

## МЕТОД ГЕОМЕТРИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЗАСОРЯЮЩИХ ПОРОД В МАССИВЕ ИЗВЕСТНЯКА НА ОСНОВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. В. Тимохин

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,  
Екатеринбург, Россия

**Аннотация:** Объект исследований – массив Чаньвинского месторождения известняка, распределение засоряющих пород в естественном залегании, вещественный состав горной массы, отгружаемой на обогатительную фабрику содового производства, грохотильный комплекс предварительного обогащения и внешние отвалы. В работе использовались карты и разрезы слоев и параметров глинистого засорения, моделирование состава развалов взорванной горной массы. Применялись методы электрометрии для площадных локальных обмеров на глубину блоков, крупных съемок на трёх горизонтах в формате постоянного комбинирования с вертикальными зондированиями. В моделях развалов использовались измеренные упругопластические свойства массива, расчеты по методу треугольников. Выявлены: типичность строения комплексов «известняк-глина» как явных форм нахождения и происхождения засоряющих субстанций в силу фациально-тектонического генезиса; геолого-структурные параметры развалов взорванной массы известняка. Предложена методика геофизического исследования для реализации высокоточной сортовой оценки массива минерального сырья для открытой геотехнологии. Обоснованы пути корректировки входных и расчетных параметров для учета изменений геологической обстановки, возможных при углублении горных работ и освоении флангов месторождения. В статье разработана методика нормирования потерь и разубоживания, алгоритмы получения сортовой информации и оптимизации извлечения сырья для условий текущей добычи и перспективного освоения запасов Костанокского участка Чаньвинского месторождения известняка.

**Ключевые слова:** месторождение известняка, производство соды, электрометрия, измерения структур засоряющей глинизации, модели развалов, сортовое планирование, энерго-ресурсосбережение, геотехнология.

**Благодарность:** Статья подготовлена по материалам НИР, выполняемой по программе ФНИ государственных академий наук Тема 1 – Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложно-структурных месторождений полезных ископаемых. (№ 0405–2019–0005).

**Для цитирования:** Тимохин А. В. Метод геометризации параметров засоряющих пород в массиве известняка на основе геофизических исследований // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – С. 162–176. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_162.

---

## Geometrization of clay impurity areas in limestone rock mass based on geophysical research

A. V. Timokhin

Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

---

**Abstract:** The subject of the research is enclosing rock mass of Chanva limestone deposit, in-situ distribution of impurity rocks, as well as material constitution of rocks shipped to alkali works, pre-sieving plant and external dumps. The study used maps and sections of layers and parameters of clay impurity areas, and modeling of composition of broken rocks disintegrated by blasting. The electrometry methods were used for local areal measurements depthward rock blocks, large-scale surveys on 3 horizons in combination with vertical sounding. The models of rock piles disintegrated by blasting used the measured elastoplastic properties of rock mass and the calculations resultant from solutions of triangles. The obtained results include: the typical structure of limestone–clay systems as explicit forms of the origin and occurrence of impurity substances due to the facies-tectonic genesis; the geological and structural parameters of broken limestone piles after blasting. A geophysical research procedure is proposed for the implementation of high-precision discrimination of rock mass to be developed using the open geotechnology. The ways of adjusting the input and calculated parameters to take into account the changes in geological situation with increasing depth of mining and during extraction of mineral reserves from peripheral areas of the deposit are justified. The article presents the developed method for loss and dilution standardization, as well as the algorithms for obtaining information on mineral grades and for optimizing mining operations under current conditions and in the long term of Kostanok site operation in Chanva limestone field.

**Key words:** limestone deposit, alkali works, electrometry, impurity argillization structure measurements, models of broken rock disintegration by blasting, mineral grade planning, energy and resource saving, geotechnology.

**Acknowledgements:** The article is based on the R&D project implemented within the framework of the Basic Research Program of the Governmental Academies of Sciences, Topic 1: Methods to Take into Account Transient Processes in Mining Deep-Seated Mineral Deposits of Complex Structure, No. 0405-2019-0005.

**For citation:** Timokhin A. V. Geometrization of clay impurity areas in limestone rock mass based on geophysical research. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–1):162–176. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_162.

---

### Введение

При освоении и доработке запасов Уральских месторождений нерудного сырья нагорного типа наблюдается осложнение горно-геологических условий, в т. ч. вовлечение в отработку глубоких горизонтов и неоднородных массивов в истощенных флангах главных залежей, рост объемов добычи, сопровождающийся ухудшением качества сырья. При этом актуальной является задача модернизации всех аспектов

недропользования, включая инновации в подходах и методах оценки сырья для своевременного реагирования на ухудшение условий эксплуатации месторождений. Одним из направлений является совершенствование принципов изучения сырья для его сортового разделения по качественным показателям с позиций оптимизации методов управления качеством, нормирования потерь и разубоживания, повышения извлечения, коррекции горного пла-

нирования и вариантов переработки [1–4].

В статье представлена методика изучения засоренных массивов минерального сырья на примере Костанокского участка Чаньвинского месторождения известняка (Пермский край). Месторождение в настоящее время является единственной сырьевой базой Березниковского содового завода (АО «БСЗ»). Осложняющими факторами разработки месторождения являются наличие значительных участков закарстованных известняков с засорением в зонах повышенного и высокого содержания глин (ПВСГ) [5]. В статье анализируются результаты изучения горного массива методами электрометрии (прототип оксид-метрического подхода петрофизики [6, 7] и модели структуры развалов взорванного сырья в зависимости от типичности геологического строения массива.

Цель работ — геометризация ресурсов засоренного и чистого известняка ( $\text{CaCO}_3$ ) крупных блоков. Предложено 2 этапа исследований: 1-й этап включает анализ литологии всего массива и локальных разрезов «известняк — глина», выявление параметров строения массива и углов откоса рабочих уступов карьера; 2-й этап заключается в установлении параметров строения массива с учетом засорения и моделировании его состава в развалах в результате отбойки БВР. Построение планов и разрезов массива для решения задач селективной выемки засоренного и чистого известняка.

### **Описание геолого-структурных особенностей массива при сортовой оценке**

Массив Чаньвинского месторождения неравномерно загрязнен, подвержен глинизации на отдельных участках в крайне высокой степени. Глинизация

массива трактуется на предприятии в карстологической версии. В то же время, интерпретация геологических форм нахождения, локализации и происхождения засоряющих субстанций вскрывает признаки их предпочтительной связи с течением процессов фашиально-тектонического генезиса, в противоположность версиям гальванического (вследствие растворов) переноса вещества [8–11].

