

Научная статья

УДК 55; 502.5; 504

DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-8-23

**Управление качеством углей по критерию их опасности
с использованием цифровых моделей полезного ископаемого
на Кутинском бурогольном месторождении**

Павел Михайлович Маниковский

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

manikovskiyрm@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию
19.04.2023

Одобрена после
рецензирования 23.05.2023

Принята к публикации
26.05.2023

Ключевые слова:

*Полезное ископаемое,
блочная модель,
естественные
радионуклиды, уголь,
продукты переработки
угля, пласт, блок,
опасность угольной
продукции, разрез, горные
работы*

Цель работы – обоснование необходимости предварительного планирования при добыче твёрдых полезных ископаемых с использованием блочных моделей как важного элемента проектирования экономически и экологически эффективного предприятия по разработке месторождения. Объектом исследования является Кутинское бурогольное месторождение, имеющее участки углей с повышенными содержаниями естественных радионуклидов. Рассматривается методика планирования качества углей с учётом критерия опасности продуктов их переработки с применением программного обеспечения (ПО) Micromine Alastri. Задача исследования заключается в проверке гипотезы автора относительно использования БМ в процессе прогнозирования качества добываемого ПИ по полученным характеристикам. Ожидаемые результаты научного исследования: фиксация превышения в несколько раз удельной активности в пробах пыли и шлака; при проведении полевых исследований на содержание ЕРН в угольных пластах и угольной пыли с включением породы – установление закономерности увеличения значения Аэфф в угольной пыли с включением породных частиц относительно угольных проб. Приведены результаты интерполяции содержаний ЕРН в блоки цифровой блочной модели угольного пласта I Кутинского бурогольного месторождения. В заключении, автором предлагается методика определения параметров добываемого угля и угольной продукции с учётом критерия опасности, которая имеет следующую логику: сжигание опытной партии угля; анализ закономерности корреляции между средним содержанием ЕРН в углях по блоку и средним содержанием ЕРН в продуктах сжигания углей; установление зависимости содержания ЕРН в углях и продуктах сгорания; присвоение путём обратной интерполяции полученных прогнозных значений каждому трёхмерному блоку блочной модели, входящему в добычные блоки по всем горизонтам и перенос их на карты погоризонтного планирования горных работ. Таким образом, построение карты безопасности добываемого ПИ с прогнозными значениями содержания ЕРН в продуктах сгорания позволяет управлять качеством углей по критерию их опасности.

Благодарность: Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 2-27-20057, <https://rscf.ru/project/22-27-20057>.

Safe quality Management of Coals Using Digital Models of Minerals at the Kuta Brown Coal Deposit

Pavel M. Manikovsky

Transbaikal State University, Chita, Russia
manikovskiymp@yandex.ru

Information about the article

Received April 19, 2023

Approved after reviewing
May 23, 2023

Accepted for publication
May 26, 2023

Keywords:

minerals, block model, natural radionuclides, coal, coal processing products, plastic block, danger of coal products, incision, mining

The purpose of the research is to substantiate the need for preliminary planning with the use of block models in the extraction of TPI as an important element of designing an economically and environmentally efficient enterprise for the development of a deposit of solid minerals. The object of the study is the Kuta brown coal deposit, which has areas of coal with increased concentrations of natural radionuclides. The method of planning the quality of coals, taking into account the hazard criterion and products of their processing with the use of Micromine Alastri software (software) is considered. The objectives of the study are to test the author's hypothesis regarding the use of BM in the process of predicting the quality of the extracted PI according to the obtained characteristics. Expected results of the scientific study: it is expected that the specific activity in the samples of dust and slag will be recorded several times; when conducting field studies on the content of carbon in coal seams and coal dust with the inclusion of rock, it is necessary to establish the regularity of increasing the value of Aeff in coal dust with the inclusion of rock particles relative to coal samples. The results of the interpolation of the contents of the ORE into the blocks of the digital block model of the coal seam I of the Kuta brown coal deposit are presented. In conclusion, the author highlights the methodology for determining the parameters of mined coal and coal products, taking into account the hazard criterion, which has the following logic: burning of an experimental batch of coal; analysis of the correlation regularity between the average content of OER in coal by block and the average content of OER in coal combustion products, determination of the dependence of the oxygen content in coals and combustion products; assignment by reverse interpolation of the obtained forecast values to each three-dimensional block of the block model included in the mining blocks for each horizon and their transfer to the maps of horizon-by-horizon mining planning. Thus, obtaining a safety map of the extracted PI with the predicted values of the content of N in the combustion products.

Acknowledgment: *The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 2-27-20057, <https://rscf.ru/project/22-27-20057>.*

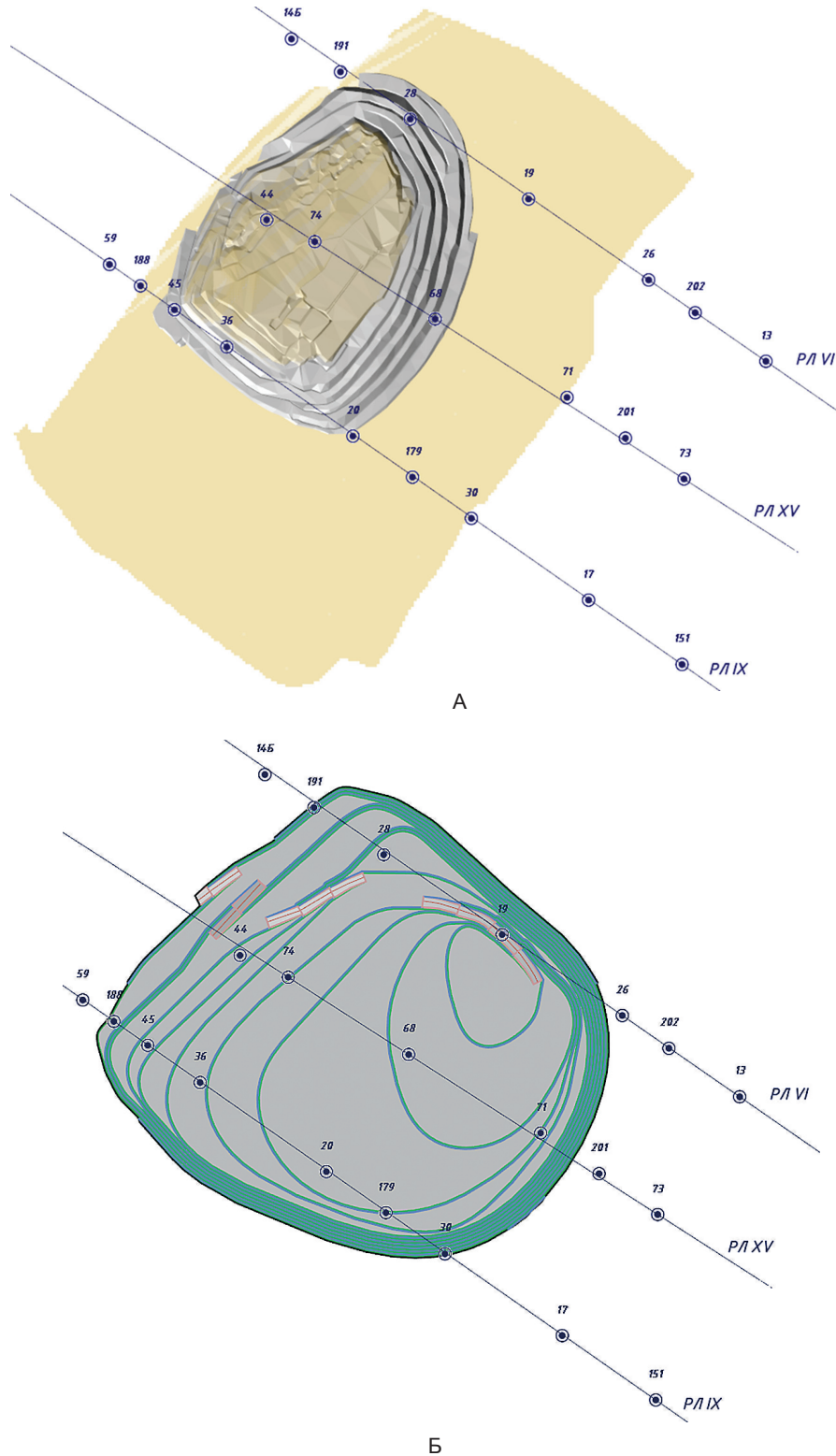
Введение. Основы использования геологических моделей начали формироваться с начала XX в. Во многом это связано с интеграцией достижений математики и статистики в геологию, а также последующим бурным развитием электроники, которая стала способна обрабатывать большие массивы данных.

