УДК 622.271.33
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-8-172-178

Посвящается памяти
профессора Ш.А. Мамбетова

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОЙ БЛОЧНОЙ МОДЕЛИ МЕДНО-ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАНИЦ КАРЬЕРА

Н.В. Федорова, А.А. Абдиев, А.Б. Ороков, У.Т. Казатов, А.Р. Абдиев

Аннотация. Рассматривается одна из важнейших задач при проектировании открытой разработки сложного и структурно неоднородного по своему строению комплексного медно-золоторудного месторождения – обоснование границ карьера. Опыт решения такой задачи основан на создании и применении цифровой трехмерной модели минерализации, концентрации и объема меди и золота, что помогло определить технико-экономическую целесообразность освоения месторождения и обосновать границы карьера в предельных контурах, приводятся данные о критериях и методах оптимизации границ карьера. Результаты исследований позволили оценить коэффициент вскрыши, глубину разработки, углы откосов бортов карьера и отвалов вскрышных пород, бортовое содержание, запасы, производительность карьера, технико-экономические показатели работы горного предприятия.

Ключевые слова: медь; золото; комплексное месторождение; цифровая блочная модель; оптимизация; метод вариантов.

КАРЬЕРДИН ЧЕК АРАЛАРЫН ОПТИМАЛДАШТЫРУУ ҮЧҮН ЖЕЗ-АЛТЫН КЕНИНИН САНАРИПТИК БЛОК МОДЕЛИН КОЛДОНУУ ТАЖРЫЙБАСЫ

Н.В. Федорова, А.А. Абдиев, А.Б. Ороков, У.Т. Казатов, А.Р. Абдиев

Аннотация. Татаал жана түзүмдүк жактан бир тектүү эмес комплекстүү жез-алтын кенин ачык жол менен казып алууну долбоорлоодо эң маанилүү маселелердин бири – карьердин чектерин негиздөө каралат. Мындай маселени чечүү тажрыйбасы жездин жана алтындын минералдашуусунун, концентрациясынын жана көлөмүнүн санариптик үч өлчөмдүү моделин түзүүгө жана колдонууга негизделген, бул кенди өздөштүрүүнүн техникалык-экономикалык максатка ылайыктуулугун аныктоого жана карьердин чектерин чектик контурларда негиздөөгө жардам берди, карьердин чектерин оптималдаштыруунун критерийлери жана методдору жөнүндө маалыматтар келтирилет. Изилдөөлөрдүн натыйжалары ачуу коэффициентин, иштетүүнүн тереңдигин, карьердин капталдарынын жантайыңкы бурчтарын жана ачылган тектердин төгүндүлөрүн, карьердин борттук кармалышын, запастарын, өндүрүмдүүлүгүн, тоо-кен ишканасынын ишинин техникалык-экономикалык көрсөткүчтөрүн баалоого мүмкүндүк берди.

Түйүндүү сөздөр: жез; алтын; комплекстүү кен; санариптик блок модели; оптималдаштыруу; варианттар ыкмасы.

EXPERIENCE OF APPLICATION OF THE DIGITAL BLOCK MODEL OF A COPPER-GOLD ORE DEPOSIT TO OPTIMIZE THE BOUNDARIES OF THE QUARRY

N.V. Fedorova, A.A. Abdiev, A.B. Orokov, U.T. Kazatov, A.R. Abdiev

Abstract. This article is devoted to one of the most important tasks in the design of an open pit mining of a complex and structurally heterogeneous complex copper-gold deposit - justifying the boundaries of a quarry. Experience in solving such a problem is based on the creation and application of a digital three-dimensional model of mineralization, concentration and volume of copper and gold, which helped to determine the technical and economic feasibility of developing a deposit and substantiate the boundaries of a quarry in the limiting contours; data are provided on the criteria and methods for optimizing the boundaries of a quarry. The results of the research made it possible to evaluate

the overburden ratio, the depth of development, the slope angles of the sides of the open pit and overburden dumps, cutoff grade, reserves, open pit productivity, technical and economic indicators of the mining enterprise.