Установлено, что комплексы глин развиты по трещинным, эндогенным плоскостям. Слои генерального напластования залегают под углом к горизонту  $26,5^\circ$  падением на восток. Короткая тыльная грань, свойственная идеальному кристаллу  $\text{CaCO}_3$  («скошенный» параллелепипед), наклонена на запад под  $53^\circ$ , как и развитые по ослаблению системы трещин. Зоны ПВСГ представляют заполнитель между крупными, глыбовыми и малыми, плитчатыми формами известняка (рис. 1).

### **Метки дешифрирования: «\» — угол падения $53^\circ$ на Запад комплексов ПВСГ**

Требования предприятия к химической чистоте сырья [3, 5, 9, 12]: кондиционный известняк 95 %  $\text{CaCO}_3$ . Породы вскрыши и горная масса со степенью глинизации более 25 % вывозятся в отвал. Технология обогащения фабрики допускает примеси в исходном сырье до 5 %. Предусмотрено предобогащение сырья с засорением до 25 %, которое производится до нормы на грохоте комплекса очистки известняка (КОИ). КОИ размещен между карьером и внешним отвалом на открытой площадке.

Результаты изучения месторождения и методический анализ оценочной системы

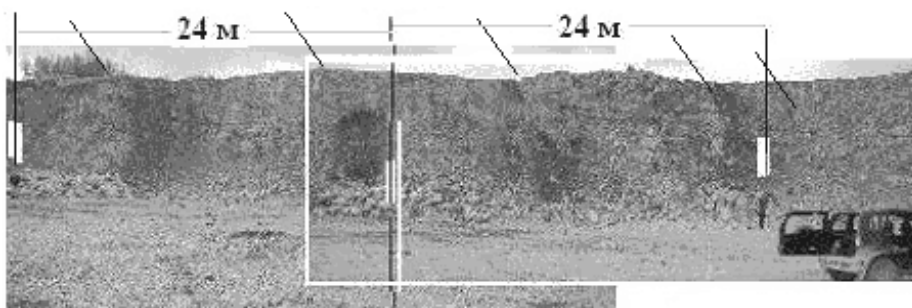


Рис. 1. Панорамная фотография обнажений уступа карьера с зонами ПВСГ. Место замеров: почва гор. +235 м; Южный борт карьера – уступ гор. +245 м  
 Fig. 1. Panoramic photograph of exposed pitwall with medium-to-high clay content zones (МНСС). Measurement sites: floor of Level –235 m; Southern pitwall – bench on Level +245 m. Decoding mark «\» stands for westward dip angle of 53° of МНСС zones

В результате изучения массива методами электрометрии установлена общая структура участка месторождения и литологическая обстановка известково-глинистого и локального, слоевого строения.

В восточном борту карьера («висячий бок» залежи) на высоту 3–4 уступов обнажена темно-цветная «оторочка» внешнего контакта с углистыми породами. Здесь имеются земельные примеси, отмечены доломитизация, ожелезнение и содержание глинозема. Горный отвод к западу занимает осветленный известняк. Куски при отбойке сохраняют форму чистых кристаллов. В ходе специального оценочного опробования и утверждения запасов земельные примеси исключены во всем латерально-глубинном срезе участка [5, 11]. Факторы засорения – глинизация массива и, возможно, примеси  $Al_2O_3$  в минеральном скелете  $CaCO_3$ .

В обмерах массива используется электрометрия. Установлено, что  $20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  – общее сопротивление глин и земельных фаз  $Al_2O_3$  [13]. Уравнение двухкомпонентной смеси принадлежит Овчинникову И. К. [14]:

$$\rho_n = \frac{3\rho_{\text{зап.}}ABC}{3ABC + 2(1 - w_{\text{зап.}})\Delta\rho(AB + AC + BC)}, \quad (1)$$

где  $\rho_n$  – сопротивление смеси;  $\rho_{\text{зап.}}$  – сопротивление заполнителя;  $w_{\text{зап.}}$  – объемное содержание заполнителя;  $\Delta\rho = \rho_{\text{зап.}} - \rho_{\text{вкл.}}$ ,  $\rho_{\text{вкл.}}$  – сопротивление включений;

$$A = abcA(0)w_{\text{зап.}}\Delta\rho + 2\rho_{\text{вкл.}}, \quad B = abcB(0)w_{\text{зап.}}\Delta\rho + 2\rho_{\text{вкл.}}, \quad C = abcC(0)w_{\text{зап.}}\Delta\rho + 2\rho_{\text{вкл.}};$$

$a, b, c$  – полуоси эллипсоида;  $A(0), B(0), C(0)$  – функции эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода и тригонометрических функций.

Частный случай уравнения (1) для смеси с включениями бесконечно большого сопротивления выражает уравнение Семенова А. С. [15]:

$$\rho_n = \frac{(3 - w_{\text{зап.}})\rho_{\text{зап.}}}{2w_{\text{зап.}}}. \quad (2)$$

Изучение геологического разнообразия обеспечил подбор тестовых объектов по внешнему виду обнажений зон ПВСГ в ближайших откосах (см. рис. 1).

В обмерах 22 опытных блоков максимум засорения (70–82 %) зафиксирован на коротких, линейных участках 12–18 м. Максимум засорения в крупнейших

зонах ПВСГ составил 57 %, что установлено в ходе вертикальных электрозондирований ВЭЗ и включено в серию эталонных графиков. В съемках повышенного масштаба недопустим выход сопротивлений за пределы параллельных отрезков графиков ВЭЗ — кон-

трольного диапазона полуразносов 9–25 м, выделенного в условиях участка (рис. 2).

В измерениях на горизонтах +225, +235 и +245 м плана добычи 2016–2018 гг. применялись протяженные профильные линии. Результат интер-