Советский математик Борис Делоне в 1934 г. описал способ объединения множества точек, лежащих в одной плоскости при помощи треугольников, что послужило началом теории триангуляции, впоследствии названной триангуляцией Делоне [10]. На сегодняшний день этот метод триангуляции лежит в большинстве алгоритмов создания каркасных моделей применяемых в геодезии, топографии, картографии, геологии и других науках. Полезные математические модели топографии местности и полезного ископаемого (ПИ) широко начали внедряться в процесс геологической разведки и освоения ме-

сторождений в 60–70-х гг. XX в. [3]. Ориентировочно в одно и то же время использование математических моделей стало наблюдаться в особом разделе математической геологии, позже получившей название геостатистики, в геотехнологии и в экономической геологии. Широкое распространение получает глубокий математический подход к определению бортового содержания (БС) Г. Мортимера [15]. Книга Ж. Матерона «Основы прикладной геостатистики» выходит в 1962 г. и становится основополагающим трудом в области геостатистики, что окончательно оформляет её как самостоятельную науку [Там же]. Алгоритм Лерча и Гроссмана разрабатывается в 1965 г.: он позволяет на основе данных блочного моделирования разработать предельную экономически целесообразную оболочку предельного карьера. Алгоритм используется для оптимизации открытых карьеров и в настоящее время [13]. Важную роль при ор-

ганизации добычи имеют именно блочные модели полезного ископаемого (ПИ), на основании которых при выполнении оптимизации месторождения инженер-проектировщик получает предельный контур карьера в виде

незамкнутой поверхности усечённой цифровой моделью топографии рельефа и замкнутой объемной моделью внутрикарьерного пространства, также ограниченного каркасом поверхности (рис. 1).



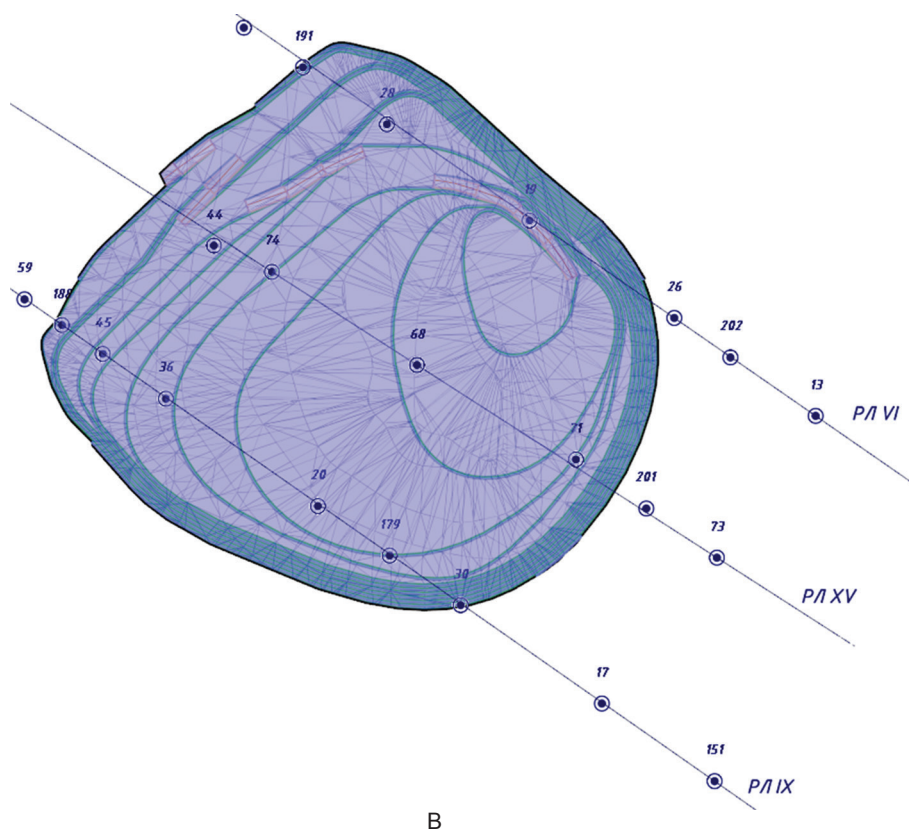


Рис. 1. Модели карьера Кутинского бурогоугольного месторождения. А – вид в плане на положение горных работ на 22 апреля 2022 года. Б – вид в плане чаши карьера Кутинского бурогоугольного месторождения на конец отработки в границах текущей лицензии на конец 2027 г. В – вид в плане на объемную модель (солид) Кутинского бурогоугольного месторождения на конец отработки / **Fig. 1.** Models of the quarry of the Kruta brown coal deposit. A is a plan-view of the mining situation as of April 22, 2022. B – plan-view of the open pit of the Kruta brown coal deposit at the end of mining within the boundaries of the current license at the end of 2027. C – plan-view of a three-dimensional model (solid) of the Kruta brown coal deposit at the end of mining

Актуальность темы исследования. В реалиях настоящего времени не представляется возможным спроектировать экономически эффективное предприятие по разработке месторождения твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) без осуществления предварительного планирования на основе используемых в добыче ТПИ блочных моделей (БМ). БМ – универсальная цифровая модель, каждому блоку которой можно присвоить на основе любого из известных геостатистических методов оценки, известные по данным опробования качественные характеристики [7].

Объектом исследования является Кутинское бурогоугольное месторождение, имеющее участки углей с повышенными содержаниями естественных радионуклидов.

Предмет исследования – процесс планирования безопасного качества углей и в дальнейшем продуктов их переработки.

Процесс планирования добычи на месторождении бурых углей покажем с исполь-

зованием программного обеспечения (ПО) Micromine Alastri. Условно можно разделить алгоритм планирования на определённое количество последовательных этапов. Разбирать всё в рамках текущей работы не целесообразно, остановимся только на этапе предварительной подготовки запасов в Micromine Alastri Rapid Reserver. Именно на этой стадии отработки месторождения необходимо выбрать и обосновать вариант направления отработки углей, имеющих в своём составе естественные радионуклиды для обеспечения безопасности угольной продукции и снижения дозовой нагрузки на окружающую среду.