Keywords: copper; gold; complex deposit; digital block model; optimization; option method.

Введение. Месторождение Кумбель, как вольфрамовое, отрабатывалось неглубокими карьерами с 1938 по 1955 г. Проведенные после 1955 г. изучения показали, что перспектив на вольфрам участок Западный не имеет. Геологоразведочные работы на участке Западный, как медно-золоторудном объекте, впервые проводились в 2005–2007 гг. ОсОО «Кумбель Ресурс». ТЭО кондиций и подсчет запасов золота и меди по участку Западный тоже производились впервые и составлены по состоянию на 01.01.2008 г. специалистами ЗАО ГПК «Азиярудпроект». По максимуму потока наличности был выбран вариант карьера глубиной 72 м с бортовым содержанием золота 1,2 г/т. Медь в экономических расчетах не участвовала из-за убыточности ее извлечения [1, 2].

Таким образом, по состоянию на 01.01.2008 г. были апробированы и учтены Госбалансом Кыргызской Республики запасы по категории C_2 в количестве: руда − 260 тыс. т; среднее содержание − 4,95 г/т; запасы золота − 1285 кг. А также в контуре золотого оруденения, были приняты к сведению (из-за убыточности ее извлечения) запасы меди по категории C_2 в количестве 1192 тонн при среднем содержании её в руде 0,46 %.

В 2019 г. при составлении проекта разработки участка Западный, было одновременно повторно проведено и технико-экономическое обоснование, учитывая, что с момента первого апробирования вышеуказанных запасов золота и меди прошло более десяти лет, соответственно изменились цены как на золото и медь, так и стоимость строительства и эксплуатации горного предприятия (в т. ч. стоимость капитальных вложений, эксплуатационных затрат на добычу, затрат на переработку, отчислений и затрат на природоохранные мероприятия, на социальный пакет для местного сообщества и др.). Изменились и условия строительства горного предприятия. По условиям дачи согласия местного сообщества на строительство обогатительной фабрики (ОФ) на территории месторождения не предусматривалось, что повлекло увеличение затрат на: дробильно-шихтовальный комплекс (ДШК), разгрузочно-погрузочные операции, перевозку руды от склада ДШК до сторонних ОФ, увеличение стоимости переработки руды на ОФ сторонней организацией с учетом их накладных расходов. Кроме этого, по результатам проектирования участок Западный был отнесен к IV группе по сложности геологического строения из-за очень сложной и неопределенной формы рудных тел, иногда с неустановленными закономерностями их размещения. Рудные тела в виде мелких линз и гнезд имеют ограниченные мощности – первые метры [1–3].

Материалы и методы исследования. Участок Западный месторождения Кумбель расположен на территории Нарынского района Нарынской области. Расстояние от месторождения до областного центра г. Нарын – 72 км, а до ближайшей железнодорожной станции Балыкчи – 140 км (рисунок 1).

Площадь участка Западный сложена скарнами, песчаниками и известняками, прорванными гранодиоритами Сонкульского интрузива [3–7].

Контакт гранодиоритов с метаморфизованными осадочными породами и скарнами имеет северо-западное простирание. Контакт на поверхности крутой (80°), с глубиной выполаживается: на горизонте штольни № 1–55°.

Гранодиориты непосредственно контактируют со скарнами в центральной части участка, большей же частью между гранодиоритами и скарнами располагается 10-метровый горизонт кварцевых песчаников с прослоями алевролитов и известняков [3, 4].

Скарны имеют мощность до 120 м (у русла р. Кумбель). Выделяются их следующие разновидности: гранатовые, амфиболовые, гранат-амфиболовые и гранат-пироксеновые. Их площадное соотношение (Кулаков и др.) следующее: 44,4 %; 13.9 %; 40 %; 17 %. Ширина скарновой залежи на поверхности оставляет 40–45 м, на горизонте шт. № 1 и ниже ее – 20–24 м.