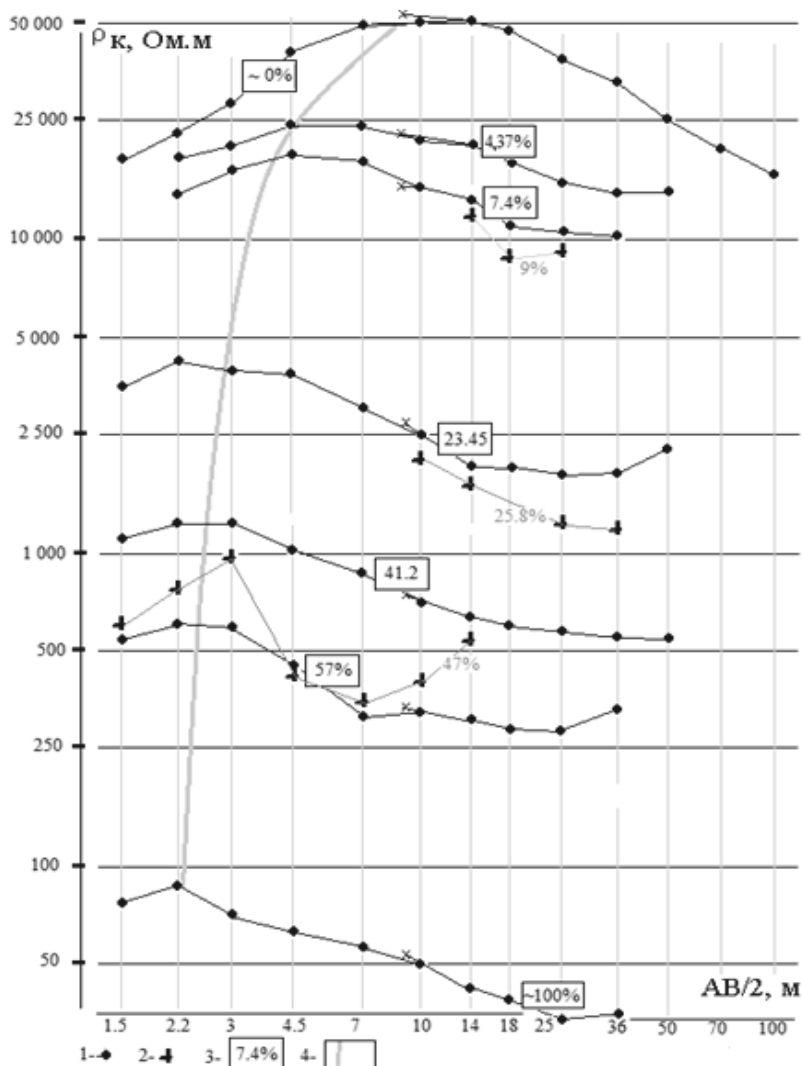


Рис. 2. График сортового ключа сигналов измерений при геометризации:

1 — сопротивления  $\rho_k$  (Ом·м) при однородной глинизации; 2 — на кусочно-однородных блоках; 3 — степень глинизации, %, 4 — линия глубин разрыхления

Fig. 2. Graph of discrimination key to measurement signals in geometrization: 1 — resistance  $\rho_k$  (Ohm·m) in uniform argillization; 2 — piecewise-uniform blocks; 3 — argillization degree, %; 4 — profile of depths of rock mass disintegration by blasting

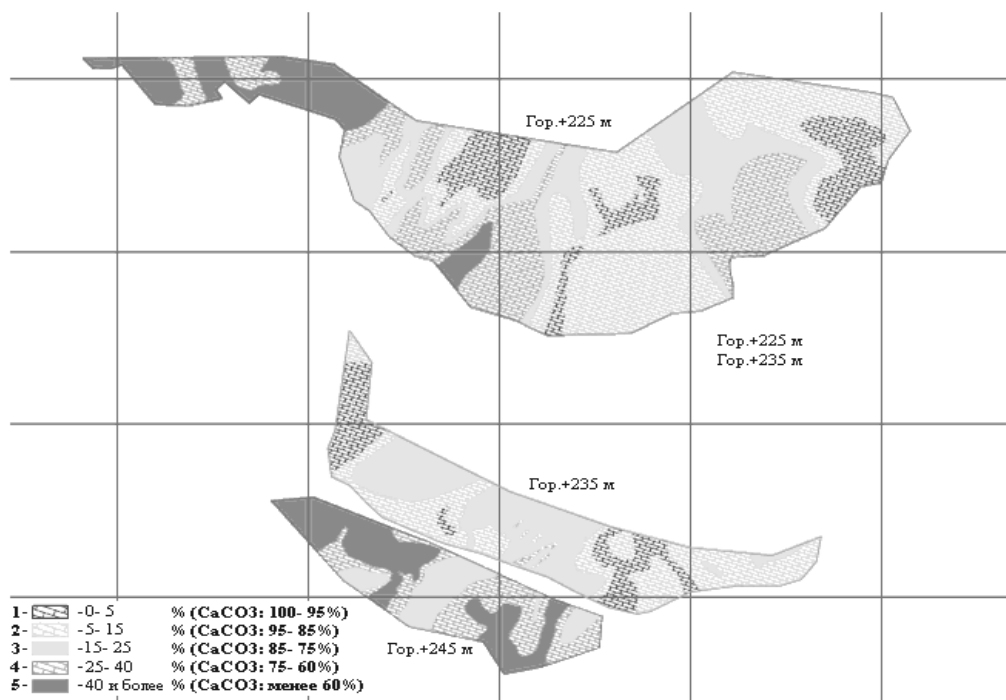


Рис. 3. Геометрический рисунок степени глинизации исследуемых блоков  
Fig. 3. Geometry of argillization degree in test rock blocks

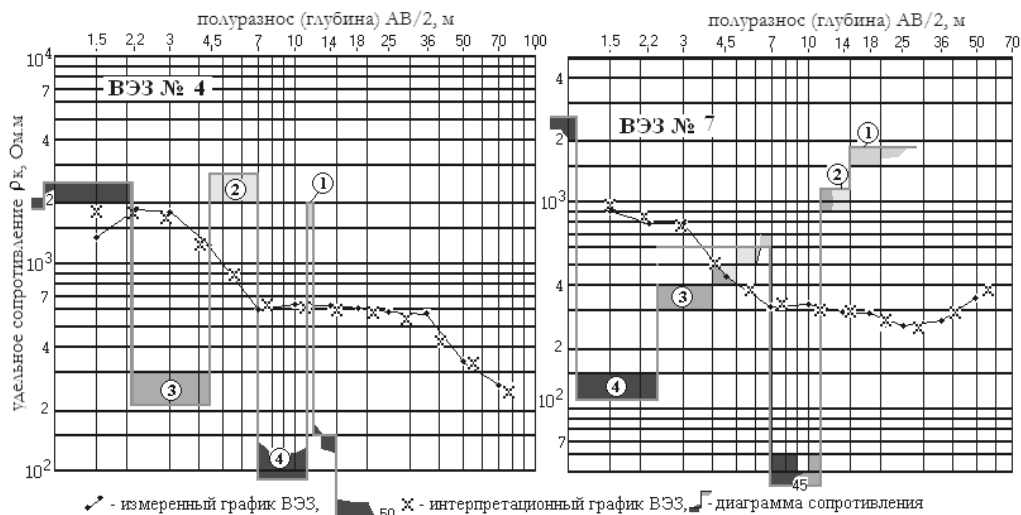


Рис. 4. Примеры литологической интерпретации ВЭЗ (графики № 4 и № 7)  
Fig. 4. Examples of lithological interpretations of vertical electric sounding (graphs Nos. 4 and 7)

претации — карта засорения блоков на площади 190,5 тыс. м<sup>2</sup> с детальностью изолиний 5 % (рис. 3).

