметь следующий вид, т:

$$\Pi_{зп} = \left(1 - \frac{Q_\Gamma}{100}\right) \left(\frac{K_\Gamma}{100} k_\Gamma\right) \left[\left(V_\Gamma - V_\Gamma \frac{K_\Sigma}{100} k_\Sigma\right) \gamma_{и}\right] + Q_\Pi = B_B \gamma_{и} \left[\left(1 - \frac{Q_\Gamma}{100}\right) \left(\frac{K_\Gamma}{100} k_\Gamma\right) + \left(\frac{K_{мл}}{100}\right)\right]. \quad (9)$$

Необходимо также учитывать потери, образующиеся в процессе производства БВР и при транспортных работах:

$$\Pi_{то} = \left(\frac{0,25B_B}{100} + \frac{0,3B_B}{100}\right) \gamma_{и}, \quad (10)$$

где 0,25 и 0,3 – потери, возникающие, соответственно, при производстве БВР и транспортировании известняка (приняты по рекомендациям «Общесоюзных норм технологического проектирования предприятий нерудных строительных материалов»), %.

Потери известняка при зачистке кровли от покрывающих пород в границах обрабатываемого участка (блока) определяются по формуле:

$$\Pi_{зк} = \left[L_B \left(m_{рт} - \left(\frac{Q_\Gamma}{100} \sum_{i=1}^n m_{B_i} \right) \right) \right] h_{ст} \gamma_{и} = S_B h_{ст} \gamma_{и} \quad (11)$$

где $h_{ст}$ – средняя высота слоя теряемого известняка (зависит от типа, модели применяемого при зачистке механизма), м;

L_B – средняя ширина зачищаемого тела полезного ископаемого в границах обрабатываемого участка (блока), м;

$m_{рт}$ – средняя мощность зачищаемого тела полезного ископаемого (известняка) в границах обрабатываемого участка (блока), м;

m_{B_i} – мощность i -го включения засоряющих пород (зон ПВСГ) в границах обрабатываемого участка (блока), попадающего в срезаемый слой $h_{ст}$, м;

n – число засоряющих включений, ед.;

Q_Γ – количество глины в границах зоны ПВСГ, %;

S_B – площадь зачистки, м².

Схема к определению исходных данных для расчета потерь известняка при зачистке кровли полезной толщи в границах взрывного блока (участка) представлена на рис. 3.

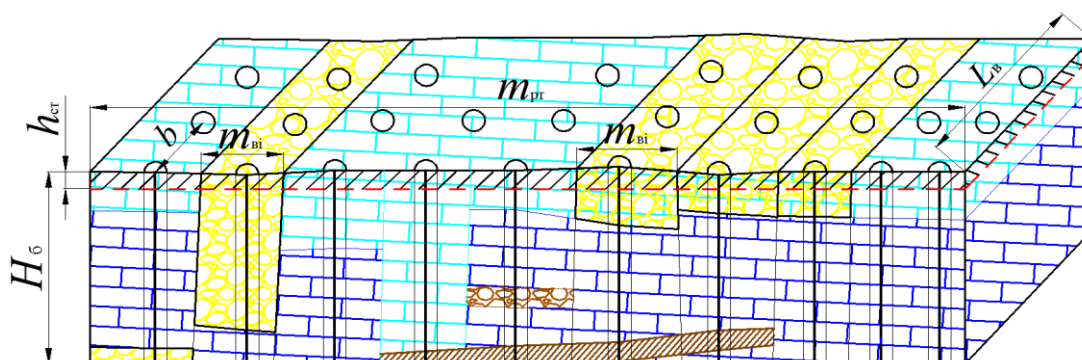


Рис. 3. Схема к определению параметров залегания геологических тел в границах взрывного блока

Коэффициент потерь ПИ обрабатываемого участка:

$$K_{\text{П}} = \left[\frac{\Pi_{\text{об}}}{B_{\text{в}} \gamma_{\text{и}}} \right] 100, \tag{12}$$

где $\Pi_{\text{об}}$ – суммарные потери известняка по выемочной единице, т;

$B_{\text{в}}$ – балансовые запасы в границах выемочной единицы, т;

$\gamma_{\text{и}}$ – среднее значение объемного веса известняка, т/м³.

Полученные таким образом расчетные показатели могут быть использованы при составлении сводных балансовых отчетных материалов по учету количественных и качественных потерь добываемого известняка на Чаньвинском карьере.