Рисунок 1 – Карта месторасположения участка Западный месторождения Кумбель

Вторая разновидность скарновых образований – секущие жильные тела, установленные как в гранодиоритах, так и в породах кровли. Жильные скарны приурочены к разрывным нарушениям северо-восточного направления. Их мощность до 2 м, размер по простиранию – до 16 м. В породах кровли жильное скарновое тело имеет мощность 10 м, прослеживается на 50 м севернее основной скарновой залежи (см. на чертеж № 2 – зона разлома северо-восточного простирания № 3). С глубиной мощность жильных скарнов сокращается до первых метров [3, 4].

Гранатовые скарны больше развиты в западной части участка. Преобладающий состав гроссуляр-андрадитовый. Амфиболовые скарны прослеживаются в виде узких прерывистых полос в центральной части скарновой залежи и у контакта с породами кровли. Амфиболовые скарны очень часто переходят в гранат–амфиболовые. Мощность тел 8–11 м. Гранат-амфиболовые скарны в основном развиты в восточной части участка. Мощность тел 4–17 м. Гранат-пироксеновые скарны встречены в восточной части участка в виде тела мощностью 4 м и протяженностью 44 м. Песчанистые известняки северо-восточнее выхода скарнов подверглись значительному контактовому изменению. Они содержат большое количество волластонита, который местами слагает основную массу породы [3, 4].

Рудные тела на участке Западный представляют собой гнезда и линзы. Медно-золотое оруденение в основном локализуется в скарнах, реже в гранодиоритах вблизи контакта массива. Золотое оруденение на участке связано с зонами сульфидной минерализации. Количество сульфидов до 15 %. Преобладают халькопирит, пирротин, пирит, установлены висмутовые минералы, чешуйки золота, реже галенит. Среди жильных минералов преобладают кварц, анкерит и кальцит. По простиранию и падению они не выдержаны. Визуально границы тел различаются не всегда. Мощность тел от десятков сантиметров до нескольких метров (в единичном случае – рудное тело № 2 – до 16,8 м). По простиранию отмечается быстрое выклинивание тел, реже они прослеживаются в виде маломощных жил. Необходимо проводить опережающую эксплуатационную разведку [3, 4].

Учитывая изложенное выше, в проекте разработки участка Западный месторождения Кумбель для технико-экономического обоснования границ карьера в предельных контурах и решения поставленных

задач в качестве основного метода был применен метод вариантов. Основные проектные параметры оптимизации учитывали [3]:

- апробированные и учтенные Государственным балансом запасы участка Западный;
- горно-геологические и горнотехнические условия разработки, технологические и геотехнические параметры, определяющие углы откосов бортов карьера и отвалов;
- производительность карьера по руде и горной массе, производительность дробильно-шихтовального комплекса, производительность переработки руды на ОФ;
- показатели извлечения запасов при добыче и переработке руды;
- экономические показатели: цены на золото и медь, стоимость материалов и ресурсов, капитальные затраты, расходы на добычу и переработку, налоги и отчисления.

Технико-экономические показатели были составлены на расчетную среднюю цену золота за весь период строительства и отработки участка, определенную экспертами АПЭКОН, и обеспечивающую внутреннюю норму рентабельности производства 16,82 % (IRR). Медь в экономических расчетах не участвовала из-за убыточности ее извлечения [3].

Обоснование бортового содержания. На основе определенных проектных параметров для всех выбранных вариантов карьера и бортового содержания были рассчитаны проектные показатели отработки.

Так как в настоящем проекте расчетами технико-экономических показателей на этапе составления не были найдены решения по эффективному извлечению меди как попутного компонента, все расчеты были выполнены только по извлечению золота.

Результаты расчетов суммарного потока наличности по вариантам карьера и бортового содержания приведены в таблице 1 и представлены на рисунке 2. Полученная поверхность на рисунке 2 отражает результаты расчета суммарного потока наличности для рассматриваемых оболочек карьера при различных бортовых содержаниях [3].