Предел в 25 % заглинизованности превышен на площади 61,7 тыс. м<sup>2</sup> (~32,4 % объема), эта горная масса

оценивается в 3,38 млн т. Ее списание в отходы не имеет оснований без данных о локализации глин.

При интерпретации ВЭЗ выделены элементы разрезов — слои 1—4 с постоянной глинизацией 1 %, 20,2 %, 50 и 90 % (рис. 4).

В восстающих срезках к чистому известняку примыкают слои низкого засорения и, далее, с налеганием — высокоглинистые. В секторах с глинизацией  $\Sigma$ К, существенно превышающей

25 %, имеются крупные сортовые части  $\Delta V$  (рис. 5).

Оценочная модель структуры развалов (2-ой этап работы) построена на основе физико-механических свойств горных блоков в связи с выявленной геометрией «разрыхление — монолит» и в связи с гигроскопичностью и плотностью ( $3,107 \text{ т/м}^3$ ) глин.

Представленное на рис. 5 чередование слоев 1 → 2 → 3 → 4 направленно изменяет строение от твердо-моно-

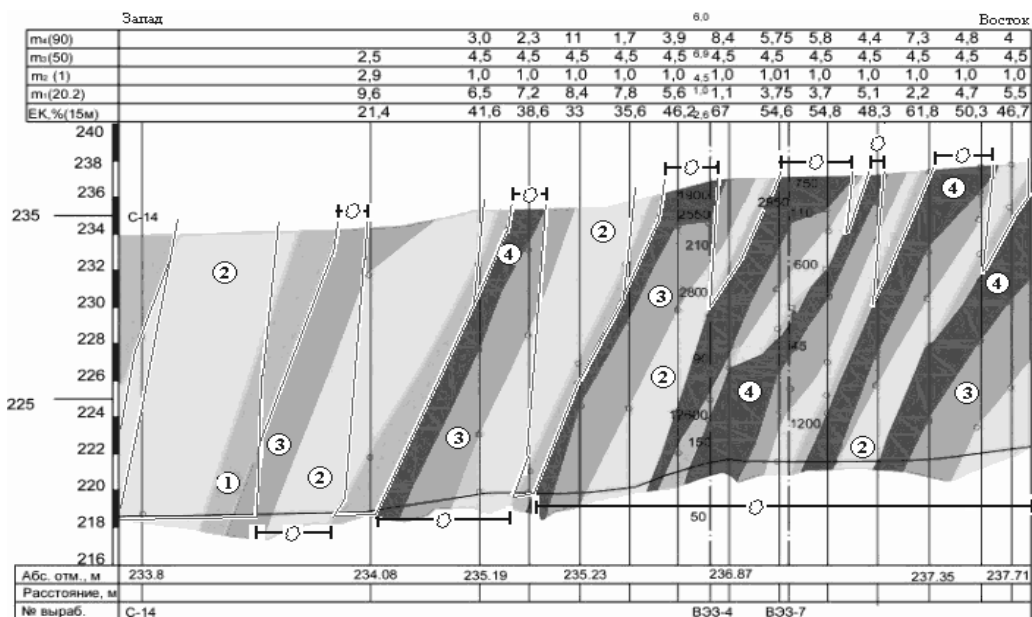


Рис. 5. Разрез опытного блока ПВСГ: V-образные линии разреза — проекции плоскостей рассечения массива при БВР с внутренним сортовом составом; «O» — границы формирования зон ПВСГ

Fig. 5. Cross-section of test MHCC blocks: V-shaped lines — projections of rock mass dissection planes during blasting with inner grade composition; O — boundaries of MHCC zones

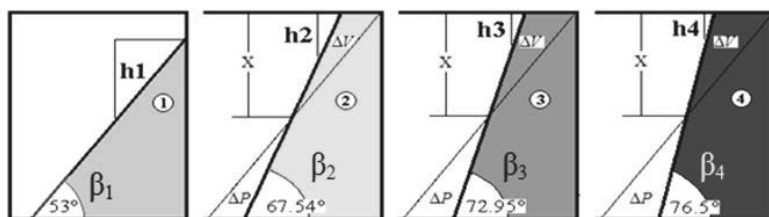


Рис. 6. Схема к вычислению угла откоса рабочего уступа ( $\beta_{1-4}$ ) при разной степени глинизации массива

Fig. 6. Calculation chart of highwall slope  $\beta_{1-4}$  at different rock mass argillization degree

тонной текстуры (упругие свойства) до пластичной, начиная с вкрапленной — бетонизированной глинами. Уплотнение (2,57 → 2,66 → 2,83 → 3,05 т/м<sup>3</sup>), увлажнение и вязкость — причины поглощения энергии взрыва, понижения скоростей сейсмических волн [5, 10, 16]. В результате БВР структура рабочих уступов (высотой до 15 м) претерпевает механические изменения — разрыхление в откосах и по вертикали от кровли на глубину 1,8—5,7 м от поверхности.

Дифференциацию углов рабочих уступов  $\beta_{1-4}$  раскрывает интерпретация первых сопротивлений по графикам ВЭЗ (рис. 2). При этом глубина подошвы разрыхления понижается;  $h_1$  составляет 5,7 м;  $h_2 = 3,1$  м,  $h_3 = 2,3$  м,  $h_4 = 1,8$  м (рис. 6).

При БВР формируются плоскости рассечения массива с внутренним сортовым составом, которые учитываются при расчете объемов разубоживания и потерь известняка по методу треугольников [1, 2, 17]. Особенности геометрии плоскостей рассечения — лежащие контакты относительно откосов рабочих уступов.

Объемы разубоживания  $\Delta P$  и формирования сортов  $\Delta V$  рассчитываются в вертикальной проекции по следующим уравнениям [17]:

$$\Delta P = \frac{(H - X)^2}{2} \cdot (ctg\beta_1 - ctg\beta_{2,3,4}); \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{X^2}{2} \cdot (ctg\beta_1 - ctg\beta_{2,3,4}), \quad (4)$$

где  $H$  — высота блока (15 м);  $X$  — высота треугольника;  $\Delta V$  — проекции массы, отсекаемой от слоя и вмешиваемой в развал;  $\rho_{1,2,3,4}$  — углы рабочих уступов, индексы — номера слоев.

