

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

МАНИКОВСКИЙ ПАВЕЛ МИХАЙЛОВИЧ

**БЛОЧНАЯ МОДЕЛЬ КАК ОСНОВА МЕТОДА
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО КРИТЕРИЮ РАДИАЦИОННОЙ
ОПАСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ КУТИНСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

Специальность 1.6.21 – «Геоэкология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Сидорова Галина Петровна

Чита, 2023

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Доля угольной энергетики в России по различным оценкам не превышает 16% от общей генерации энергии. При этом, по данным Министерства жилищно-коммунального хозяйства, энергетики, цифровизации и связи Забайкальского края доля угольной выработки электроэнергии в регионе составляет 97%. Основным видом топлива для ТЭС энергосистемы Забайкальского края являются бурые угли, добываемые открытым способом на местных угольных разрезах. Другие виды топлива, ввиду удалённости региона от мест добычи, являются неконкурентоспособными.

Одно из наиболее уязвимых мест в угольной энергетике - экологическое воздействие предприятий угольного топливного цикла на окружающую среду.

Забайкальский край – регион, где располагается одно из ведущих предприятий по добыче природного урана. В районе географического расположения Стрельцовского рудного поля разрабатывается Уртуйское буроугольное месторождение, имеющее участки углей с повышенными содержаниями естественных радионуклидов.

Ученые Забайкалья одними из первых начали заниматься проблемой обращения с углями, имеющими повышенные показатели содержания естественных радионуклидов (ЕРН), при отработке Уртуйского буроугольного месторождения. Данные исследования были представлены в диссертационных работах и научных статьях. Технологические основы добычи подобных углей рассматривались в диссертации Г.П. Сидоровой «Обоснование технологических способов управления качеством углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов при открытой угледобыче», создание системы экологического мониторинга – в работе Н.В. Овчаренко «Оценка влияния добычи углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов на качество угольной продукции и экологическое состояние окружающей среды».

Данные исследований Л.П. Ищуковой по ураноносности Юго-Восточного Забайкалья, дают основание предполагать, что урановое оруденение в той или иной мере оказывает влияние и на ближайший по географическому

расположению Южно-Аргунский угольный бассейн, включающий в себя угольные месторождения: Средне-Аргунское, Пограничное, Приозёрное, Кутинское и Кужертайское углепроявление.

Обозначенный регион обладает хорошо развитой логистикой, есть инфраструктурные предпосылки для вовлечения в разработку указанных месторождений, а их совокупные запасы составляют более 2 млрд. т. В настоящее время на территории угольного бассейна разрабатывается только Кутинское бурогольное месторождение, которое является объектом исследования в представленной работе.

Разработка месторождения ведется предприятием ООО «Приаргунский угольный разрез».

Представленная работа направлена на определение принципов формирования блочной модели Кутинского бурогольного месторождения, на основе которой появляется возможность создания прогноза влияния характеристик углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих пород с учетом их потенциальной опасности для окружающей среды. Прогнозирование потенциальной опасности является актуальным вопросом, который подлежит тщательному анализу и исследованиям, направленным на минимизацию геоэкологического воздействия угольной генерации энергии и прогнозирование рисков подобного воздействия на окружающую среду. Разработка этого вопроса является весьма актуальной для региона.

Объект исследования – Кутинское бурогольное месторождение.

Предмет исследования – методика прогнозирования качества угольной продукции по критерию её потенциальной опасности на основе цифровой блочной модели угольного месторождения.

Гипотеза – внедрение методики прогнозирования качества угольной продукции по критерию её потенциальной опасности на основе цифровой блочной модели угольного месторождения позволит давать оценку последствиям подобной хозяйственной деятельности для природных комплексов, а также, будет

способствовать повышению безопасности использования углей при генерации энергии.

Научная идея – использование блочной модели месторождения создает основу для внедрения погоризонтного геоэкологического картирования угольных месторождений, прогнозирования качественных характеристик получаемой угольной продукции, в том числе по критерию её потенциальной опасности.

Цель исследования – геоэкологическое обоснование и разработка методики прогнозирования качества угольной продукции по критерию её потенциальной опасности на основе цифровой блочной модели.

Задачи исследования:

- Анализ разработанности темы присутствия естественных радионуклидов в ископаемых углях, вскрышных, подстилающих и перекрывающих породах угольных месторождений.
- Анализ качественных характеристик, а также характеристик безопасности углей на основных месторождениях Восточного Забайкалья, разрабатываемых открытым способом.
- Обоснование методики отбора проб углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих пород и ее адаптация для проведения полевых работ.
- Проведение полевых работ по отбору проб углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих пород.
- Проведение экспериментальных исследований по определению удельной эффективной активности проб углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих пород.
- Создание блочной модели Кутинского бурогоугольного месторождения с присвоенными качественными характеристиками углей, вскрышных, подстилающих и перекрывающих пород, в том числе с данными по содержанию в них естественных радионуклидов.

Научная новизна работы. Получены новые данные о содержании ЕРН в углях Кутинского бурогоугольного месторождения, вскрышных, подстилающих и перекрывающих породах.

Предложена методика оценки углей Кутинского бурогоугольного месторождения по критерию их потенциальной опасности.

Разработан алгоритм прогнозирования качества угольной продукции на основе применения программных продуктов и использования блочной модели месторождения.

Установлена зависимость радиационно-экологических характеристик углей в пласте «I» Кутинского бурогоугольного месторождения с показателями аналитической зольности и в пересчете на сухое состояние.

Методы исследования: Патентные исследования и анализ литературных источников, нормативно-технической и научно-методической документации, измерения рентгенорадиометрическим методом, комплексный анализ технических решений разработки месторождения открытым способом, экспериментальные исследования содержания ЕРН в пробах углей, мелкодисперсного угольного материала с частицами вскрышных пород, пород перекрывающих и подстилающих угольный пласт, золы и шлаков на гамма-спектрометре «Прогресс-гамма», экспериментальные исследования по определению аналитической зольности в углях арбитражным методом по ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010), математический метод блочного моделирования; геостатистический метод квадрата обратных расстояний для оценки неизвестных значений содержания ЕРН в блочной модели, использование программных продуктов для создания и анализа блочных моделей.

Практическая ценность работы. Предложена методика цифрового прогнозирования качества угольной продукции по критерию потенциальной опасности её использования (с учётом содержания ЕРН в углях и золошлаках – продуктах сжигания углей, а также мелкодисперсного угольного материала с включением частиц вскрыши). Использование разработанной методики позволяет получать погоризонтные планы разработки угольных месторождений с

прогностической оценкой их характеристик, а также добиться оптимальных технологических результатов работы угледобывающего предприятия.