Вершина поверхности на графике рисунка 2 является максимумом суммарного потока наличности, а соответствующие ей координаты бортового содержания золота и оболочки карьера являются оптимальными решениями для принятой цены на золото. При изменении цены на золото изменяются координаты вершины и, следовательно, оптимальные параметры бортового содержания золота и границ карьера. Как видно, по максимуму потока наличности оптимальной является оболочка 74,

Таблица 1 – Результаты расчета суммарного потока наличности, по вариантам карьера и бортового содержания золота (тыс. $) [3]

Варианты карьера	Бортовое содержание золота, г/т							
	0,4	**0,6**	**0,8**	**1,0**	**1,2**	**1,4**	**1,6**	**1,8**
Оболочка 41	11223,14	12 149,19	12 699,81	13 090,79	13 351,17	13 462,90	13 461,33	13381,48
Оболочка 46	11818,71	12 774,93	13 337,50	13 741,67	14 010,70	14 127,61	14 124,00	14035,95
Оболочка 50	12421,83	13 409,63	13 995,93	14 412,36	14 684,84	14 804,11	14 802,54	14713,69
Оболочка 53	13240,39	14 297,64	14 946,64	15 417,91	15 712,87	15 842,20	15 838,43	15740,78
Оболочка 56	14269,67	15 449,97	16 203,63	16 735,24	17 054,87	17 191,43	17 188,44	17085,40
Оболочка 60	14765,46	15 969,80	16 736,50	17 273,14	17 594,97	17 734,04	17 730,59	17627,13
Оболочка 65	14971,31	16 183,99	16 967,19	17 516,09	17 843,41	17 983,43	17 979,50	17876,44
Оболочка 69	14722,56	16 062,67	16 925,86	17 522,69	17 873,43	18 026,64	18 020,99	17908,83
Оболочка 74	15408,17	16 789,30	17 682,66	18 300,86	18 658,67	18 812,67	18 805,29	18691,82
Оболочка 78	14744,09	16 275,91	17 267,80	17 988,77	18 394,20	18 563,44	18 558,57	18439,44
Оболочка 82	14786,04	16 329,03	17 341,03	18 077,87	18 487,39	18 657,26	18 652,86	18534,83
Оболочка 86	14571,07	16 178,96	17 310,39	18 111,50	18 526,36	18 697,01	18 693,09	18573,02

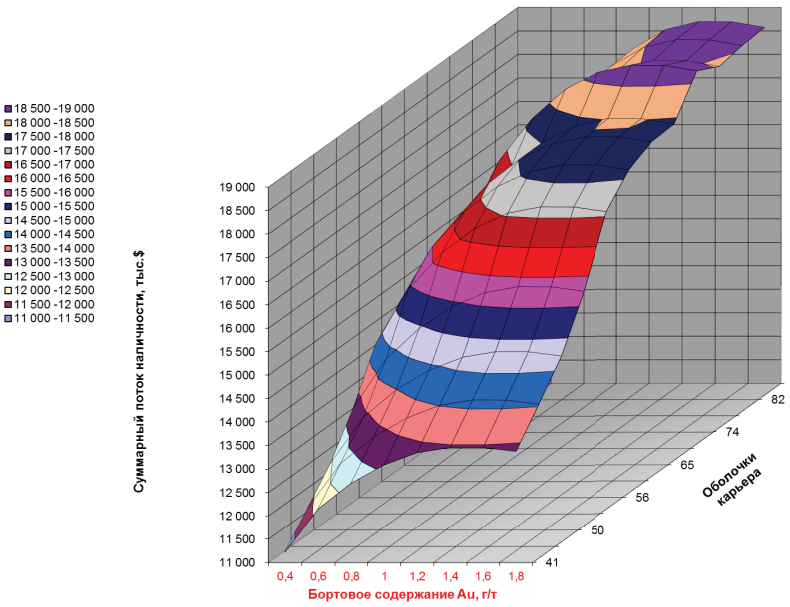

Рисунок 2 – Скрин 3D-модели результатов совместной оптимизации оболочек карьера и бортового содержания [3]