Глинизация в исходном блоке  $\Sigma K(\text{блока, \%})$  определяется как сумма засорения слоев:

$$\Sigma K(\text{блока, \%}) = m_1 \cdot 1 + m_2 \cdot 20,2 + m_3 \cdot 50 + m_4 \cdot 90, \quad (5)$$

где  $m_{1,2,3,4}$  — вертикальные мощности слоев с глинизацией 1, 20,2, 50, 90 %.

Баланс состава по измеренным параметрам представлены в табл. 1.

Литологические модели обрабатываемых блоков участка месторождения с разной степенью глинизации (0,2÷70,67 %) представлены на рис. 7.

В качестве примера расчета рассмотрена модель блока со степенью глинизации 2,306 % (фрагмент 3, рис. 7). Расчетом определено, что высота треугольника  $X = 1,02$  м соответствует максимальной вертикальной мощности слоя № 2 с засоренностью 20,2 %, который после БВР засорит развал известняка, но при этом норма фабрики по засоренности в 5 % не будет превышена.

При засорении в 20,445 % (фрагмент 6, рис. 7) установлено, что  $X = 2,19$  м — максимум мощности слоя № 3 (до 50 % глины), при которой развал формируют отделяемые сортовые части, но не превышены нормы фабрики в 5 % и КОИ 25 % засоренности.

Во фрагментах 7, 8, 9 и 10 (рис. 7) сортовые массы уменьшаются по мере роста степени глинизации исходных блоков (процент глинизации соответственно составляет 34,84; 52,988; 63,225 и 70,67 %). В этих блоках рост площадей разубоживания  $\Delta P$  и глинистых слоев 3 и 4 сопровождается увеличением объема засоренного известняка, предназначенного к вывозу во внешний отвал непосредственно из забоев.

Раздельно формируемые в развале взорванные массы известняка и их глинистость представлены в круговых диаграммах (рис. 8).

Результат анализа данных — связь состава развалов и засорения блоков по степени глинизации ( $M$ ) (рис. 9).



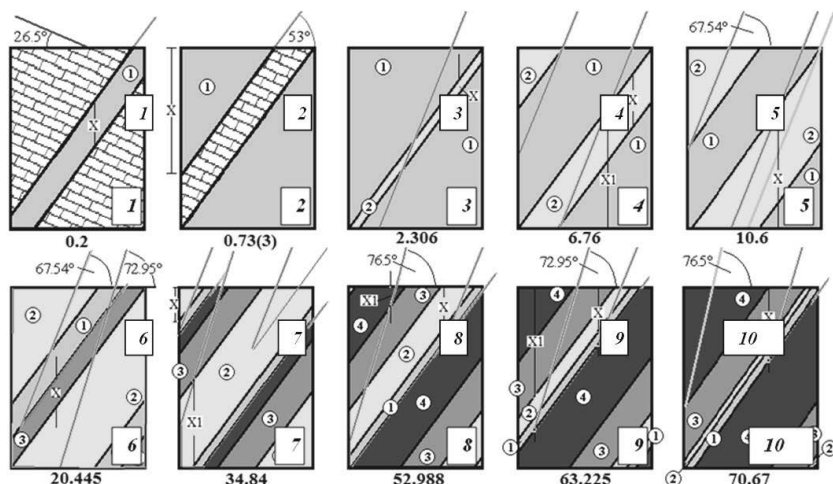


Рис. 7. Литологические модели отработываемых блоков участка месторождения  
 Fig. 7. Lithological models of rock blocks under mining

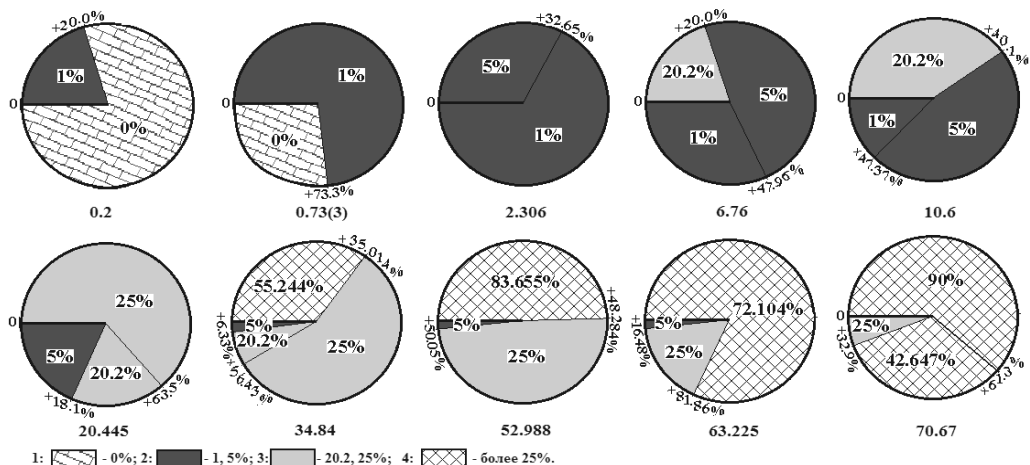


Рис. 8. Диаграммы состава развалов взорванного известняка: 1 – чистый  $\text{CaCO}_3$ ; 2 – 1 и 5 % (нормы фабрики); 3 – 20,2 и 25 % (норма КОИ); 4 – отходы  
 Fig. 8. Diagrams of compositions of limestone disintegrations by blasting: 1 – pure  $\text{CaCO}_3$ ; 2 – 1 and 5 % (factory standards); 3 – 20.2 and 20 % (limestone treatment standards); 4 – waste

Установлено, что в исследуемых блоках месторождения (~ 10,432 млн т) ресурс  $\text{CaCO}_3$  составляет до 79,04 % (при засоренности в 20,96 %).

Оценка детализации и локализации засорения известняка глиной показывает следующее:

– нормируемый объем засоренного известняка составит на исследуемых площадях до 3,38 млн т;

– отходы известняка по детальной оценке прогнозируются в размере до 2,5 млн т;

– реальный потенциал участка горных работ при оптимальном использовании имеющейся геотехнологии и установки предобогащения (КОИ) с учетом прогноза на основе разработанной методики позволит дополнительно селективно извлечь до 1 млн т известняка за 3 года.

При нормировании потерь и разубоживания, планируемых к разработке участков месторождения, рекомендуется применять установленные параметры засоренности и методы их оценки.