Расчет потерь известняка производится за определенный период времени для каждого подготовленного к обработке за период блока (I квартал 2021 г. в примере на рис. 4). Расчет производится по разработанному алгоритму (1) – (12).

Результаты расчета потерь за I кв. 2021 г. представлены в табл. 1, на рис. 4.

Таблица 1

Расчетные потери известняка по взрывным блокам на Чаньвинском карьере за I квартал 2021 г.

№ п.п	№ блока	Потери, тыс. т	Коэффициент потерь, $K_{\text{П}}$	Объем продуктивной толщи в границах блока, тыс. т	Объем засоряющих пород (ПВСГ+глина) в блоке, тыс. т
1	1644-1647	12,81	14,7	91,4	4,19
2	1672	27,28	53,9	60,6	10,53
3	1698	1,83	9,1	20,3	0,33
4	1704	22,86	22,3	105,5	3,28
5	1705	16,02	55,9	30,5	1,98
6	1709	7,12	24,6	29,1	0,37
7	1710	3,64	8,0	45,7	0,36
8	1711	8,43	20,8	40,6	0,33
9	1715	5,12	22,9	22,9	0,45
10	1717	8,32	32,0	26,2	0,14
11	1718	1,75	9,4	19,1	0,38
12	1721	2,98	11,5	26,7	0,65
По серии блоков		118,16	23,8	518,5	22,99

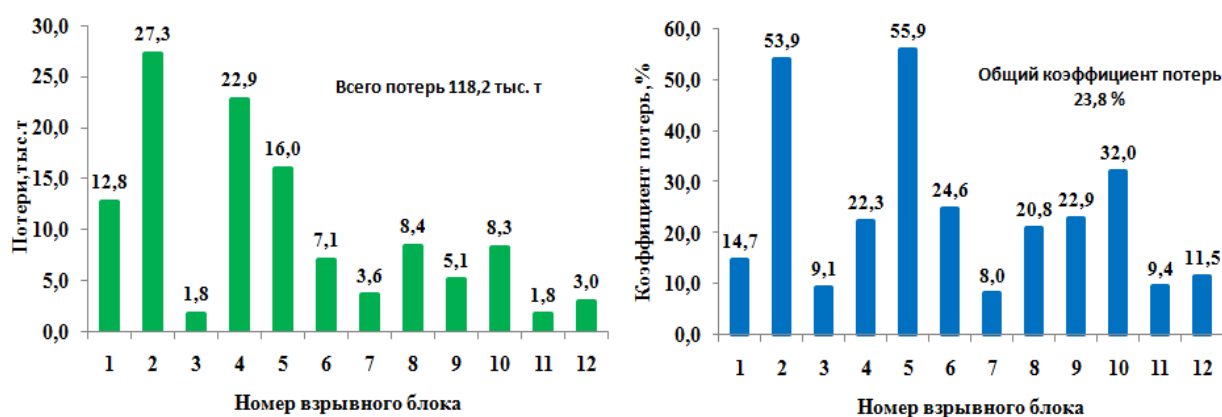


Рис. 4. Гистограмма изменения объемов потерь и коэффициента потерь известняка по взрывным блокам:
номера взрывных блоков: 1 – № блока 1644 – 1647; 2 – 1672; 3 – 1698; 4 – 1704; 5 – 1705; 6 – 1709; 7 – 1710; 8 – 1711; 9 – 1715; 10 – 1717; 11 – 1718; 12 – 1721

Выводы

Для сложноструктурных месторождений со сложными горно-геологическими условиями разработки и повышенным засорением массива ПИ сопутствующими породами в виде пропластков и карстовых зон, отличающихся небольшой глубиной отработки и объемом добычи ПИ, является прямой метод расчетов потерь.

Прямой метод, основанный на непосредственных измерениях в натуре или по маркшейдерским планам и разрезам установленных контуров потерянного ПИ при отработке зон с нечеткими контактами ПИ и засоряющих пород, является наиболее эффективным, но в большинстве случаев труднореализуемым.

Одним из современных методов оперативного и эффективного изучения участков месторождения с закарстованными зонами является геофизическое картирование (электрометрия и др.) массива ПИ, предназначенного к отработке, в комплексе с геоинформационными технологиями (ГИС). Этот метод позволяет своевременно обнаружить участки с повышенным засорением и предварительно оценить площадь и длину контактов «ПИ-глина (карст), ПВСГ» для учета потерь и планирования горных работ. Координаты и объемно-качественные характеристики обнаруженных засоренных участков заносятся в компьютерную базу данных соответствующих программных комплексов ГИС (Suprac и др.), с помощью которых моделируются зоны ПВСГ месторождения. На основе полученных моделей строятся планы и геологические разрезы обрабатываемого участка с контактами между зонами чистого и закарстованного ПИ (зоны ПВСГ), далее по предложенной методике производится оценка потерь ПИ.