Разработана и внедрена в работу ООО «Приаргунский угольный разрез» цифровая блочная модель Кутинского бурогоугольного месторождения как основа для подготовки погоризонтных планов развития горных работ.

Разработана программа для ЭВМ по определению сорта полезного ископаемого в трехмерных ячейках блочной модели на основе данных по одному или нескольким показателям качества.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Величина удельной эффективной активности $A_{эфф.}$ находится в прямой зависимости от минерального состава добываемых углей за исключением зон их окисления.
2. Блочная модель угольного месторождения может выступать основой для геоэкологического картирования по критерию потенциальной опасности углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих горных пород.
3. Процесс обратной интерполяции значений удельной эффективной активности $A_{эфф.}$ в блочную модель при использовании выявленной ранее для месторождения зависимости $A_{эфф.}$ от A^d позволяет получить на основе блочной модели полезного ископаемого прогнозную модель содержания ЕРН в каждом трехмерном блоке.

Апробация результатов исследования. Основные результаты, сформулированные научные положения и выводы по диссертационному исследованию были обсуждены на VI Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» г. Томск, 20-24 сентября 2021 года, на XI Международном Российско-Казахстанском Симпозиуме «Углекислота и экология Кузбасса», Кемерово, 04–06 июня 2022 года, на XXII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, с международным участием в г. Нерюнгри, посвященной 30-летию Технического института (филиала) СВФУ им. М.К. Аммосова, 28–29 октября 2022, на XXII Международной научно-

практической конференции. Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: Чита, 28 ноября – 02 декабря 2022 года, на XXXI научном симпозиуме «Неделя горняка», 31.01-02.03.2023.

Достоверность и обоснованность научных результатов. Степень достоверности полученных экспериментальных данных подтверждает расчет коэффициента вариации, который составил 8,7% для показателей $A_{эфф}$ вскрышных пород, также сходимостью результатов интерполяции показателей зольности A^d и проектных показателей – он составляет 90,6%. При этом стоит отметить, что в подсчете принимал участие только участок пласта, находящийся в непосредственной разработке, тогда как проектные показатели рассчитывались для всего угольного пласта «I».

Личный вклад автора. Предложена методика прогнозирования качества угольной продукции на основе использования цифровой блочной модели залежи полезного ископаемого. Проведен анализ результатов лабораторного эксперимента по содержанию ЕРН в пробах углей пласта «I» Кутинского бурогоугольного месторождения, мелкодисперсного угольного материала с включением частиц вскрыши, пород перекрывающих и подстилающих угольный пласт, золы и шлаков. Получены данные лабораторного эксперимента по определению аналитической зольности в углях пласта «I» арбитражным методом по ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе: 3 в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, из них 3 статьи, включенные в базу данных Scopus, 12 работ в научных журналах, научных периодических сборниках, материалах и трудах международных, всероссийских и региональных научно-практических конференциях..

Структура и объем работы. Научно-квалификационная работа содержит 115 страниц машинописного текста, 46 рисунков, 16 таблиц. Она состоит из: введения, 4 глав, заключения, списка используемой литературы из 154 наименований и приложения.

Работа выполнена при поддержке грантов: ЗабГУ № 351 ГР «Повышение эффективности извлечения ископаемых углей за счёт использования цифровых моделей месторождения с интерполированными качественными характеристиками полезного ископаемого» (для поддержки научно-исследовательской работы аспирантов ЗабГУ), РФФ № 22-27-00293 «Оценка экологического состояния территории Южно-Аргунского буроугольного бассейна, месторождения которого имеют участки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов».

Основное содержание работы.

В первой главе изложено текущее состояние предприятий угольной промышленности России, отдельно выделены предприятия Забайкальского края, дана характеристика углей и продуктов их переработки с учетом проведенных ранее исследований, приводится краткая историческая справка по развитию исследования ископаемых углей на радиоактивность. К первым отечественным работам в этой области можно отнести появившуюся в Украинском химическом журнале в 1929 г. статью авторов Е.С. Буксера, Я.М. Шапиро, К.Г. Бронштейна «Радиоактивность каменных углей и антрацитов Донецкого бассейна», в 1934 г. в этом же журнале была издана подобная статья и о Кузнецких углях (Е.С. Буксер и др., 1934). Исследования авторами статей были проведены на коллекциях проб углей с этих бассейнов. Первым известным отчетом в данной области исследований является отчет о радиоактивности углей Минусинского бассейна (Г.С. Лабазин, 1930). Содержание урана оценивалось в углях по данным химического анализа и среднее содержание в углях U_3O_8 составляло – 0,001%. Существенный вклад в оценку радиоактивности углей вносят работы геохимиков Я.Э. Юдовича и С.И. Арбузова. В связи с открытием в 1962 году партией № 324 Сосновской экспедиции Стрельцовской рудоносной площади начинает разрабатываться наиболее масштабное в стране месторождение природного урана, в короткие сроки формируется город Краснокаменск. В районе географического расположения месторождения выявляется и впоследствии разрабатывается Уртуйское буроугольное месторождение. Отсюда актуальными

становятся исследования Забайкальских ученых Сидоровой Г.П., Овсейчука В.А., Овчаренко Н.В. о содержании ЕРН в бурых углях Уртуйского месторождения, расположенного в непосредственной географической близости от Стрельцовской рудоносной площади и близлежащих разрабатываемых месторождениях бурых углей (рис.1-2).

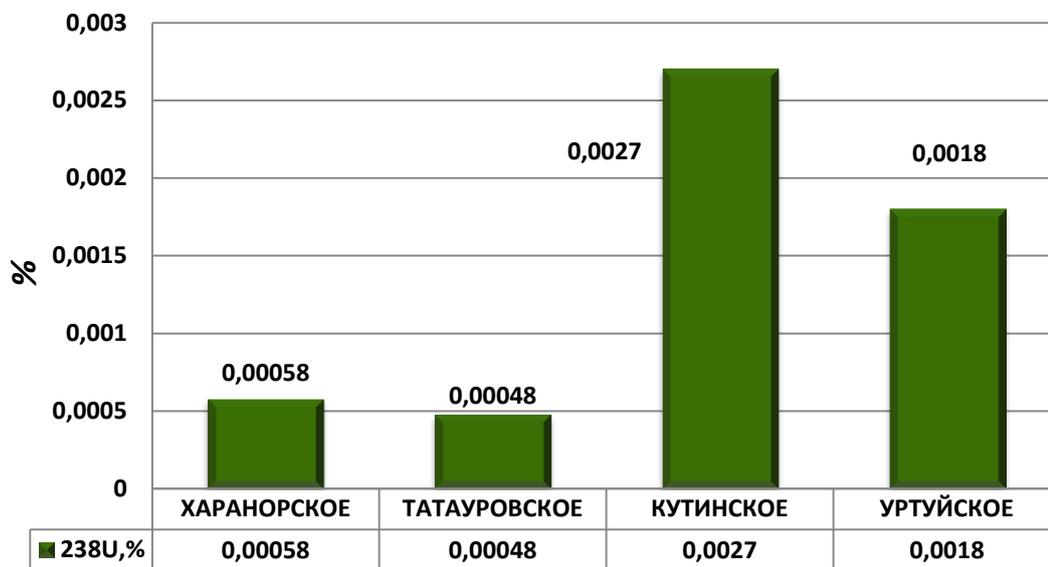


Рис.1- Результаты исследования углей на содержание ^{238}U , % на буроугольных месторождениях Забайкалья (2010-2011 г.г. Сидорова Г.П.)