### **Обсуждение результатов**

1. Заглинизованность исследуемого массива и сортовые нормы определяют актуальность применения электрометрических измерений с возможностью интерпретации состава оксидов [6, 7, 16]. Интерпретация структуры блоков по сопротивлению в методике производится операторами формул (1) и (2). В первом уравнении глина принимается за включения — геометрию засорения выражают карты изолиний, вычисляемых по измеренным  $\rho_n$  и константе  $\rho_{\text{вкл}}$  (20 Ом·м) параметров  $1 - w_{\text{зап}}$ . Во втором уравнении глина является заполнителем — рассчитывается объем заполнителя  $w_{\text{зап}}$ .

Для изучения неоднородной «отрочки» в блоках восточного борта Чаньвинского карьера предусмотрен подсчет земельных примесей магнезии, MgO (400 Ом·м) и глинозема, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (20 Ом·м) как дополнительных фаз и вложений вслед за материалом глин. Тогда как ожелезнение (субстанции Fe) выразит максимум наложения проводимости (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> = 10<sup>-5</sup> Ом·м).

Изученность свойств земельных соединений, распространенных в карбонатных, нагорных толщах, и подход идентификации, в свою очередь, обеспечивает готовность методики для оценки массивов известняков различного промышленного назначения, оксид-минеральных залежей магнезитов и бокситов, железистых оруденений экзогенного, магнитогорского типа [16, 13].

2. Установленные параметры глинизации  $\Sigma K$  представляют шифр изолиний в картах 3-х горизонтов площади 190,5 тыс. м<sup>2</sup> на рис. 3 и численно равны показателю горизонтальной оси

графика на рис. 9 (логарифмический масштаб). Относительные части масс М, раздельно выходящих в развал, даются по вертикальной оси (линейный масштаб), цифры глинистости — фактор прочтения составов в налагаемых нормах фабрики, грохота КОИ и превышений засорения (отходы).

В реализации оценочной модели развалов по методу треугольников (табл. 1, рис. 8) использован подсчет баланса составов, имеющих во взрываемых блоках в естественном, геологическом залегании. Подход интерпретации по уравнениям (3) и (4) в проекциях формирования сортов  $\Delta V$  (рис. 5, 6, 7) — учет разубоживающих масс, отсекаемых при БВР от глинистых слоев 2, 3, 4 по нижним контактам (общее наклонение 53°) под углами рабочих уступов (67,54°, 72,95°, 76,5°), и вмещаваемых в развал на разбив с меньшим засорением.

### **Роль методики оценки в геотехнологии**

Оценочная методика «обмеры блоков [10, 13] → модель развалов → выбор схем взрывания → интерпретация фотоснимков → прогноз составов → отделение сырья и отходов» предложена для осуществления сортового планирования.

Уступы направлением запад-восток формируются при продольных площадках зарядания БВР. Проекции плоскостей отбойки от оставленных в горизонте целиков направлены по генеральному напластованию. В силу сравнительной результативности селекции при подборе экскаватором горной массы и устойчивости бортов и рабочих уступов выбранные параметры оптимальны. Напротив, отбойка по простиранию ведется с формированием коротких уступов. Геометрия структурных элементов раз-

Таблица 1

Входные и расчетные свойства метода треугольников при расчете глинизации массива известняка

Input and calculated data on limestone rock mass argillization from triangle solutions

Порядковый номер модели блока: засорение, линейные и угловые параметры				Порядковый номер модели блока: засорение, линейные и угловые параметры			
№	степень глинизации, $\Sigma K$ (объемные %)	вертикальные мощности, $X$ , м	углы уступов $\beta_{1-4}$ , °	№	степень глинизации, $\Sigma K$ (объемные %)	вертикальные мощности, $X$ , м	углы уступов $\beta_{1-4}$ , °
1	0,2	$X = 3,755$	$53^\circ$	6	20,445	$X = 2,1906$	72,95, 67,54
2	0,73(3)	$X = 10,247$	$53^\circ$	7	34,84	$X = 3,0756$ $X_1 = 7,4117$	72,95, 67,54
3	2,306	$X = 1,0204$	$67,54^\circ$	8	52,988	$X = 3,0756$ $X_1 = 1,5186$	72,95, 67,54
4	6,76	$X = 4,5$ $X_1 = 9,969$	$67,54^\circ$	9	63,225	$X = 3,0756$ $X_1 = 8,8334$	72,95, 67,54
5	10,6	$X = 9,9186$	$67,54^\circ$	10	70,67	$X = 5,32123$	76,5, 72,95

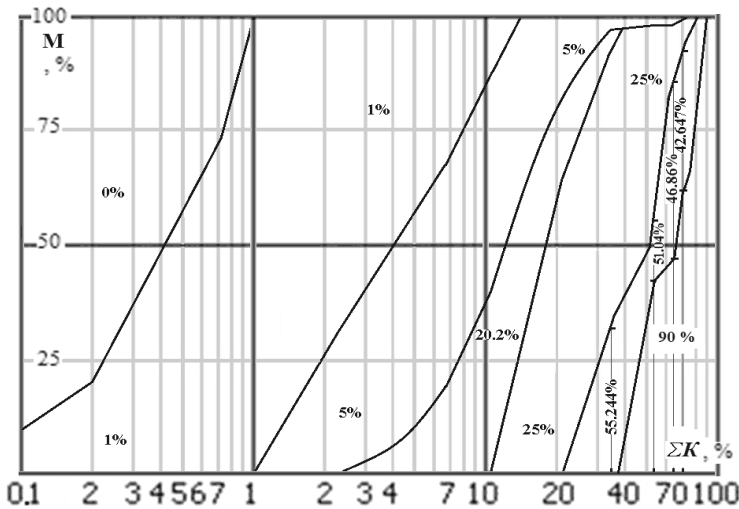


Рис. 9. Номограмма связи глинизации развалов и геоблоков  $M = f(\Sigma K)$ ,  $M$  – степень глинизации и отделяемая часть в развале сырья

Fig. 9. Correlation nomogram of argillization in broken rock disintegration by blasting and in geoblocks,  $M = f(\Sigma K)$  – degree of argillization separated in broken rock disintegration by blasting

резав осложняется тем, что каждый западный откос развала формируется по лежащему боку залежи, а восточный – по висячему (см. рис. 6).

Важный элемент интерпретации геофизических данных – имеющи-

ся на предприятии архивы фотографий развалов структурных зон ПВСГ. На отдельных снимках видно, что известняк сверху перекрыт коричневым, сплошным разбивом глинистых слоев № 3 и 4. Объект разубоживания

$\Delta P$  идентифицируется по наклонениям, измененным от геологических. Эта часть вывозится в отвал — при подборе экскаватором для погрузки в автосамосвал изъять нижнюю сортовую массу без осыпания в нее глины невозможно. Селекционная задача — определить геометрическое расположение ближайших к  $\Delta P$  областей продукции  $\Delta V$  и наметить оптимальные последовательность и направление их раздельной выемки.