Для повышения достоверности контроля и анализа потерь на предприятии необходимо вести систематический учет фактических исходных данных, накапливать статистическую информацию об объемах потерь и разубоживания ПИ, длине контактов «ПИ-глина (карст), ПВСГ», что позволит определить (и постоянно уточнять) погрешность вычислений (измерений) для каждой выемочной единицы и более точно планировать потери ПИ [9 – 16].

Представленные в статье методологические положения по оценке сверхнормативных потерь полезного ископаемого при открытой разработке месторождений со сложными горно-геологическими условиями позволяют объективно оценить и спрогнозировать уровень потерь при отработке сложных забоев. Методические положения реализованы в проекте АО Институт «УРАЛГИПРОРУДА» по отработке Костанокского

участка Чаньвинского месторождения известняков при оценке потерь известняка на верхних горизонтах карьера.

Совершенствование методов оценки фактических потерь ПИ при разработке сложноструктурных месторождений способствует повышению достоверности расчетных проектных потерь и большей объективности при списании балансовых запасов.

Список литературы

1. Федотова Н.В., Щербакова Л.М., 2010. Изучение практики нормирования потерь и разубоживания. *Вестник Иркутского государственного технического университета*, № 6 (46), С. 95 – 98.
2. Голик В.И., Камашенко В.И., Страданченко С.Г., 2011. Влияние потерь и разубоживания на показатели эксплуатации месторождения. *Маркшейдерия и недропользование*, № 5 (55), С. 17 – 20.
3. Мечиков О.С., 2011. Управление потерями и разубоживанием в сложноструктурных приконтактных зонах рудных залежей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 9, С. 52 – 57.
4. Шеховцов В.С., Шеховцова В.О., 2012. Методика расчета проектных потерь и разубоживания руды при отработке слепых залежей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 9, С. 329 – 332.
5. Фомин С.И., Кава П.Б., Маринин М.А., 2014. Анализ горно-геологических условий карьера и формирование выемочной единицы при определении нормативных потерь и разубоживания руды. *Записки Горного института*, Т. 207, С. 74 – 77.
6. Фомин С.И., Чан Динь Бао, 2016. Оптимизация потерь и разубоживания руды при открытой разработке сложноструктурных карбонатных месторождений. *Маркшейдерия и недропользование*, № 2 (82), С. 58 – 60.
7. Лапшин Н.С., 2016. Пути снижения потерь и разубоживания руды при открытой разработке рудных тел. *Новая наука: Стратегии и векторы развития*, № 6 – 1 (88), С. 31 – 34.
8. Кушнарев П.И., 2017. Скрытые потери и разубоживание. *Золото и технологии*, № 3 (37), С. 82 – 87.
9. Курчин Г.С., Ананенко К.Е., Прокопьев И.В., Кирсанов А.Н., 2017. Методические основы нормирования потерь и разубоживания при добыче с учетом влияния на технологические показатели при обогащении. *Маркшейдерия и недропользование*, № 6 (92), С. 55 – 59.
10. Баракаева И.Д., 2011. *Совершенствование методов оценки разубоживания руд*: дис. ... канд. техн. наук. Якутск: Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, 160 с.
11. Кава П.Б., 2013. *Обоснование оптимальных потерь полезных ископаемых в контактных зонах рудных тел при проектировании открытой разработки сложноструктурных месторождений*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Национальный минерально-сырьевой ун-т «Горный», 20 с.
12. Nyongdoo J., 2015. Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neurofuzzy system. *Journal Applied Soft Computing archive*, Vol. 32, Iss. C, pp. 1 – 12.
13. Frank U., 2014. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*, Vol. 13, N 3, pp. 941 - 962.
14. Matthews T., 2015. Impoverishment and ore loss projections: Strategies and considerations. SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference. *Mining: Navigating the Global Waters*: Denver., United States., pp. 529 – 532.
15. Oy Leuangthong K., Daniel Khan, Clayton V., 2008. *Deutsch Solved Problems in Geostatistics.*, Wiley, 208 p.