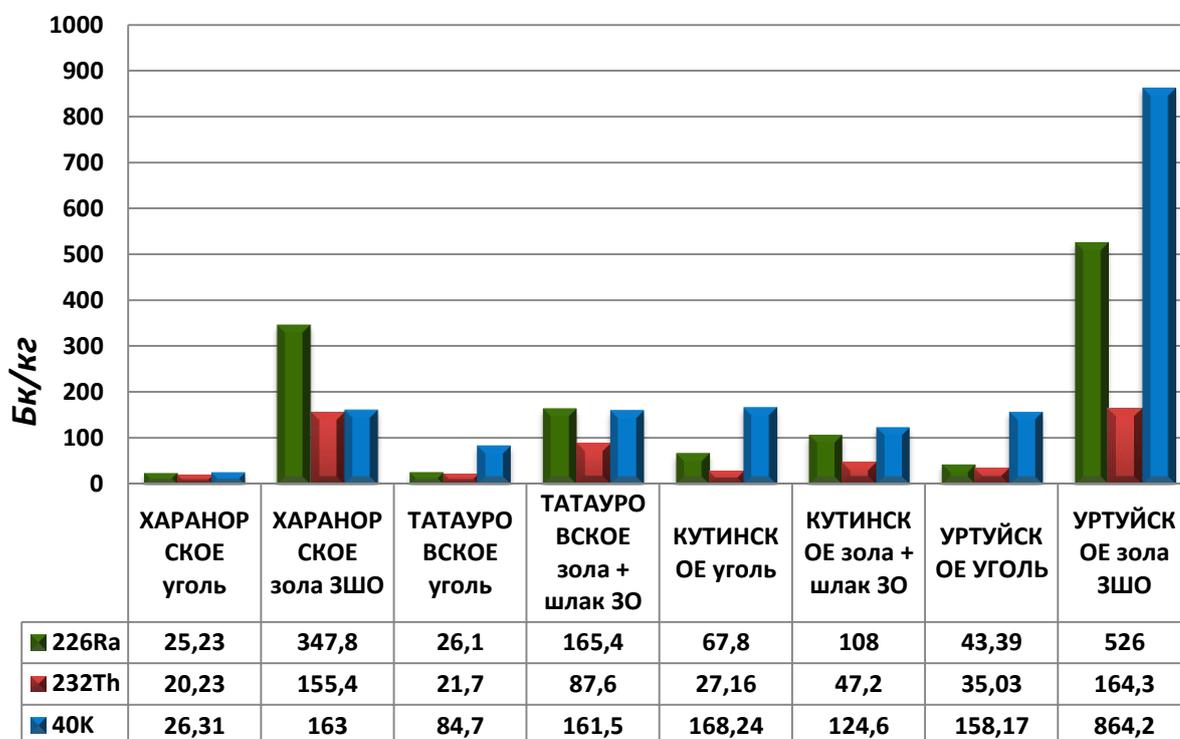


Рис. 2 - Результаты исследования углей на содержание ЕРН, % на буроугольных месторождениях Забайкалья (2010-2011 г.г. Сидорова Г.П.)

Анализ приведенных исследований показывает, что остается открытым вопрос минимизации геоэкологического влияния месторождений ЕРН, сформированных в результате сжигания углей на Харанорской ГРЭС и Краснокаменской ТЭЦ, котельной пос. Приаргунск (Кутинский уголь). Из представленных графиков видно, что содержание ЕРН в золошлаковых отвалах превышает показатели ЕРН в исходном материале (угле) в несколько раз, что, несомненно, оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Во второй главе приводится обоснование первого научного положения. Представлена обзорная характеристика Кутинского бурогоугольного месторождения, приводится описание производства полевых работ, обоснование принципа отбора проб на основании методики ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03 с учетом предложенных дополнений при исследовании Уртуйского месторождения (рис. 3).