Цель исследования – обоснование необходимости предварительного планирования при добыче ТПИ с использованием блочных моделей как важного элемента проектирования экономически и экологически эффективного предприятия по разработке месторождения твёрдых полезных ископаемых.

Задачи исследования. Основная задача – проверка гипотезы автора относительно целесообразности использования БМ в процессе прогнозирования качества добываемого ПИ по полученным характеристикам. Гипотеза заключается в том, что при помощи геостатистических методов оценки полезного ископаемого помимо качественных характеристик ПИ можно производить оценку характеристик токсичности, радиационной безопасности и т. д. Далее делить добытое ПИ по сортам и в зависимости от выявленных характеристик качества и категории опасности присваивать ПИ определенный сорт и выполнять дальнейший технологический процесс уже опираясь на известные параметры добытого ПИ. Дополнительно решаются задачи:

1) блочного моделирования участка пласта I Кутинского бурогоугольного месторождения;

2) создания каркасной модели карьера по добыче угля в пределах пласта I Кутинского бурогоугольного месторождения;

3) осуществления погоризонтного планирования добычи на месторождении посредством использования ПО Micromine Alastri;

4) осуществления экспериментальных исследований по определению содержания ЕРН в пределах участка угольного пласта «I» и интерполяции на основе полученных значений содержаний в трёхмерные блоки блочной модели с последующим составлением прогноза качества добываемого угля по критерию его опасности.

Методы исследования. Основным методом, применяемый в работе – метод математического моделирования месторождений ТПИ. При нахождении прогнозных значений содержаний в блочную модель применяется метод обратных расстояний. При установлении содержаний ЕРН в пробах применяется метод спектрометрии.

Разработанность темы исследования. Проблематике планирования горных работ посвящено множество научных исследований. Резюмируя их, можно с уверенностью утверждать, что планирование добычных и вскрышных работ на предприятии на сегодняшний день считается обязательным элементом подготовительных работ при проектировании карьера. Эта необходимость продиктована распределением ресурсов, затрачиваемых на определённые виды работ на любом горнодобывающем предприятии. Этап подготовки запасов считается достаточно трудоёмкой задачей. В Micromine Alastri

он состоит из множества последовательно заполняемых табличных показателей по проектируемому месторождению, которые заранее рассчитываются и моделируются в горно-геологических информационных системах (ГГИС). Одним из основополагающих шагов для последующего успешного планирования и прогнозирования добычи ПИ – использование БМ, обладающей необходимыми качественными показателями ПИ. Отдельной статьёй должно рассматриваться качество проведённой оценки БМ [7]. На этапе сопоставления блочной модели с полями, предлагаемыми в ПО, определяются сорта качества полезного ископаемого. Для определения сортов ПИ, используется авторский алгоритм, написанный на языке программирования C# (рис. 2). В поле сопоставления Parcel указывается распределение по сортам за счет указания необходимых диапазонов относительно поля блочной модели «ЕРН», в котором содержатся прогнозные значения оценки БМ, полученные в результате гамма-спектрометрического анализа.

Необходимо обратить внимание на то, что при определении сортов полезного ископаемого использовано авторское программное обеспечение «Генератор сортов ПИ», написанное на языке программирования C# для использования совместно с Micromine Alastri. Результатом сопоставления полей БМ участка пласта I Кутинского бурогоугольного месторождения и полей Rapid Reserver будет генерация блочной модели ПИ с учётом распределения по сортам, в виде отчёта (табл. 1).

Обязательным элементом заполнения таблиц Rapid Reserver является создание шаблона высот уступов и сопоставление шаблона с каркасной моделью месторождения. Это позволяет при дальнейшем планировании горных работ иметь чёткий прогноз по вынимаемой вскрыше, ПИ и его качеству (рис. 3).

Ещё одной отличительной особенностью ПО Rapid Reserver является дизайнер проектирования выемочных блоков. Этот инструмент позволяет разбить горизонты карьера на определённое количество выемочных блоков, в соответствии с их рассчитанной геометрией. Обычно высота блока приравнивается к высоте уступа H , принятой на этапе проектирования, ширина блока $L_2 = 1,7 \cdot R_ч$, где $R_ч$ – это радиус черпания экскаватора, осуществляющего добычу ПИ, а длина L_1 обычно принимается в зависимости от протяженности фронта работ, как правило, не менее 300 м [11]. Горизонт, разбитый на блоки, можно

визуализировать любым удобным методом. На рисунке представлен план 505 горизонта (рис. 4). Разделение горизонта на добычные блоки выполнено с учётом параметров технологического оборудования, используемого

на ООО «Приаргунский угольный разрез». Добычные блоки окрашены бежевым цветом, характеризующие дорогу – голубым, приконтурные, где выполняется заоткоска – зелёным цветом [6].

Поле	Миним...	Макси...	Формат	ParcelMapping1
X (m)	-∞	∞	None	N("X")
Y (m)	-∞	∞	None	N("Y")
Z (m)	-∞	∞	None	N("Z")
DX (m)	1	∞	None	N("_X")
DY (m)	1	∞	None	N("_Y")
DZ (m)	1	∞	None	N("_Z")
Bearing	-∞	∞	None	MetaN("Rotation")
Parcel			None	N("EPH") > 20 ? ("Опасная") : ("Рядовая")
Volume (m³)	0	∞	#,##0	N("_X")*N("_Y")*N("_Z")
DryTonnes	0	∞	#,##0	N("ПЛОТНОСТЬ")*(N("_X")*N("_Y")*N("_Z"))
Зольность	-∞	∞	#,##0.00	N("Зольность Ad")
EPH	-∞	∞	#,##0.00	N("EPH")

Генератор сортов полезного ископаемого

Метод 1	Метод 2	Метод 3
Полезное ископаемое	Значение	Условие
EPH	20	больше
Условие верно	Опасная	иначе
		Рядовая

Старт

N("EPH") > 20 ? ("Опасная") : ("Рядовая")

Рис. 2. Сопоставление полей блочной модели в ПО Micromine Alastri Rapid Reserver с определением сорта угля по содержанию EPH / Fig. 2. Comparison of block model fields in Micromine Alastri Rapid Reserver software with determination of coal grade by NRN content

Таблица 1 / Table 1

Подсчёт показателей по БМ с учетом сортов ПИ /
Calculation of indicators for BM, taking into account varieties of PI

Сорт ПИ / Grade PI	Суммарно / Total	Опасный / Dangerous			Рядовой / Private		
		Значение / Meaning	Мин. / Min.	Макс. / Max.	Значение / Meaning	Мин. / Min.	Макс. / Max.
Объем (м³) / Volume (m3)	8 542 205,24	1 478 652,08	0,03	125	7 063 553,15	0,03	125
Тоннаж, т / Tonnage, t	10 250 646,28	1 774 382,5	0,03	150	8 476 263,78	0,03	150
Зольность, % / Ash content, %	25,34	21,18	16,58	34,9	26,21	15,96	39
EPH, Бк/кг / Weight, Bq/kg	18,17	21,26	20	30,18	17,52	10,92	20