16. Shatov A.A., Dryamina M.A., Badertdinov R.N., 2004. Potential Utilizations of Soda Production Wastes. *Chemistry for Sustainable Development*, № 12, p. 565 – 571.

References

1. Fedotova N.V., Shcherbakova L.M., 2010. Izuchenie praktiki normirovaniya poter' i razubozhivaniya [Study of the practice of losses and dilution rationing]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, № 6 (46), P. 95 – 98.
2. Golik V.I., Kamashchenko V.I., Stradanchenko S.G., 2011. Vliyanie poter' i razubozhivaniya na pokazateli ekspluatatsii mestorozhdeniya [Impact of losses and depletion on the performance of the field]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 5 (55), P. 17 – 20.
3. Mechikov O.S., 2011. Upravlenie poteryami i razubozhivaniem v slozhnostrukturnykh prikontaknykh zonakh rudnykh zalezhei [Management of losses and dilution in complex structural contact zones of ore deposits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 9, P. 52 – 57.
4. Shekhovtsov V.S., Shekhovtsova V.O., 2012. Metodika rascheta proektnykh poter' i razubozhivaniya rudy pri otrabotke slepykh zalezhei [Method of calculation of design losses and ore dilution at mining of blind deposits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 9, P. 329 – 332.
5. Fomin S.I., Kava P.B., Marinin M.A., 2014. Analiz gorno-geologicheskikh uslovii kar'era i formirovanie vyemochnoi edinitsy pri opredelenii normativnykh poter' i razubozhivaniya rudy [Analysis of mining and geological conditions of the quarry and the formation of the dredging unit in determining the normative losses and dilution of ore]. *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 207, P. 74 – 77.
6. Fomin S.I., Chan Din' Bao, 2016. Optimizatsiya poter' i razubozhivaniya rudy pri otkrytoi razrabotke slozhnostrukturnykh karbonatnykh mestorozhdenii [Optimization of ore loss and dilution in open-pit development of complex carbonate deposits]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 2 (82), P. 58 – 60.
7. Lapshin N.S., 2016. Puti snizheniya poter' i razubozhivaniya rudy pri otkrytoi razrabotke rudnykh tel [Ways of reducing losses and dilution of ore in open development of ore bodies]. *Novaya nauka: Strategii i vektory razvitiya*, № 6 – 1 (88), P. 31 – 34.
8. Kushnarev P.I., 2017. Skrytye poteri i razubozhivanie [Hidden losses and dilution]. *Zoloto i tekhnologii*, № 3 (37), P. 82 – 87.
9. Kurchin G.S., Ananenko K.E., Prokop'ev I.V., Kirsanov A.N., 2017. Metodicheskie osnovy normirovaniya poter' i razubozhivaniya pri dobyche s uchetom vliyaniya na tekhnologicheskie pokazateli pri obogashchenii [Methodical bases of rationing of losses and dilution at mining production considering influence on technical and logical indicators at enrichment]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 6 (92), P. 55 – 59.
10. Barakaeva I.D., 2011. Sovershenstvovanie metodov otsenki razubozhivaniya rud rуд [Improvement of methods of ore dilution estimation]: dis. ... kand. tekhn. nauk. Yakutsk: Institut gornogo dela Severa im. N.V. Cherskogo SO RAN, 160 p.
11. Kava P.B., 2013. Obosnovanie optimal'nykh poter' poleznykh iskopaemykh v kontaknykh zonakh rudnykh tel pri proektirovanii otkrytoi razrabotki slozhnostrukturnykh mestorozhdenii [Substantiation of optimal losses of minerals in the contact zones of ore bodies in the design of open-pit development of complex deposits]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb.: Natsional'nyi mineral'no-syr'evoi un-t "Gornyi", 20 p.
12. Hyongdoo J., 2015. Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neurofuzzy system. *Journal Applied Soft Computing archive*, Vol. 32, Iss. C, pp. 1 – 12.
13. Frank U., 2014. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*, Vol. 13, N 3, pp. 941 - 962.

14. Matthews T., 2015. Impoverishment and ore loss projections: Strategies and considerations. SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference. *Mining: Navigating the Global Waters*: Denver., United States., pp. 529 – 532.

15. Oy Leuangthong K., Daniel Khan, Clayton V., 2008. *Deutsch Solved Problems in Geostatistics.*, Wiley, 208 p.

16. Shatov A.A., Dryamina M.A., Badertdinov R.N., 2004. Potential Utilizations of Soda Production Wastes. *Chemistry for Sustainable Development*, № 12, p. 565 – 571.