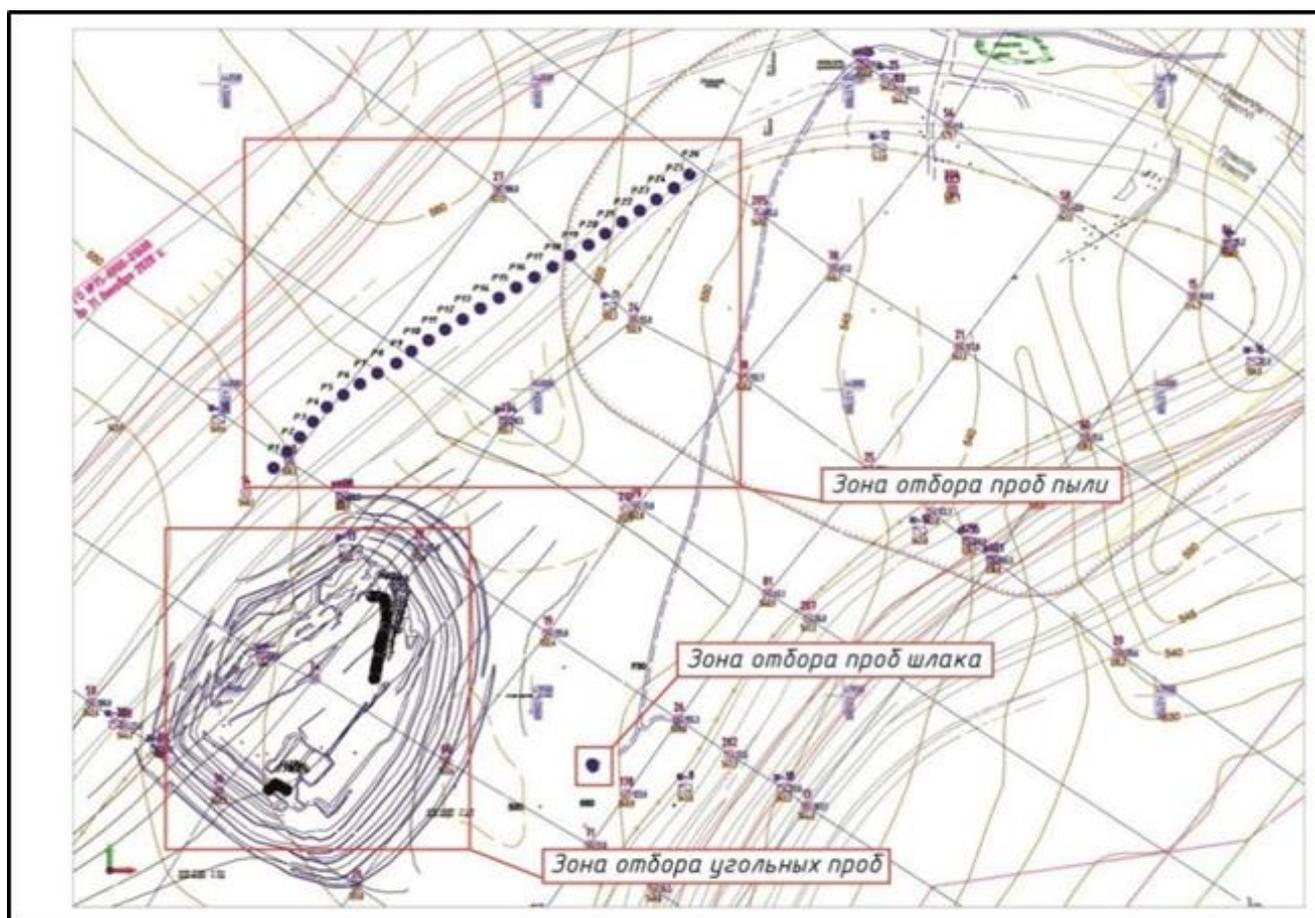


Рис. 3 - План отбора проб на Кутинском бурогоугольном месторождении.

Вскрышные, подстиลาющие и перекрывающие породы отбирались по прямоугольной сетке со сгущением в местах, геометрически повторяющих овальную форму разрабатываемого разреза через 80-100 метров, упаковывались в герметичный пакет. В месте отбора пробы проводилось измерение поверенным дозиметром-радиометром ДКС-96, фиксировалось в описании к пробе. Далее, в лабораторных условиях проба ссыпалась на клеенку, тщательно перемешивалась и просушивалась, квартовалась и помещалась в сосуд маринелли для проведения исследований (рис.4).

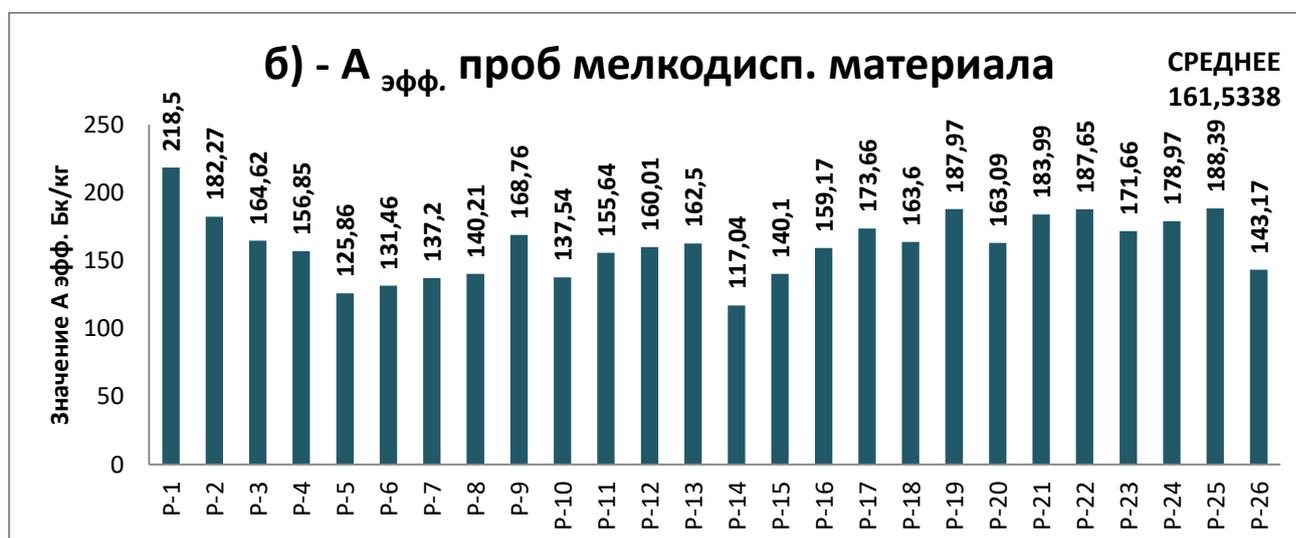


Статистические показатели вариации	Значение
Максимум	132,220
Минимум	89,490
Размах вариации	42,730
Среднее линейное отклонение	6,808
Дисперсия по генеральной совокупности	89,426
Дисперсия по выборке	94,395
СКО генеральное	9,457
СКО по выборке	9,716
Коэффициент вариации	8,7%

Рис. 4 – Результаты испытаний на определение эффективной удельной активности естественных радионуклидов, $A_{эфф.}$ (Бк/кг) с приведением статистических показателей.

Статистические показатели вариации полученных значений эффективной удельной активности, в частности низкий коэффициент вариации 8,7% говорит об однородной совокупности данных выборки. Пробы угля отбирались по схожей методике, но не по сетке, а по всей длине выхода на поверхность угольного пласта «I» добычного забоя со сгущением длины между пробами до 50 метров

(рис. 5а). Пробы мелкодисперстного угольного материала с включением частиц вскрыши также отбирались по той же методике, но не по сетке, а вдоль длины всей дороги от выезда из забоя до развилки между угольным складом и отвалом вскрышных пород через каждые 80 метров (рис. 5б). Пробы золошлаков точно отбирались из отвала котельной, расположенной на территории предприятия согласно руководящему документу РД 34.09.603-88 без приготовления средней пробы со сгущением за счет малого объема отвала (рис 5в).