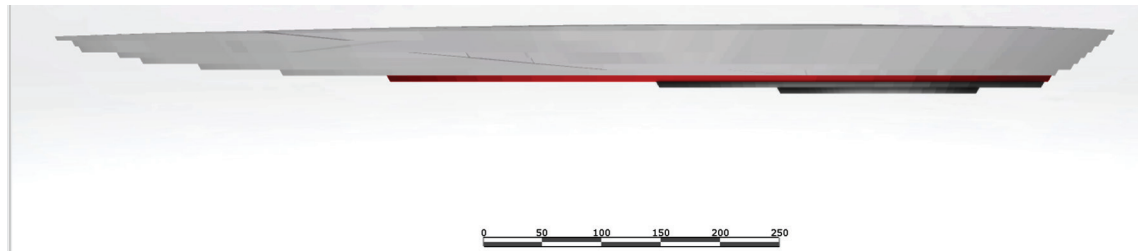


Рис. 3. Сопоставление каркаса карьера с шаблоном высоты уступа ПО Micromine Alastri Rapid Reserver / **Fig 3.** Matching the pit frame with the bench height template Micromine Alastri Rapid Reserver

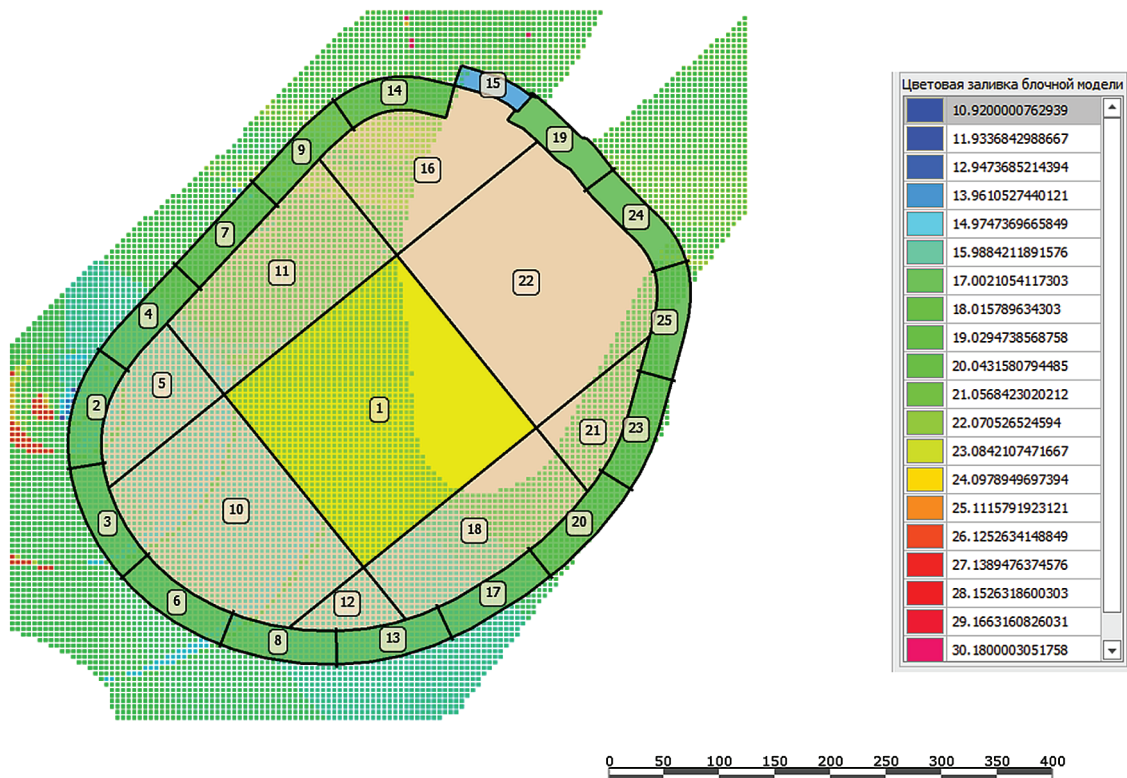


Рис. 4. План 505 горизонта Кутинского буроугольного месторождения. Блочная модель прокодирована цветами по содержанию ЕРН согласно легенде / **Fig. 4.** Plan 505 of the horizon of the Kuta lignite deposit. The block model is color-coded according to the NRN content according to the legend

Таблица 2 / Table 2

Характеристики блока 1 по 505 горизонту/ Characteristics of block 1 along horizon 505

Сорт ПИ / Grade PI Поле / Field	Суммарно / total	Порода / Stratum			Рядовой / Ordinary		
		Значение / Value	Мин. / Min.	Макс. / Max.	Значение / Value	Мин. / Min.	Макс. / Max.
Объем (м³) / Volume (m³)	199 998,27	3 417,26	3417,26	3417,26	196 581,01	0	103,34
Тоннаж, т / Tonnage, t	244 440,36	8 543,15	8543,15	8543,15	235 897,21	0	124
Зольность, % / Ash content, %	27,33	0	0	0	28,32	15,96	39
ЕРН, Бк/ка /	17,13	0	0	0	17,75	14,23	9,18

Ход исследований. На примере Кутинского буроугольного месторождения, где при проведении полевых работ в рамках Гранта Российского научного фонда № 2-27-20057 в 2022 г. отобраны кусковые пробы углей

пласта I, вовлечённого в разработку, золошлака из отвала котельной на месторождении и угольной пыли, взятой с дорожного полотна от выезда из карьера до угольного склада (рис. 5).