при бортовом содержании золота – 1,2 г/т. Цена на золото находится в постоянном изменении, что влияет на бортовое содержание золота. Поскольку нецелесообразно постоянно менять значения бортового содержания в зависимости от цены на золото. Выбранные параметры бортового содержания должны иметь устойчивые значения в прогнозируемом периоде средней цены на золото на уровне, принятом проектом. С этой целью рассчитана чувствительность бортового содержания к цене на золото в оптимальных границах карьера (оболочка 74). Суммарный поток наличности рассчитан для различных вариантов цены на золото [3–26].

Выводы. В проекте была обоснована общая концепция освоения участка, определены границы открытой отработки, подсчитаны в этих границах балансовые запасы, определены технологии горных работ и переработки руды, обоснованы производственные мощности добычи, усреднения, транспортировки и переработки руды, другие показатели по принятой концепции [7–26].

Согласно разработанной стратегии, добыча руды на участке Западный месторождения Кумбель, расчетная производственная мощность по горнорудной массе составила 600 тыс. т в год, по руде – 75 тыс. т. Коэффициент вскрыши при объемной массе 3,1 т/м^3 составил 6,78 т/т.

Процесс обработки и построения модели начинается с переноса полученных данных обследований и лабораторных испытаний на компьютер. В электронную базу данных были введены: топографический план поверхности; пространственное положение проб, отобранных по канавам, штольням и скважинам; результаты анализов проб на золото и медь.

Поступила: 07.07.23; рецензирована: 21.07.23; принята: 26.07.23.

Литература

1. Отчет о результатах разведочных работ, проведенных на участке Западный месторождения Кумбель с проектом кондиций и подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2008 г. ОсОО «Кумбель Ресурс», ЗАО «Азиярудпроект». Бишкек, 2008.