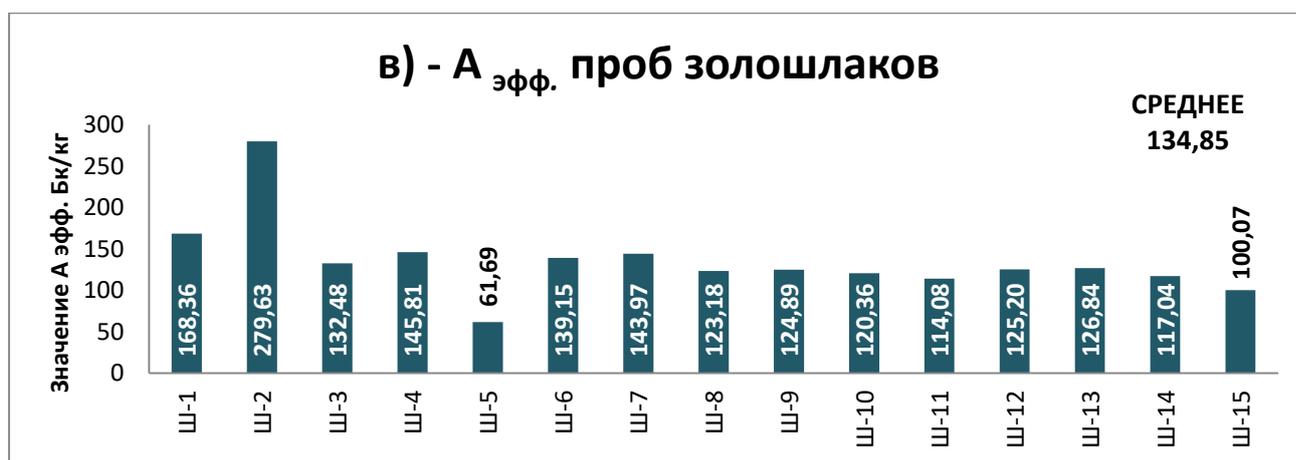


Рис. 5 – Результаты испытаний на определение эффективной удельной активности естественных радионуклидов, $A_{эфф.}$ (Бк/кг) с приведением статистических показателей а – угольных проб, б – проб золошлаков, в – мелкодисперсного угольного материала с включением частиц вскрыши.

Результаты исследований, на первом этапе, по определению удельной эффективной активности углей, золошлаков и мелкодисперсного угольного материала позволили получить предварительные зависимости по схеме: **уголь – золошлак - мелкодисперсный (пылевой) материал**. Полученные средние значения $A_{эфф.}$ в пробах углей, показали увеличение этого показателя в золошлаках – в 7 раз, а мелкодисперсном пылевидном материале - в 8,5 раз. Второй этап исследований заключался в проведении лабораторных испытаний по определению зольности Кутинских углей и выявлению наиболее точной зависимости $A_{эфф.}$ от этого показателя. Испытания на определение зольности проводились по ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010), пересчет результатов измерения зольности углей на сухую массу A^d проводился согласно ГОСТ 27313-2015 (ISO 1170:2013, NEQ). Результаты испытаний приведены на рисунке 6.



Рис. 6 – График соотношения показателей A^d , % и $A_{эфф.}$, Бк/кг.

Полученные результаты позволили определить средний коэффициент связи K_c , характеризующий зависимость зольности и $A_{эфф.}$ в Кутинских углях (Таблица 1).

Таблица 1 – Получение коэффициента связи K_c для $A_{эфф.}$ от A^d для Кутинских углей.

Номер пробы	Влажность аналитическая, W^a	Среднее значение зольности по пробе, A^c %	Среднее значение зольности по пробе, A^d %	$A_{эфф.}$	K_c
У-1	5,7	4,4	4,7	19,18	4,11
У-2	5,7	4,3	4,6	18,88	4,14
У-3	5,7	2,4	2,5	10,65	4,18
У-4	5,7	8,6	9,1	25,95	2,85
У-5	5,7	4,6	4,9	19,15	3,93
У-6	5,7	7,3	7,7	19,35	2,50
У-7	5,7	7,9	8,4	22,13	2,64
У-8	5,7	13,3	14,1	18,75	1,33
У-9	5,7	5,4	5,7	24,29	4,24
У-10	5,7	5,9	6,3	17,58	2,81
У-11	5,7	2,7	2,9	13,46	4,70
У-12	5,7	4,1	4,3	17,54	4,03
У-13	5,7	5,8	6,2	19,69	3,20

У-14	5,7	3,4	3,6	13,84	3,84
У-15	5,7	4	4,2	19,81	4,67
У-16	5,7	4,7	5,0	18,60	3,73
У-17	5,7	4,9	5,2	23,16	4,46
У-18	5,7	5,1	5,4	20,76	3,84
У-19	5,7	8,1	8,6	23,70	2,76
У-20	5,7	3,8	4,0	16,33	4,05
У-21	5,7	2,6	2,8	13,08	4,74
У-22	5,7	9,1	9,7	30,18	3,13
У-23	5,7	4	4,2	16,93	3,99
У-24	5,7	5,1	5,4	19,73	3,65
У-25	5,7	4,1	4,3	17,19	3,95
У-26	5,7	4,9	5,2	18,46	3,55
У-27	5,7	2,7	2,9	10,92	3,81
У-28	5,7	2,9	3,1	13,04	4,24
У-29	5,7	4,3	4,6	19,73	4,33
У-30	5,7	8,5	9,0	25,77	2,86
Ср. знач.	5,7	5,30	5,62	18,93	3,68

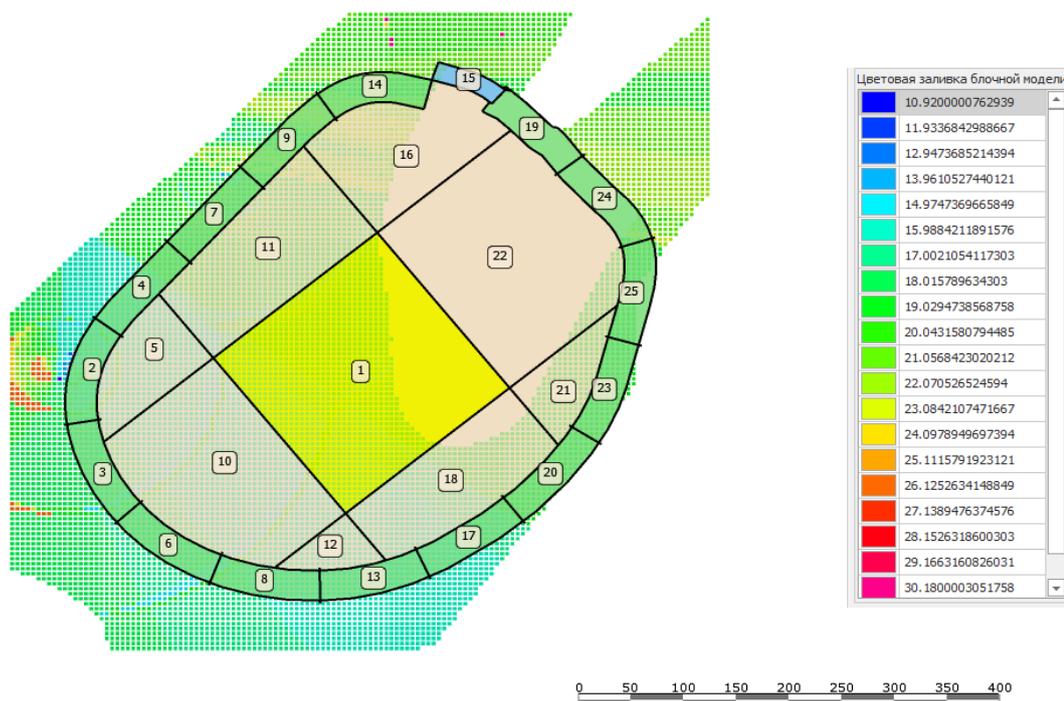
Таким образом, получаем зависимость $A_{эфф.}$ Бк/кг. от A^d , % для Кутинских углей (1):

$$A_{эфф.} = 3,68 * A^d \quad (1).$$

Данная зависимость выведена экспериментально для определения $A_{эфф.}$ прогнозных характеристик золошлаков, которые будут получены при сжигании Кутинских углей. Зависимость применима для прочих бурогольных месторождений при условии экспериментального уточнения характеристик зольности углей и $A_{эфф.}$ в контрольных пробах золошлаков.