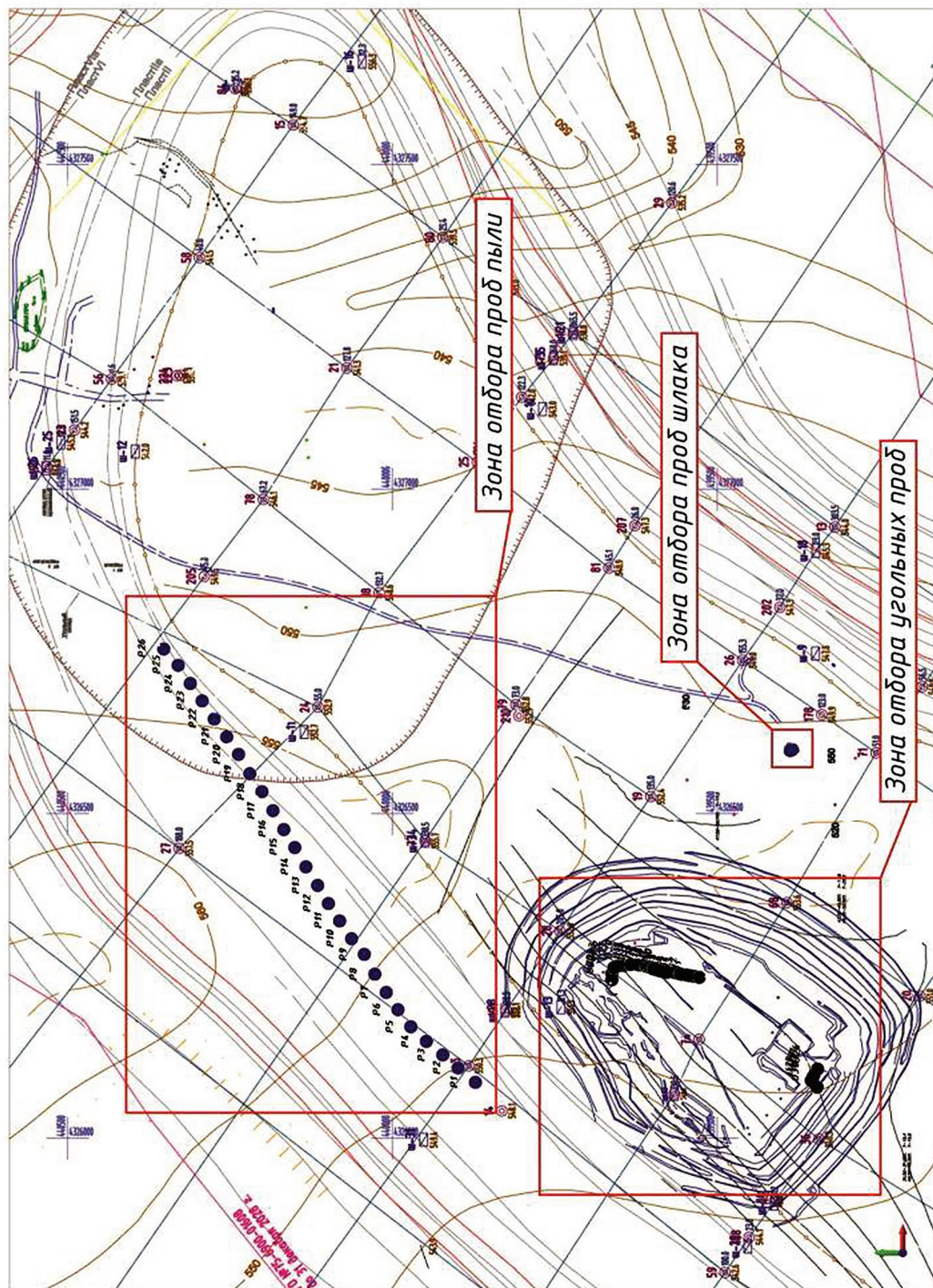
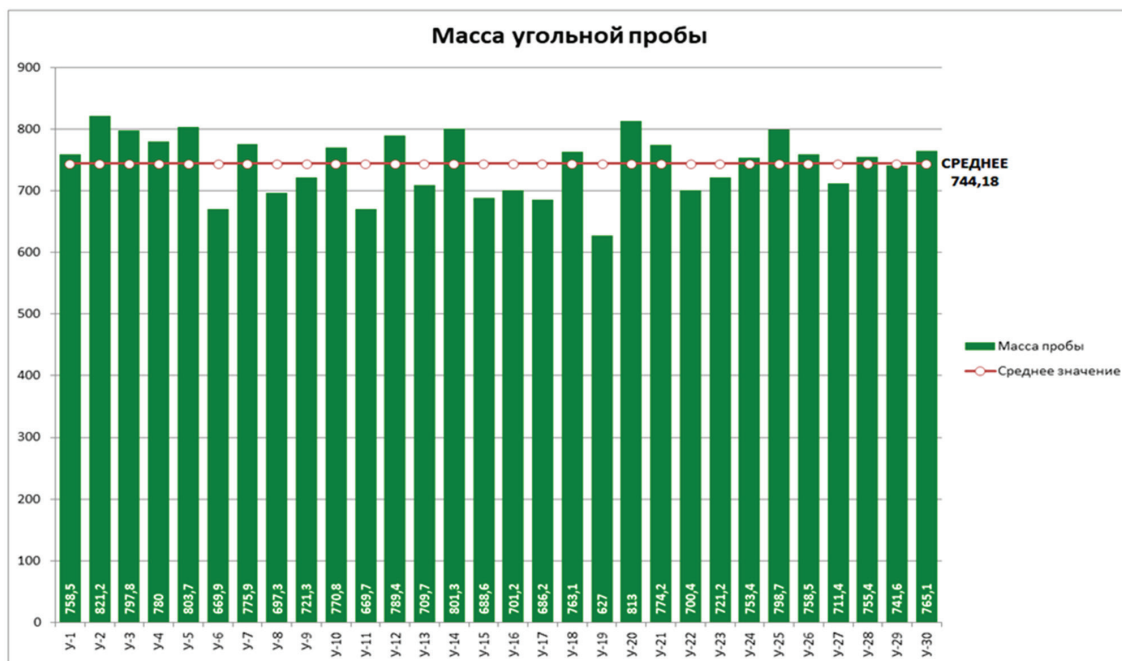


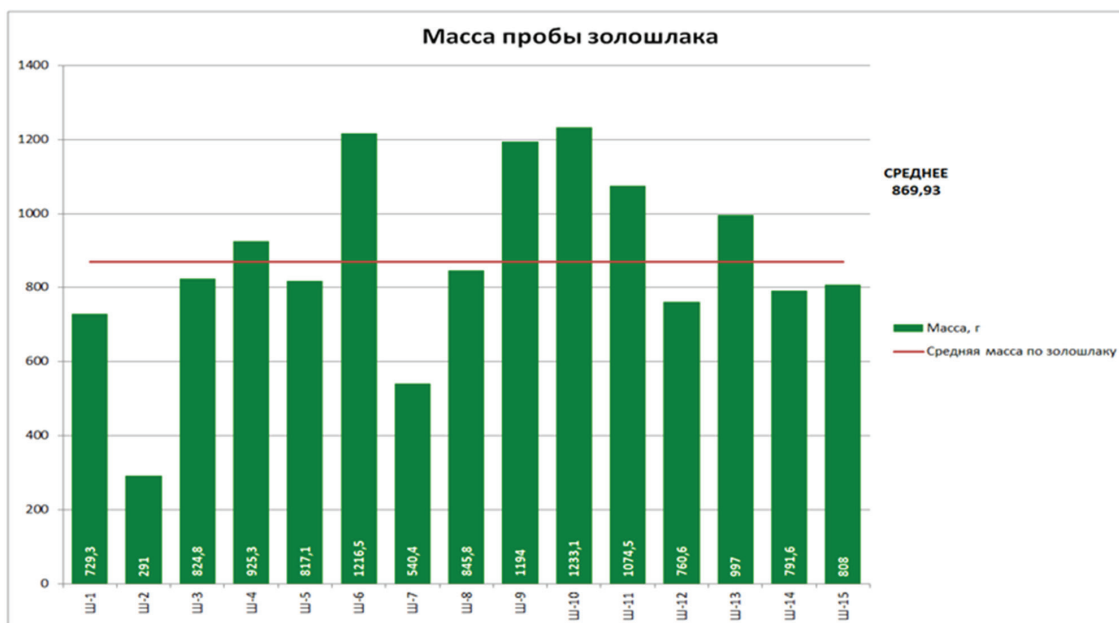
Рис. 5. План отбора проб на Кутинском бурогольном месторождении / Fig. 5. Sampling plan for the Kuta brown coal deposit

Поскольку масса отобранных проб шлака и угля превышала 1 кг, для гамма-спектрометрического анализа выбрана геометрия, соответствующая массе пробы – сосуд Мари-

нелли. Пробы пыли отобраны в пластиковые пакеты, масса которых не превышала 250 г., вследствие чего для их анализа выбрана геометрия чашка Петри (рис. 6).