2. Дополнения к «Отчету о результатах разведочных работ, проведенных на участке Западный месторождения Кумбель с проектом кондиций и подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2008 г. ОсОО «Кумбель Ресурс», ЗАО «Азиярудпроект». Бишкек, 2008.
3. Проект на разработку участка Западный месторождения Кумбель с технико-экономическим обоснованием / Р.Ж. Субанов, А.Р. Абдиев, А.А. Абдиев [и др.] / ОсОО «АТ Минералз». Бишкек, 2019. 250 с.
4. *Абдиев А.Р.* Совершенствование технологии и организации геологического изучения эксплуатируемых сложноструктурных месторождений / А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, А.А. Абдиев // Тенденции развития науки и образования. Самара, 2020. Ч. 8. № 60. С. 57–64.
5. *Мамбетов Ш.А.* Горные работы в условиях Тянь-Шаня: монография / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.Ш. Мамбетов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 282 с.
6. *Мамбетов Ш.А.* Геомеханическое состояние породного массива Тянь-Шаня: монография / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019. 208 с.
7. *Абдиев А.Р.* Оценка геомеханического состояния горных структур Тянь-Шаня для рационального ведения горных и горно-строительных работ / А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, Ш.А. Мамбетов // Горный журнал. 2017. № 4. С. 23–28.
8. *Абдибаитов Ш.А.* Влияние физико-механических свойств и структурных нарушений пород на процесс образования провалов земной поверхности / Ш.А. Абдибаитов, Б.А. Исаев, А.Р. Абдиев // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 8. С. 140–143.
9. *Абдиев А.Р.* Studying a correlation between characteristics of rock and their conditions / А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, А.А. Абдиев, Ш.А. Абдиев // Mining of Mineral Deposits, 14(3), 2020 г. С. 87–100. URL: https://doi.org/10.33271/mining14.03.087.
10. *Абдиев А.Р.* Development of methods assessing the mine workings stability / А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, А.А. Абдиев, Ш.А. Абдиев // E3S Web of Conferences 201, 01040 (2020) Ukrainian School of Mining Engineering – 2020. URL: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101040.
11. *Shustov O.* Substantiation into Parameters of Carbon Fuel Production Technology from Brown Coal / O. Shustov, A. Pavlychenko, A. Bondarenko, O. Bielov, O. Borysovska, A. Abdiev // Materials Science Forum (1045), 2021. С. 90–101. URL: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1045.90.
12. *Matayev A.* Research into technology of fastening the mine workings in the conditions of unstable masses / A. Matayev, A. Abdiev, A. Kydrashov, A. Musin, N. Khvatina, D. Kaumetova // Mining of Mineral Deposits, 15(3), 2021. С. 78–86. URL: https://doi.org/10.33271/mining15.03.078.
13. *Мамбетов Ш.А.* Основы геомеханики: учебник / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2020. 345 с.
14. *Абдиев А.Р.* Геомеханическое обеспечение горных работ в условиях месторождения Кара-Кече: моногр. / А.Р. Абдиев. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 147 с.
15. *Абдиев А.Р.* Структурно-механические особенности породного массива Тянь-Шаня и вопросы прогнозирования состояния породного массива месторождений / А.Р. Абдиев, Ш.А. Мамбетов, К.Д. Изабаев // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 9. С. 191–197.
16. *Мамбетов Ш.А.* Прогнозирование напряженно-деформированного состояния породного массива месторождений Тянь-Шаня / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.Ш. Мамбетов // Вестник КРСУ. 2007. Т. 7. № 1. С. 5–10.
17. *Абдиев А.Р.* Геодезия: учеб. пособие / А.Р. Абдиев. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2017. 232 с.
18. *Абдиев А.Р.* Оценка напряженно-деформированного состояния породного массива буроугольного месторождения Кара-Кече / А.Р. Абдиев // Горн. журнал. 2002. № 10. С. 70–72.
19. *Мамбетов Ш.А.* Проблемы освоения недр Кыргызстана / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.А. Орусбаев // Вестник КРСУ. 2007. Т. 7. № 1. С. 103–105.
20. *Мамбетов Ш.А.* Зональная и поэтапная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива Тянь-Шаня / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев, А.Ш. Мамбетов // Горн. журнал. 2002. № 10. С. 57–62.
21. *Мамбетов Ш.А.* Геомеханическое состояние породных массивов высокогорных месторождений / Ш.А. Мамбетов, А.Р. Абдиев // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 5. С. 205–207.
22. Актуальные вопросы контроля состояния породного массива вокруг горной выработки / А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, А.А. Абдиев, Ш.А. Абдиев // Недропользование XXI век. М., 2020. № 2а. С. 82–91.
23. Analysis of the regularities of basalt open-pit fissility for energy efficiency of ore preparation / Y. Malanchuk, V. Moshynskyi, A.R. Abdiev [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2022. Vol. 16(1). Pp. 68–76.

24. Развитие методов оценки геомеханического состояния породного массива вокруг горных выработок / А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, А.А. Абдиев и др. Бишкек. Научные исследования в Кыргызской Республике. – Режим доступа: http://journal.vak.kg/category/god-2020/2-kvartal-god-2020/ (дата обращения: 17.04.2023).
25. Контроль геомеханического состояния породного массива вблизи обнажений /А.Р. Абдиев, Р.Ш. Мамбетова, А.А. Абдиев [и др.] // Недропользование XXI век. М., 2020. № 4(87). С. 38–45.
26. *Khussan B.* Substantiation and development of innovative container technology for rock mass lifting from deep open pits / B. Khussan, A. Abdiev, M. Bitimbayev, S. Kuzmin, S. Issagulov & A. Matayev // Mining of Mineral Deposits, 2022. Vol. 16(4). P. 87–95. URL: https://doi.org/10.33271/mining16.04.087.