Срез массивов в объемном поле электростроения зафиксирован сплошным, суффозии и карста не имеет. Упруго-пластические изменения — повод сортового планирования по основаниям типичности слоевых структур фашиально-тектонического генезиса. В исходных блоках зон ПВСГ проекции разубоживания  $\Delta P$  и выхода сырьевых составов  $\Delta V$  представляют треугольники со смежными острыми углами. Чем больше плоскости отрыва согласны напластованию, тем более вертикальными в срезе развала окажутся взрывааемые откосы, плоскости рассечения и контакты, результативнее селекция при подборке.

Инфографика геологической зональности (рис. 3) и развалов (рис. 9) служит в идентификации кондиционных масс по норме КОИ ( $25 \geq M \geq 5$  %), отделяемых по возможности переработки только в летний и благоприятный период (зима исключена). Рисунки изолиний с шагом 5 % зон ПВСГ — информация к управлению отходами, вывозу на отвал масс максимального засорения ( $65 \div 90$  % глин) и отдельного складирования известково-глинистых пород ( $45 \geq M \geq 25$  %), пригодных для комплексного использования, например, при производстве цемента.

Полученный результат является исходным материалом для планирования горных работ — зональность гли-

низации и ожидаемый вещественный состав развалов позволяют заблаговременно проектировать отработку, обеспечить производительность фабрики и КОИ, участков складирования отходов фабрики и др. [6, 11, 13, 18- 20].

Предложен комплексный подход к геофизическим исследованиям для реализации высокоточной, сортовой оценки массивов минерального сырья при открытой геотехнологии. Установленные параметры обеспечивают решение вопросов энерго-ресурсосбережения, расчета технологического баланса и технико-экономического планирования. Предложенная методика в части выполненных отдельных решений способствует совершенствованию ряда опубликованных прототипов [21 — 23].

Вместе с тем остается нерешенными ряд текущих вопросов, связанных с оценкой засоренности массива на перспективных к отработке участках месторождения, в т. ч.:

- производительность КОИ не соответствует объемам ежегодной добычи;
- раздельное складирование отходов на отвалах может получить информационное основание для оценки возможности повторного использования (техногенное);
- актуальна оценка неоднородных, восточных блоков месторождения для выделения зон ПВСГ;
- задачи селективной выемки засоренного и чистого известняка необходимо формулировать на стадии проектов БВР.

Углубление горных работ и освоение флангов — факторы обнаружения новых, возможных особенностей структуры и строения. Формулы сырьевой оценки содовых продуктов из ископаемого известняка позволяют за счет корректировки входных и расчетных параметров предусмотреть учет изменений геологической обстановки:

- наклонений напластования и плоскостей эндогенных трещин,
- ожидаемых примесей глин и субстанций земельных окислов,
- карстов, включая вероятный литологический тип у восточного борта.

### Выводы

Типичные особенности структурного и литологического строения массивов известняка, слагающих западный и восточный склоны Урала, позволяют вести их разработку при информационной поддержке методов сырьевой оценки, которые включают электрометрические измерения и моделирование состава развалов БВР. Рассмотренные

в статье формулы и прототип оценки позволили предложить методику нормирования потерь и разубоживания, алгоритм получения сортовой информации и оптимизации извлечения в условиях текущей добычи и дальнейшего освоения запасов на Костанокском участке. Пример исследования Чаньвинского месторождения позволяет утверждать об имеющихся перспективах новых форм управления запасами и качеством минерального сырья, имеющих преимущества информатизации по сравнению с традиционными результатами геохимических и петрофизических методов и подходов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапшин Н. С. Пути снижения потерь и разубоживания руды при открытой разработке рудных тел // Новая наука: Стратегии и векторы развития. — 2016. — № 6—1 (88). — С. 31—34.
2. Фомин. С. И., Чан Динб Бао Оптимизация потерь и разубоживания руды при открытой разработке сложноструктурных карбонатных месторождений // Маркшейдерия и недропользование. — 2016. — № 2 (82). — С. 58—60.
3. Kogel J. E. Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses / Jessica Elzea Kogel. — SME papers and articles. — 2006. — ISBN 9780873352338.
4. Курчин Г. С., Ананенко К. Е., Прокопьев И. В., Кирсанов А. Н. Методические основы нормирования потерь и разубоживания при добыче с учетом влияния на технологические показатели при обогащении // Маркшейдерия и недропользование. — 2017. — № 6 (92). — С. 55—59.
5. Кудряшов А. И. Чаньвинское месторождение известняков / Кудряшов А. И., Фомин В. И., Колесников В. П. — Пермь: [Тип. купца Тарасова], 1999. — 82 с.
6. Петрофизическая основа применения электрометрии на карбонатных массивах месторождений бокситов (ОАО «СУБР») и магнезитов (ОАО «Комбинат магнезит») / А. В. Тимохин, Ю. В. Лаптев // Горный информационно-аналитический бюллетень.— 2007. — № 3. — С. 267 — 271.
7. Петрофизика: Справочник. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Н. Б. Дортман. — М.: Недра, 1992. — 361 с.
8. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 322 с.
9. Trewin N. H. Lake-level changes, sedimentation and faunas in a Middle Devonian basin-margin fish bed / N. H. Trewin, R. G. Davidson. — Journal of the Geological Society, 1999. — № 156 (3). — 535—548 p. doi: 10.1144
10. Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges // Software & Systems Modeling, 2014, Vol. 13, N 3, pp. 941—962.
11. Совершенствование методов учета повышенных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. В. Тимохин, А. М. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3—1. — С. 466—477.