А



Б

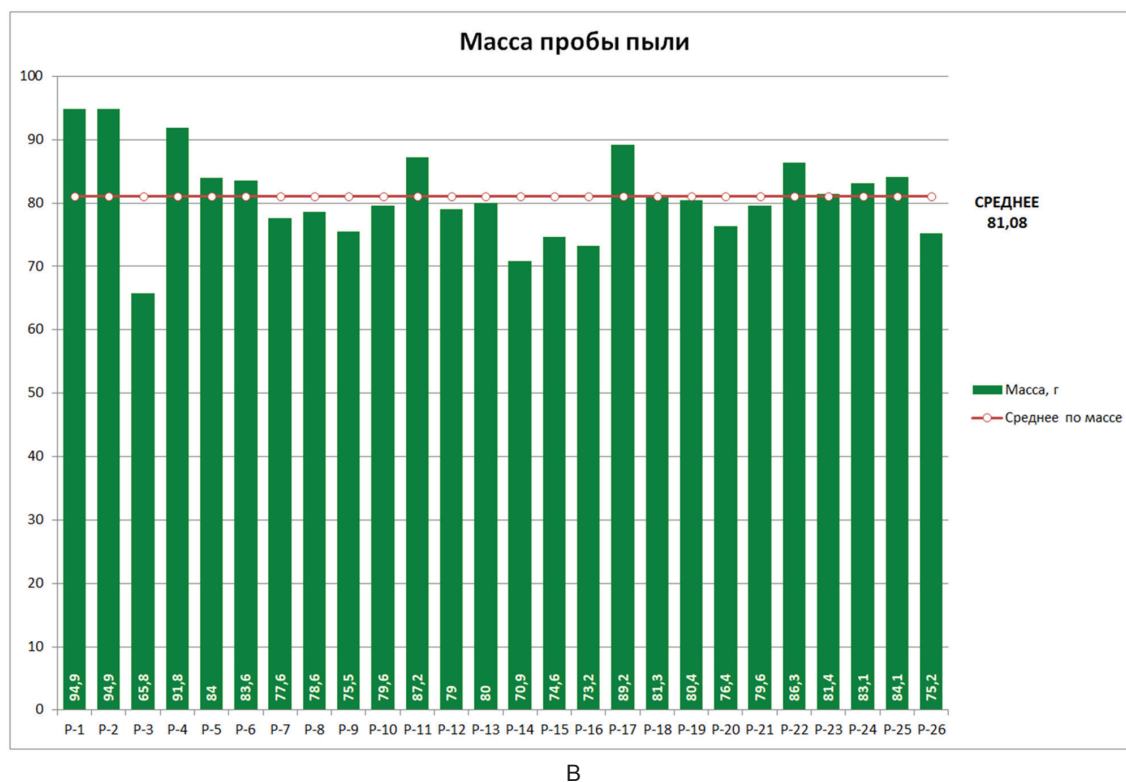


Рис. 6. Графики анализа массы проб. А. Угольные пробы. Б. Пробы золошлака. В. Пробы пыли / **Fig. 6.** Graphs of sample mass analysis. A. Coal samples. B. Samples of ash and slag. C. Dust samples

Вторым этапом исследований являлось проведение гамма-спектрометрических испытаний. В представленных таблицах приведены результаты спектрометрического анализа, проведенные на сцинтилляционном гамма-спектрометре «Прогресс-гамма» (табл. 3–5). Результатом анализа явились установленные значения естественных радионуклидов (ЕРН) ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th и подсчитанная удельная эффективная активность ЕРН в пробах шлака, углей и пыли – $A_{\text{эфф}}$. Нижней строкой выделено среднее содержание значения по всем пробам. Также приведена формула, используемая для подсчета удельной эффективности (1)

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 A_{\text{Th}} + 0,085 A_{40\text{K}}. \quad (1)$$

Из анализа таблицы можно провести четкий вывод о том, что $A_{\text{эфф}}$ шлака в 7 раз превышает показатели активности углей, а пыли – в 8,5 раз.

Полученные результаты научного исследования. Превышение удельной активности в несколько раз объяснимо. Пыль –

это тонкодисперсные частицы угольного материала, которые осаждаются на поверхность грунта в результате движения автотранспорта и перемещения угля на угольный склад. По той же дороге, которая ведёт от выезда из карьера до угольного склада, транспортируются вскрышные породы, которые также в виде тонкодисперсных частиц осаждаются на поверхность грунта. При проведении пробоотбора в пробу попадают помимо угольного материала вскрышные породы и частично – грунт с места забора пробы.

При проведении полевых исследований на содержание ЕРН в угольных пластах и породных пропластках установлена закономерность, что в породных пропластках значения $A_{\text{эфф}}$ выше, чем в угольных пробах [1; 5; 9; 12]. Также объясняется многократное превышение показателя $A_{\text{эфф}}$ в пробах золошлака, поскольку результатом процесса горения является твёрдый минеральный остаток неорганических взвесей, а также оксидов К, Са, Р и т. д. Этот минеральный неорганический остаток и является фактором увеличения $A_{\text{эфф}}$.

Таблица 3 / Table 3

Результаты гамма-спектрометрического анализа проб шлака / Results of gamma-spectrometric analysis of slag samples

Тип пробы	Имя пробы	Геометрия	Масса, г	Измеренная удельная активность 226 Ra	Измеренная удельная активность 232 Th	Измеренная удельная активность 40K	Аэфф.
Шлак	Ш-1	Маринелли	729,3	94,2000	46,4000	153,8000	168,36
Шлак	Ш-2	Маринелли	291	136,2000	97,8000	181,0000	279,63
Шлак	Ш-3	Маринелли	824,8	55,8000	43,4562	224,3000	132,48
Шлак	Ш-4	Маринелли	925,3	56,5863	44,0119	355,6000	145,81
Шлак	Ш-5	Маринелли	817,1	33,8224	19,6555	25,7000	61,69
Шлак	Ш-6	Маринелли	1216,5	28,9449	43,5817	595,0000	139,15
Шлак	Ш-7	Маринелли	540,4	67,7000	57,4000	18,3000	143,97
Шлак	Ш-8	Маринелли	845,8	38,5856	42,5436	325,4000	123,18
Шлак	Ш-9	Маринелли	1194	23,8494	40,4088	539,0000	124,89
Шлак	Ш-10	Маринелли	1233,1	24,3994	36,8463	534,0000	120,36
Шлак	Ш-11	Маринелли	1074,5	22,4972	35,0012	512,0000	114,08
Шлак	Ш-12	Маринелли	760,6	54,1000	44,6022	145,7000	125,20
Шлак	Ш-13	Маринелли	997	41,8518	42,7134	327,3000	126,84
Шлак	Ш-14	Маринелли	791,6	58,7000	37,4710	107,0000	117,04
Шлак	Ш-15	Маринелли	808	50,4200	32,1934	86,6000	100,07
			869,933	52,510	44,272	275,380	134,85

Таблица 4 / Table 4

Результаты гамма-спектрометрического анализа проб углей / results of gamma – spectrometric analysis of coal samples