В третьей главе представлено обоснование второго научного положения, на основании авторской методики прогнозирования характеристик угольной продукции с использованием цифровой блочной модели (БМ) угольного месторождения. Гипотеза автора относительно использования БМ в процессе прогнозирования качества добываемого ПИ 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. Полученные характеристики позволят делить добытое ПИ по сортам и в зависимости от выявленных параметров или показателей качества и категории опасности присваивать ПИ определенный сорт

и выполнять дальнейший технологический процесс уже опираясь на известные параметры добытого ПИ (рис. 7).



Сорт ПИ	Суммарно	Порода			Рядовой		
		Поле	Значение	мин	макс	Значение	мин
Объем (м ³)	199 998,27	3 417,26	3 417,26	3 417,26	196 581,01	0	103,34
Масса, т.	244 440,36	8 543,15	8 543,15	8 543,15	235 897,21	0	124
Зольность, %	27,33	0	0	0	28,32	15,96	39
ЕРН, Бк/кг	17,13	0	0	0	17,75	14,23	19,18

Рис. 7 – План 505 горизонта Кутинского бурогоугольного месторождения.

Блочная модель кодирована цветами по содержанию ЕРН согласно легенде.

Для составления прогноза по качественным показателям ПИ на основе блочного моделирования, в том числе содержанию ЕРН, а также для выполнения геоэкологического контроля качества угольной продукции предлагается следующая методика:

1. Сжигание опытной партии угля добытой и отгруженной в пределах одного блока проводят в местной котельной или теплоэлектростанции (ТЭС) в течение определенного промежутка времени Т.

2. В угле определяют зольность A^d , % в пересчете на сухую массу арбитражным методом по ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010).

3. В полученных из угля продуктах сжигания – определяют содержание ЕРН по методике измерения активности радионуклидов с использованием синтиляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс» - ГНМЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ГНМЦ «ВНИИФТРИ»), Менделеево, 2003.

4. Выполняют сводный анализ зависимости между средним содержанием ЕРН в углях по блоку и средним содержанием ЕРН в продуктах сгорания углей, представляют соответствующую формулу.

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

6. Переносят на карты погоризонтного планирования горных работ и составляют планы геоэкологического картирования каждого горизонта.

Таким образом, в результате мы получим карту качества добываемого ПИ по критерию опасности с прогнозными значениями содержания ЕРН в продуктах сгорания углей. В случае если на месторождении будет использоваться полная БМ, она сможет выступать основой для геоэкологического прогностического картирования не только по критерию потенциальной опасности углей, но и вскрышных, перекрывающих и подстилающих горных пород.

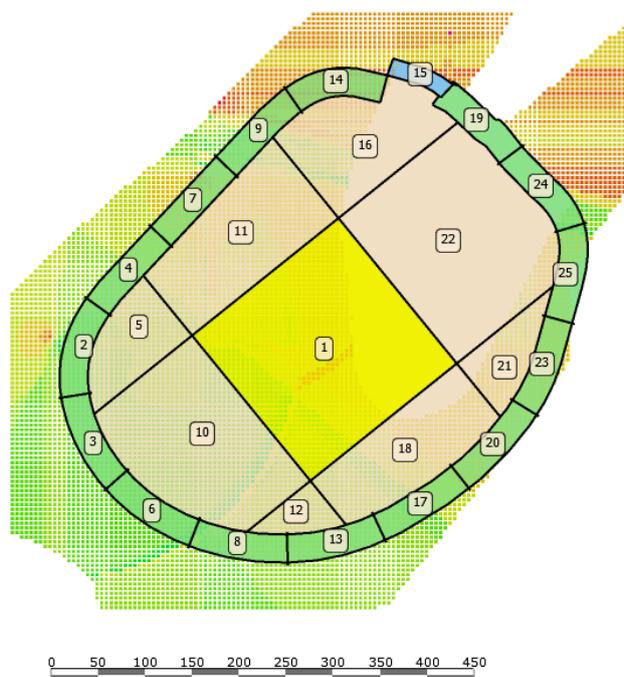
Поскольку дальнейшее геоэкологическое картирование проводится на основании БМ, приведено описание процесса создания цифровой БМ и процесса присвоения трехмерным блокам характеристик, выявленных на этапе экспериментальных исследований, производится заверка выполненной модели на основе данных по месторождению, выявленных на предыдущих этапах его исследования. Проводя анализ результатов испытаний получена аналитическая зольность (A^c) по пробам. Проектом разработки Кутинского месторождения определяется зольность пересчитанная на сухую массу $A^d = 27,9\%$. Средняя зольность из выделенного участка блочной модели, по которой работал автор, отсекая аномально высокие единичные значения, программным комплексом Micromine O&V определяется в 25,29% (рис. 8).

Файл Выбранный файл ФБМ с ЕРН_6.DAT Выбранное поле Зольность Ad (ВЕЩЕСТВЕННОЕ)	
Записи Всего записей 98444 Пустых записей 0 Фильтр Отфильтрованных записей	
Нормальная статистика Минимум 15.959 Максимум 39.000 Кол-во точек 98444 Сумма 2489651.194 Среднее 25.290025 Медиана 21.842495 Дисперсия 63.827842 Стд. отклонение 7.989233 Коэфф. вариации 0.315905	Логнормальная статистика Кол-во точек 98444 Логнорм. среднее 3.181976 Геом. среднее 24.094318 Логнорм. дисперсия 0.095311 Логнормальн. стд. откл. 0.308725 V Шиселя 0.095310 Гамма Шиселя 1.048809 Т-оценка Шиселя 25.270330

Рис. 8 – Фрагмент отчета с описательной статистикой по зольности в пересчете на сухую массу A^d .

Сходимость результатов интерполяции и проектных показателей составляет 90,6%, При этом стоит отметить, что в подсчете принимал участие только участок пласта, находящийся в непосредственной разработке.