12. *Shatov A. A. Potential Utilizations of Soda Production Wastes / A. A. Shatov, M. A. Dryamina, R. N. Badertdinov. — Chemistry for Sustainable Development, 2004. — № 12. — 565 — 571 p.*
13. Геометризация оруденений с применением электротметрии (на примере месторождений огнеупоров и бокситов) / А. В. Тимохин, Ю. В. Лаптев, Р. С. Титов, А. М. Яковлев // Изв. вузов. Горный журнал. — 2012.— №6.— С. 94 — 102.
14. *Овчинников И. К. Теория поля. — М.: Недра, 1978. — 327 с.*
15. *Семенов А. С. Влияние структуры на сопротивление агрегатов // Материалы ВСЕГЕИ, М.: Геофизика, — 1948. — № 12. — С. 43 — 61.*
16. Оценка засоренности массива известняка с использованием методов электро-разведки / В. Д. Кантемиров, А. В. Тимохин, Р. С. Титов // Маркшейдерия и недропользование. — 2018. — № 2. — С. 21 — 31
17. *Байков Б. Н. Снижение потерь и разубоживания руд на карьерах цветной металлургии. — М.: «Недра», 1977. — 296 с.*
18. *Шуй Р. Т. Полупроводниковые рудные минералы. — Л.: Недра, 1979. — 288 с.*
19. *Wright V. P. A revised Classification of Limestones / V. P. Wright. — Sedimentary Geology, 1992. — № 76 (3—4). — 177—185 p.*
20. *Маракушев А. А. Метаморфическая петрология / А. А. Маракушев, А. В. Бобров. — М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2005. — 256 с.*
21. *Matthews T. 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., 2015. — pp. 529—532.*
22. *Oy Leuangthong, K. Daniel Khan, Clayton V. Deutsch Solved Problems in Geostatistics., Wiley, 2008. — 208 p.*
23. *Hyongdoop J. Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neurofuzzy system // Journal Applied Soft Computing archive, 2015, Vol. 32, Iss. C, pp. 1—12. **PLAB***

## REFERENCES

1. Lapshin N. S. Ways to reduce losses and dilution of ore in open-pit mining of ore bodies. *Novaya nauka: Strategii i vektory razvitiya*. 2016. no. 6—1 (88). pp. 31—34. [In Russ]
2. Fomin. S. I., Chan Dinb Bao Optimization of losses and ore dilution in open-pit mining of complex-structured carbonate deposits. *Markshejderiya i nedropol'zovanie*. 2016. no. 2 (82). pp. 58—60. [In Russ]
3. Kogel J. E. *Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses / Jessica Elzea Kogel. SME papers and articles. 2006. ISBN 9780873352338.*
4. Kurchin G. S., Ananenko K. E., Prokop'ev I. V., Kirsanov A. N. Methodological foundations of loss normalization and dilution in mining, taking into account the impact on technological indicators during enrichment. *Markshejderiya i nedropol'zovanie*. 2017. no. 6 (92). pp. 55—59. [In Russ]
5. Kudryashov A. I., Fomin V. I., Kolesnikov V. P. *Chan'vinskoe mestorozhdenie izvestnyakov [Chanvinsky limestone deposit]. Perm': [Tip. kupca Tarasova], 1999. 82 p. [In Russ]*
6. Timohin A. V., Laptev Yu. V. Petrophysical basis for the application of electrometry on carbonate massifs of bauxite (JSC "SUBR") and magnesite deposits (JSC "Kombinat magnezit"). *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2007. no. 3. pp. 267—271. [In Russ]
7. *Petrofizika: Spravochnik. V trekh knigah. Kniga pervaya. Gornye porody i poleznye iskopaemye [Petrophysics: Handbook. In three books. Book one. Rocks and minerals].* Pod red. N. B. Dortman. Moscow: Nedra, 1992. 361 p. [In Russ]
8. Sokolov D. S. *Osnovnye usloviya razvitiya karsta [The main conditions for the development of karst].* Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1962. 322 p. [In Russ]
9. Trewin N. H. Lake-level changes, sedimentation and faunas in a Middle Devonian basin-margin fish bed. N. H. Trewin, R. G. Davidson. *Journal of the Geological Society*, 1999. no. 156 (3). 535—548 p. doi: 10.1144.

10. Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*, 2014, Vol. 13, no. 3, pp. 941–962.
11. Kantemirov V. D., Titov R. S., Timohin A. V., Yakovlev A. M. Improvement of methods for accounting for increased losses and dilution of mineral resources in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3–1. pp. 466–477. [In Russ]
12. Shatov A. A. Potential Utilizations of Soda Production Wastes / A. A. Shatov, M. A. Dryamina, R. N. Badertdinov. *Chemistry for Sustainable Development*, 2004. no. 12. pp. 565–571.
13. Timohin A. V., Laptev Yu. V., Titov R. S., Yakovlev A. M. Geometrization of mineralization using electrometry (on the example of refractory and bauxite deposits). *Izv. vuzov. Gornyj zhurnal.* 2012. no.6. pp. 94–102. [In Russ]
14. Ovchinnikov I. K. *Teoriya polya* [Field theory]. Moscow: Nedra, 1978. 327 p. [In Russ]
15. Semenov A. S. *Vliyanie struktury na soprotivlenie agregatov* [Influence of structure on the resistance of aggregates. proceedings]. Materialy VSEGEI, Moscow: Geofizika, 1948. no. 12. pp. 43–61. [In Russ]
16. Kantemirov V. D., Timohin A. V., Titov R. S. Assessment of contamination of the array of limestone with the use of methods of electrical prospecting. *Markshejderiya i nedropol'zovanie.* 2018. no. 2. pp. 21–31 [In Russ]
17. Bajkov B. N. *Snizhenie poter' i razubozhivaniya rud na kar'erah cvetnoj metallurgii* [Reduction of losses and dilution of ores in the quarries of non-ferrous metallurgy]. Moscow: «Nedra», 1977. 296 p. [In Russ]
18. Shuj R. T. *Poluprovodnikovye rudnye mineraly* [Semiconductor ore minerals]. Leningrad: Nedra, 1979. 288 . [In Russ]
19. Wright V. P. A revised Classification of Limestones. *Sedimentary Geology*, 1992. no. 76 (3–4). pp. 177–185.
20. Marakushev A. A., Bobrov A. V. *Metamorficheskaya petrologiya* [Metamorphic petrology]. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta: Nauka, 2005. 256 p. [In Russ]
21. Matthews T. 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., 2015. pp. 529–532.
22. Oy Leuangthong, K. Daniel Khan, Clayton V. *Deutsch Solved Problems in Geostatistics.*, Wiley, 2008. 208 p.
23. Hyongdoo J. Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neurofuzzy system. *Journal Applied Soft Computing archive*, 2015, Vol. 32, Iss. C, rr. 1–12.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Тимохин Александр Владимирович — научный сотрудник, сектор Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, timohin.igduran.geo@mail.ru;

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Timokhin A. V., research associate, mineral raw material quality Management sector, Institute of mining, Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia, timohin.igduran.geo@mail.ru.

Получена редакцией 15.12.2020; получена после рецензии 05.04.2021; принята к печати 10.04.2021.  
Received by the editors 15.12.2020; received after the review 05.04.2021; accepted for printing 10.04.2021.