Тип пробы	Имя пробы	Геометрия	Масса, г	Измеренная удельная активность 226 Ra	Измеренная удельная активность 232 Th	Измеренная удельная активность 40K	Аэфф.
Уголь бурый	У-1	Маринелли	758,5	8,1152	8,4372	1,1000	19,18
Уголь бурый	У-2	Маринелли	821,2	7,8747	8,4628	0,0000	18,88
Уголь бурый	У-3	Маринелли	797,8	5,5815	3,9002	0,0000	10,65
Уголь бурый	У-4	Маринелли	780	8,0036	13,8038	0,0000	25,95
Уголь бурый	У-5	Маринелли	803,7	11,0014	6,2650	0,0000	19,15
Уголь бурый	У-6	Маринелли	669,9	10,1054	7,1133	0,0000	19,35
Уголь бурый	У-7	Маринелли	775,9	8,1644	10,7442	0,0000	22,13
Уголь бурый	У-8	Маринелли	697,3	7,4671	8,6768	0,0000	18,75
Уголь бурый	У-9	Маринелли	721,3	10,8411	10,3429	0,0000	24,29
Уголь бурый	У-10	Маринелли	770,8	6,7227	8,3491	0,0000	17,58
Уголь бурый	У-11	Маринелли	669,7	6,6307	5,2547	0,0000	13,46
Уголь бурый	У-12	Маринелли	789,4	13,7332	2,9262	0,0000	17,54
Уголь бурый	У-13	Маринелли	709,7	12,7086	5,3715	0,0000	19,69
Уголь бурый	У-14	Маринелли	801,3	7,0147	5,2510	0,0000	13,84
Уголь бурый	У-15	Маринелли	688,6	14,4718	4,1081	0,0000	19,81
Уголь бурый	У-16	Маринелли	701,2	14,6424	3,0470	0,0000	18,60
Уголь бурый	У-17	Маринелли	686,2	11,2904	9,1291	0,0000	23,16
Уголь бурый	У-18	Маринелли	763,1	11,8441	6,8550	0,0000	20,76
Уголь бурый	У-19	Маринелли	627	18,5713	3,9416	0,0000	23,70
Уголь бурый	У-20	Маринелли	813	7,3771	6,8879	0,0000	16,33
Уголь бурый	У-21	Маринелли	774,2	7,0579	4,6319	0,0000	13,08
Уголь бурый	У-22	Маринелли	700,4	21,0300	7,0401	0,0000	30,18
Уголь бурый	У-23	Маринелли	721,2	8,6331	6,3844	0,0000	16,93
Уголь бурый	У-24	Маринелли	753,4	12,1735	5,8145	0,0000	19,73
Уголь бурый	У-25	Маринелли	798,7	8,9594	6,3345	0,0000	17,19
Уголь бурый	У-26	Маринелли	758,5	9,2042	7,1206	0,0000	18,46
Уголь бурый	У-27	Маринелли	711,4	9,2768	1,2652	0,0000	10,92
Уголь бурый	У-28	Маринелли	755,4	5,2328	6,0076	0,0000	13,04
Уголь бурый	У-29	Маринелли	741,6	11,3572	6,4388	0,0000	19,73
Уголь бурый	У-30	Маринелли	765,1	11,7816	10,3296	6,2000	25,77
	Среднее		744,183	10,229	6,674	0,243	18,93

Таблица 5 / Table 5

Результаты гамма-спектрометрического анализа проб пыли / Results of gamma – spectrometric analysis of dust samples

Тип пробы	Имя пробы	Геометрия	Масса, г	Измеренная удельная активность 226 Ra	Измеренная удельная активность 232 Th	Измеренная удельная активность 40K	Аэфф.
Пыль	P-1	Петри	94,9	67,2000	70,0000	670,0000	218,5000
Пыль	P-2	Петри	94,9	76,9000	34,6000	671,0000	182,2700
Пыль	P-3	Петри	65,8	35,3000	61,4000	550,0000	164,6200
Пыль	P-4	Петри	91,8	35,7000	50,2000	621,0000	156,8500
Пыль	P-5	Петри	84	17,7000	45,4000	546,0000	125,8600
Пыль	P-6	Петри	83,6	30,6000	27,6000	722,0000	131,4600
Пыль	P-7	Петри	77,6	27,2000	35,6000	708,0000	137,2000
Пыль	P-8	Петри	78,6	40,0000	37,9000	566,0000	140,2100
Пыль	P-9	Петри	75,5	38,8000	48,6000	742,0000	168,7600
Пыль	P-10	Петри	79,6	30,1000	58,9000	343,0000	137,5400
Пыль	P-11	Петри	87,2	33,8000	55,3000	555,0000	155,6400
Пыль	P-12	Петри	79	37,3000	53,2000	595,0000	160,0100
Пыль	P-13	Петри	80	39,7000	62,2000	466,0000	162,5000
Пыль	P-14	Петри	70,9	30,3000	35,5000	451,0000	117,0400
Пыль	P-15	Петри	74,6	54,2000	20,8000	654,0000	140,1000
Пыль	P-16	Петри	73,2	32,3000	62,7000	504,0000	159,1700
Пыль	P-17	Петри	89,2	39,1000	73,6000	432,0000	173,6600
Пыль	P-18	Петри	81,3	37,9000	51,9000	647,0000	163,6000
Пыль	P-19	Петри	80,4	44,7000	53,3000	822,0000	187,9700
Пыль	P-20	Петри	76,4	24,0000	60,4000	673,0000	163,0900
Пыль	P-21	Петри	79,6	49,7000	61,9000	598,0000	183,9900
Пыль	P-22	Петри	86,3	59,9000	41,5000	820,0000	187,6500
Пыль	P-23	Петри	81,4	28,0000	59,9000	731,0000	171,6600
Пыль	P-24	Петри	83,1	52,2000	61,1000	526,0000	178,9700
Пыль	P-25	Петри	84,1	37,4000	69,0000	681,0000	188,3900
Пыль	P-26	Петри	75,2	58,4000	43,4000	315,0000	143,1700
			81,085	40,708	51,381	600,346	161,5338

Следующим этапом исследований является проведение процесса интерполяции содержаний ЕРН в блоки цифровой блочной модели пласта I Кутинского бурогольного месторождения и установление корреляции показателей зольности и содержания ЕРН [2; 4; 9].

Выводы. Поскольку в нашей стране не существует норм и правил, которые регулируют безопасность самой угольной продукции, будем опираться на нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 от 7 июля 2009 г. В этом документе чётко выделяются отходы промышленного производства, в которые, в том числе, золы, шлаки и т. д., которые подразделяются согласно суммарным вычислениям по формуле (1) на четыре класса опасности:

I класс – $A_{эфф.} \leq 370$ Бк/кг;

II класс – 370 Бк/кг $> A_{эфф.} \leq 740$ Бк/кг;

III класс – 740 Бк/кг $> A_{эфф.} \leq 1500$ Бк/кг;

IV класс – $A_{эфф.} > 1500$ Бк/кг.

Учитывая вышеизложенное, автором принято решение пойти от обратного. Для определения характеристик угля по критерию опасности предполагается использовать следующую методику:

1. Сжигать опытную партию угля в местной котельной или теплоэлектростанции (ТЭС) в течение определенного промежутка времени T , добытую и отгруженную в пределах одного блока, после чего проводить анализ продуктов сжигания углей – золы и шлака на содержание в них ЕРН.

2. Проанализировать закономерность корреляции между средним содержанием ЕРН в углях по блоку и средним содержанием ЕРН в продуктах сгорания углей.

3. На основе полученных данных установить зависимость содержания ЕРН в углях и продуктах сгорания, представить соответствующие диапазоны в таблицах.

4. На основе данных таблицы процессом обратной интерполяции присвоить полученные прогнозные значения каждому трехмерному блоку блочной модели, входящему в добычные блоки по каждому горизонту.

5. Перенести на карты погоризонтного планирования горных работ.

Таким образом, на выходе мы получим карту безопасности добываемого ПИ с прогнозными значениями содержания ЕРН в продуктах сгорания.