В четвёртой главе обосновывается третье научное положение. Представлено использование блочной модели Кутинского бурогоугольного месторождения как основы для планирования горных работ, геоэкологического картирования по критерию потенциальной опасности углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих горных пород, внедренной по результатам проведенного исследования в практику работы ООО «Приаргунский угольный разрез». Описывается результат обратной интерполяции прогнозных содержаний $A_{эфф}$ как основы планирования добычи с учетом показателей содержания ЕРН в блоке. Полученные экспериментально значения $A_{эфф}$ для золошлаков обратно интерполируются в блочную модель на основе выявленной ранее зависимости (1).



Поле	Итого	Порода	Уголь
Объем в блоке (м ³)	199 998,27	3 417,26	196 581,01
A ^d ,%	27,33	0,00	28,32
Аэфф. Бк/кг. прогноз	64,57	0,00	66,91
Аэфф. Бк/кг.	17,13	0,00	17,75

Рис. 9 – План 505 горизонта Кутинского бурогоугольного месторождения. Блочная модель прокодирована цветами по прогнозу содержанию ЕРН после сжигания углей. Прогноз выполнен на основании установленных показателей выявленной зависимости $A_{эфф.} - A^d$.

Средняя зольность по всему пласту $A^d = 27,9\%$, пересчитывается с учетом коэффициента $K_c = 3,68$, выведенного для данного месторождения. В результате пересчета среднее прогнозное содержание ЕРН в углях по всему пласту составит - 102,7 Бк/кг, что не превышает показателей I класса опасности ($A_{эфф.} \leq 370$ Бк/кг). Таким образом среднее прогнозное значение по $A_{эфф.}$ можно получить для любого пласта. Применение подобного подхода ко всем опробованным экспериментальным путем пробам углей позволяет построить блочную модель планируемого к отработке горизонта (рис.9).

На примере стратиграфической колонки скважины № 74, относящейся к XV разрезу, показано распределение ЕРН от фундамента до вскрышных пород,

показано, что при использовании полной (породной) блочной модели при организации планирования добычных и вскрышных работ позволит определять как параметры полезного ископаемого, так и характеристики вскрышных, перекрывающих и подстилающих горных пород (рис. 10).

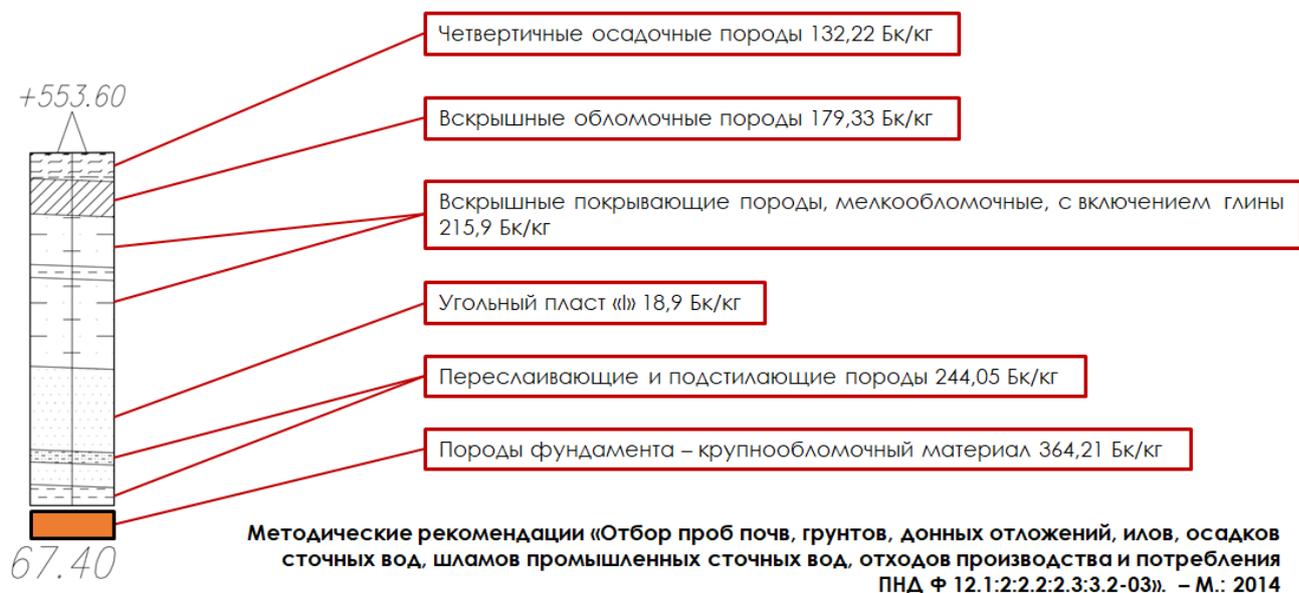


Рис. 10 – Стратиграфическая колонка по 74 скважине XV разреза с включением показателей $A_{эфф}$.

Заключение

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, на основе теоретических и экспериментальных исследований, решена актуальная научная задача - обоснование и разработка методики прогнозирования качества угольной продукции по критерию её потенциальной опасности на основе цифровой блочной модели, Кутинского бурогоугольного месторождения, при применении которой появляется возможность прогнозирования влияния характеристик углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих пород с учетом их потенциальной опасности на состояние окружающей среды. Прогноз потенциальной опасности угольной продукции – важнейший вопрос, который требует детального анализа, а исследования, направленные на минимизацию геоэкологического воздействия угольной генерации энергии, прогнозирования

рисков подобного воздействия на окружающую среду, являются весьма актуальными для региона, где основным видом топлива, для выработки электроэнергии является уголь.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации, полученные лично автором:

1. Обоснована взаимосвязь величины удельной эффективной активности ($A_{эфф.}$) от зольности (A^d) добываемых углей, за исключением зон их окисления. Установлена зависимость радиационно-экологических характеристик углей в пласте «I» Кутинского бурогоугольного месторождения с показателями аналитической зольности и в пересчете на сухое состояние.
2. Показано, что блочная модель угольного месторождения может выступать основой для геоэкологического картирования по критерию потенциальной опасности углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих горных пород.
3. На примере Кутинского бурогоугольного месторождения доказано, что процесс обратной интерполяции значений удельной эффективной активности $A_{эфф}$ в блочную модель при использовании выявленной ранее для углей месторождения зависимости удельной эффективной активности ($A_{эфф}$) от зольности (A^d), позволяет получить на основе блочной модели полезного ископаемого цифровую прогнозную модель содержания ЕРН в каждом трехмерном блоке.
4. Разработана методика цифрового прогнозирования качества угольной продукции по критерию потенциальной опасности её использования (с учётом содержания ЕРН в углях и золошлаках – продуктах сжигания углей). Использование разработанной методики позволяет получать погоризонтные планы разработки угольных месторождений с прогностической оценкой их характеристик, а также добиться оптимальных технологических результатов работы угледобывающего предприятия.
5. Проведены экспериментальные исследования содержания ЕРН в углях, вскрышных, подстилающих, перекрывающих породах Кутинского бурогоугольного месторождения, а также золошлаках отвала котельной, мелкодисперсного угольного материала с включением частиц породы. С учётом предложенной

методики дана оценка углям Кутинского бурогольного месторождения по критерию их потенциальной опасности.

6. Разработана, апробирована и внедрена в работу ООО «Приаргунский угольный разрез» цифровая блочная модель Кутинского бурогольного месторождения как основа для подготовки погоризонтных планов развития горных работ.

7. Методика цифрового прогнозирования качества угольной продукции внедрена в учебную программу по дисциплине «Математические методы моделирования в горном деле» в Горной академии Забайкальского государственного университета.

8. Проведена апробация разработанной программы для ЭВМ по определению сорта полезного ископаемого в трехмерных ячейках блочной модели, на основе данных по одному или нескольким показателям качества, для геоэкологического картирования пластов угля и построения планов горных работ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

В изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования в Российской Федерации:

1. Сидорова, Г. П. Прогнозирование качества угля с применением блочной модели пласта (на примере Кутинского бурогольного месторождения) / Г. П. Сидорова, **П. М. Маниковский** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 12. – С. 55-66. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_12_0_55. – EDN GHNVEN.

2. Рудные элементы в ископаемых углях месторождений Забайкалья / Г. П. Сидорова, П. Б. Авдеев, А. А. Якимов, **П. М. Маниковский** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 10. – С. 79-85. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-10-0-79-85. – EDN CHVWTS.

3. Мониторинг состояния окружающей среды на территориях, вовлеченных в обращение углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов / Г. П. Сидорова, П. Б. Авдеев, А. А. Якимов, **П.М. Маниковский** [и др.] // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 12. – С. 102-113. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-12-0-102-113. – EDN MSJEFI.

4. **Маниковский, П. М.** Современное состояние предприятий угольной промышленности России и их потенциал для внедрения цифровых технологий / П. М. Маниковский, Г. П. Сидорова // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2020. – Т. 7. – № 2. – С. 18-24. – DOI 10.15372/FPVGN2020070203. – EDN HONYXX.

5. **Маниковский, П. М.** Методика моделирования рудных месторождений в ГГИС / П. М. Маниковский, Л. А. Васютин, Г. П. Сидорова // *Вестник Забайкальского государственного университета.* – 2021. – Т. 27. – № 2. – С. 6-14. – DOI 10.21209/2227-9245-2021-27-2-6-14. – EDN QELWIT..

6. **Маниковский, П. М.** Управление качеством углей по критерию их опасности с использованием цифровых моделей полезного ископаемого на Кутинском бурогольном месторождении / П. М. Маниковский // *Вестник Забайкальского государственного университета.* – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 8-23. – DOI 10.2109/2227-9245-2023-29-2-8-23. – EDN FCPRLN.

7. Оценка радиационно-экологической безопасности ископаемых углей Забайкалья / Г. П. Сидорова, **П. М. Маниковский**, А. А. Якимов, Н. В. Овчаренко // *Вестник Забайкальского государственного университета.* – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 36-44. – DOI 10.2109/2227-9245-2023-29-2-36-44. – EDN NMIDGO.

В прочих изданиях:

1. **Маниковский, П. М.** Прогнозирование параметров безопасности углей с применением блочной модели угольного пласта (на примере Кутинского бурогольного месторождения) / П. М. Маниковский // *Материалы XXII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, с международным участием в г. Нерюнгри, посвященной 30-летию юбилею Технического института (филиала) СВФУ им. М.К. Аммосова : Материалы конференции, Нерюнгри, 28–29 октября 2022 года / Редколлегия: А.В. Рукович, Н.Н. Гриб, П.Ю. Кузнецов [и др.]. – Якутск: Северо-Восточный*

федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2022. – С. 143-148. – DOI 10.52994/9785751333737_037. – EDN EKDVNF.

2. **Маниковский, П. М.** Создание цифровых блочных моделей пластовых месторождений с интерполированными характеристиками полезного ископаемого (на примере Кутинского бурого угольного месторождения) / П. М. Маниковский // Углекислотная и экология Кузбасса : Сборник тезисов докладов XI Международного Российско- Казахстанского Симпозиума, Кемерово, 04–06 июня 2022 года. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углекислотной Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 52. – DOI 10.53650/9785902305651_52. – EDN RPUJLY.

3. Создание цифровой блочной модели Кутинского бурого угольного месторождения / **П. М. Маниковский**, Д. А. Днепровская, А. С. Петрова, Е. Р. Парыгина // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : Материалы XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Чита, 28 ноября – 02 2022 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2022. – С. 13-18. – EDN RESVLQ.

4. **Маниковский, П. М.** Отработка угольных месторождений с повышенным содержанием естественных радионуклидов, как фактор влияния на радиационно-экологическое состояние региона (на примере Забайкальского края) / П. М. Маниковский // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : Материалы VI Методика моделирования рудных месторождений международной конференции. В 2-х томах, Томск, 20–24 сентября 2021 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. – С. 340-344. – EDN QAIPYZ.

5. **Маниковский, П. М.** Метод условного (имплицитного) моделирования как инструмент геологического моделирования месторождений ТПИ / П. М. Маниковский, Д. А. Днепровская, А. С. Петрова // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : Материалы XXI Международной научно-практической конференции. В 3 ч., Чита, 29 ноября – 03

2021 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2021. – С. 35-40.
– EDN FVGGBK.

6. Сидорова, Г. П. Определение статистических показателей вариации и установление закона распределения радиоактивных элементов в углях на примере Уртуйского бурогоугольного месторождения / Г. П. Сидорова, **П. М. Маниковский** // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : Материалы XXI Международной научно-практической конференции. В 3 ч., Чита, 29 ноября – 03 2021 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2021. – С. 40-56. – EDN SPXZJD.

7. **Маниковский, П. М.** Факторы, препятствующие успешному инновационному развитию минерально-сырьевого комплекса и горнорудной отрасли Российской Федерации / П. М. Маниковский // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : Материалы XX Международной научно-практической конференции. В 3-х частях, Чита, 30 ноября – 04 2020 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2020. – С. 53-60. – EDN XQSPQJ.

8. **Маниковский, П. М.** Геолого-математическое моделирование месторождений как фактор формирования профессиональных компетенций при подготовке современных горных инженеров / П. М. Маниковский, Н. В. Овчаренко, А. Н. Наумов // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. В 3 ч., Чита, 28–30 ноября 2019 года / ответственный редактор: А. В. Шапиева. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2019. – С. 24-29. – EDN XRHGPG.