Список литературы

1. Авдеев П. Б., Сидорова Г. П. Методы отработки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2016. № 1. С. 11–15.
2. Басаргин А. А. Моделирование месторождений рудных полезных ископаемых с использованием геоинформационной системы micromine // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ: сб. науч. тр. 2016. Т. 1, № 2. С. 151–155.
3. Закревский К. Е., Попов В. Л. История развития трехмерного геологического моделирования как метода изучения залежей нефти и газа. Текст: электронный // Известия ТПУ. 2021. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-razvitiya-trehmernogo-geologicheskogo-modelirovaniya-kak-metoda-izucheniya-zalezhey-nefti-i-gaza> (дата обращения: 02.01.2023).
4. Кантемиров В. Д., Яковлев А. М., Титов Р. С. Геоинформационные технологии блочного моделирования для оценки качественных показателей полезных ископаемых в условиях переходных процессов горного производства // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2021. № 1. С. 38–47. DOI: 10.37102/0869-7698-021_215_01_03.
5. Крылов Д. А., Сидорова Г. П., Овсейчук В. А. Естественные радионуклиды в углях и в золе угольных электростанций // Уголь. 2012. № 2. С. 94–95.
6. Лукичев С. В., Наговицин О. В., Семенова И. Э., Белгородцев О. В. Mineframe – подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ // Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: сб. науч. тр. 2017. № 198. С. 50–59.
7. Маниковский П. М. Создание цифровых блочных моделей пластовых месторождений с интерполированными характеристиками полезного ископаемого (на примере Кутинского бурогольного месторождения) // Углекимия и экология Кузбасса: сб. тезисов докладов XI Междунар. Российско-Казахстанского Симпозиума (Кемерово, 4–6 июня 2022 г.). Кемерово: Фед. исслед. центр угля и углекимии СО РАН, 2022. С. 52–57. DOI 10.53650/9785902305651_52. EDN RPUJLY.
8. Сапронова Н. П., Федотов Г. С. Особенности моделирования пластовых месторождений в среде ГГИС Micromine // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 1. С. 38–45.
9. Сидорова Г. П., Якимов А. А., Овчаренко Н. В., Гущина Т. О. Особенности накопления естественных радионуклидов в ископаемых углях месторождений Юго-Восточного Забайкалья // Наука и образование: актуальные исследования и разработки: сб. ст. III Всерос. науч.-практ. конф., (Чита, 29–30 апреля 2020 г.). Чита: ЗабГУ, 2020. С. 184–190. EDN JZFXIX.

10. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и её применение. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2002. 128 с. ISBN 5-7511-1501-5.
11. Соколовский Александр Валентинович, Лапаев Василий Николаевич Особенности проектирования высокопроизводительных угольных разрезов. Текст: электронный // ГИАБ. 2015. № S1-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-vysokoproizvoditelnyh-ugolnyh-razrezov> (дата обращения: 24.03.2023).
12. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Уран в углях. Сыктывкар: Изд-во Коми науч. центра УрО Рос. АН, 2001. 79 с.
13. Lerchs H., Grossman I. F. Optimum design of open pit mines. Текст: электронный // Transactions Canadian Institute of Mining and Metallurgy. URL: https://www.researchgate.net/publication/358623395_Lerchs-Grossmann_Pit_Design_Fifty_Year_History_and_Code (дата обращения: 02.01.2023).
14. Matheron G. Traite de geostatistique applique. Paris: Editions Technip, 1962. 409 p.
15. Mortimer G J. Grade control // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. 1995. No. 59. P. 1–43.

References

1. Avdeev P. B., Sidorova G. P. Methods of working off coals with an increased content of natural radionuclides. Izvestia of higher educational institutions. Mining magazine, no. 1, pp. 11–15, 2016. (In Rus.).
2. Basargin A. A. Modeling of ore mineral deposits using the geoinformation system micromine. INTEREXPO GEO–SIBERIA. Collection of scientific papers, vol.1, no. 2, pp. 151–155, 2016. (In Rus.).
3. Zakrevsky K. E., Popov V. L. The history of the development of three-dimensional geological modeling as a method of studying oil and gas deposits. News of TPU, no. 5, 2021. Web. 02.01.2023. <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-razvitiya-trehmernogo-geologicheskogo-modelirovaniya-kak-metoda-izucheniya-zalezhey-nefti-i-gaza>. (In Rus.).
4. Kantemirov V. D., Yakovlev A. M., Titov R. S. Geoinformation technologies of block modeling for evaluation of qualitative indicators of minerals in the conditions of transitional processes of mining production. Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, no. 1, pp. 38–47, 2021. (In Rus.).
5. Krylov D. A., Sidorova G. P., Ovseychuk V. A. Natural radionuclides in coals and in the ash of coal-fired power plants. Coal, no. 2, pp. 94–95, 2012. (In Rus.).
6. Lukichev S. V., Nagovitsin O. V., Semenova I. E., Belogorodtsev O. V. Mineframe – approaches to solving problems of design and planning of mining operations. Innovative directions in the design of mining enterprises, no. 198, pp. 50–59, 2017. (In Rus.).
7. Manikovskiy P. M. Creation of digital block models of reservoir deposits with interpolated characteristics of a mineral (on the example of the Kuta brown coal deposit). Coal chemistry and ecology of Kuzbass. Collected abstracts of the XI International reports. Russian-Kazakh Symposium. Kemerovo, June 4–6, 2022. Kemerovo: Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, 2022. (In Rus.).
8. Saporova N. P., Fedotov G. S. Features of modeling of reservoir deposits in the environment of GGIS Micromine. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), no. 1, pp. 38–45, 2018. (In Rus.).
9. Sidorova G. P., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V., Gushchina T. O. Features of accumulation of natural radionuclides in fossil coals of deposits of Southeastern Transbaikalia. Science and education: current research and development: collection of art. III All-Russian Scientific and Practical Conference. Chita, April 29–30. Chita: Transbaikalian State University, 2020. (In Rus.).
10. Skvortsov A. V. Delaunay triangulation and its application. Tomsk: Tomsk University Publ., 2002. (In Rus.).
11. Sokolovsky A. V., Lapaev V. N. Design features of high-performance coal mines. GIAB, 2015, no. S1-1. Web. 24.03.2023. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-vysokoproizvoditelnyh-ugolnyh-razrezov>. (In Rus.).
12. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Uranium in coals. Syktyvkar: Publishing House of the Komi Scientific Center of the Ural Federal Academy of Sciences, 2001. (In Rus.).
13. Lerchs H., Grossman I. F. Optimum design of open pit mines. Transactions Canadian Institute of Mining and Metallurgy. Web. 02.01.2023. https://www.researchgate.net/publication/358623395_Lerchs-Grossmann_Pit_Design_Fifty_Year_History_and_Code. (In Eng.).
14. Matheron G. Traite de geostatistique applique. Paris: Editions Technip, 1962. (In Eng.).
15. Mortimer G J. Grade control. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, no. 59, pp. 1–43, 1995. (In Eng.).

Информация об авторе

Маниковский Павел Михайлович, аспирант, старший преподаватель, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; manikovskiyрm@yandex.ru. Область научных интересов: геотехнология

и геоэкология, математическое моделирование месторождений ТПИ, моделирование угольных и рудных месторождений, ГИС, САПР, геологическое моделирование.

Information about the author

Manikovskiy Pavel M., postgraduate, senior lecturer, Transbaikal State University, Chita, Russia; manikovskiyрm@yandex.ru. Research interests: geoecology and geotechnology, mathematical modeling of solid minerals deposits, modeling of coal and ore deposits, GIS, CAD, geological modeling.

Для цитирования

Маниковский П. М. Управление безопасным качеством углей с использованием цифровых моделей полезного ископаемого на Кутинском бурогольном месторождении // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 2. С. 8–23. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-8-23.

For citation

Manikovskiy P. M. Management of the safe quality of coals using digital models of a mineral at the Kuta brown coal deposit // Transbaikal State University Journal. 2023. Vol. 29, no. 2. P. 8–23. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-8-23.