

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

На правах рукописи

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»

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Сидорова Галина Петровна

Чита, 2023

Оглавление

Введение.....	4
1. Анализ текущего состояния предприятий угольной промышленности России и вопроса потенциальной геоэкологической опасности угольной продукции.....	11
1.1. Анализ текущего состояния угледобывающих предприятий России	11
1.2. Анализ текущего состояния угледобывающих предприятий Забайкальского края.....	20
1.3. Анализ разработанности вопроса присутствия ЕРН в углях, вскрышных, подстилающих и перекрывающих породах угольных месторождений	29
Выводы по главе.....	33
2. Экспериментальные исследования характеристик углей Кутинского буроугольного месторождения	34
2.1. Характеристика Кутинского буроугольного месторождения и архивный анализ методик его исследования.....	34
2.2. Методика отбора проб углей, мелкодисперсного угольного материала с частицами вскрышных пород, пород перекрывающих и подстилающих угольный пласт, золошлаков	48
2.3. Экспериментальные исследования по определению зольности Кутинских углей.....	51
2.4. Экспериментальные исследования содержания естественных радионуклидов в пробах углей, мелкодисперсного угольного материала с частицами вскрышных пород, пород перекрывающих и подстилающих угольный пласт, золы и шлаков	54
2.5. Определение зависимости содержания естественных радионуклидов в углях от полученной зольности.....	57
Выводы по главе.....	59
3. Методика прогнозирования характеристик угольной продукции на основе цифровой блочной модели угольного месторождения	61

3.1. Математические цифровые модели и анализ опыта их применения в горном деле.....	61
3.2. Цифровое моделирование Кутинского буроугольного месторождения	62
3.3. Методика прогнозирования характеристик угольной продукции на основе цифровой блочной модели угольного месторождения	73
Выводы по главе.....	76
4. Блочная модель Кутинского буроугольного месторождения как основа для геоэкологического картирования по критерию потенциальной опасности углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих горных пород.....	77
4.1. Цифровое моделирование пласта «I» Кутинского буроугольного месторождения	77
4.2. Цифровая блочная модель как основа создания качественного прогноза по добыче углей	81
4.3. Алгоритм погоризонтного картирования и его использование на ООО «Приаргунский угольный разрез»	83
Выводы по главе.....	93
Заключение	94
Список литературы	97

Введение

Актуальность темы исследования. Современное состояние угольной отрасли Российской Федерации можно с уверенностью охарактеризовать как ситуацию устойчивого развития, в большей степени переходящую в развитие инновационное, готовность к внедрению цифровых технологий и инструментов. 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» [1,2,3].

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 [4,57,99].

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 буроугольное 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 буроугольного 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 буроугольное 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 буроугольного 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 буроугольного месторождения, вскрытых, подстилающих и перекрывающих породах.

Предложена методика оценки углей Кутинского буроугольного 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 буроугольного 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 вскрытых 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 буроугольного 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 $A_{\text{эфф}}$ 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 $A_{\text{эфф}}$ в блочную модель при использовании выявленной ранее для месторождения зависимости $A_{\text{эфф}}$ 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 «Углехимия 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-летнему юбилею 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 $A_{\text{эфф}}$ вскрытых 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 буроугольного 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)[5].

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.

Автор выражает свою признательность научному руководителю, профессору, д-ру техн. наук Сидоровой Г.П. за методическую помощь при написании научно-квалификационной работы.

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), РНФ № 22-27-00293 «Оценка экологического состояния территории Южно-Аргунского буроугольного бассейна, месторождения которого имеют участки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов».

1. Анализ текущего состояния предприятий угольной промышленности России и вопроса потенциальной геоэкологической опасности угольной продукции

1.1. Анализ текущего состояния угледобывающих предприятий России

Угольная промышленность России в настоящее время характеризуется ситуацией устойчивого развития. Предприятия готовы к внедрению инновационных технологий несмотря на ряд негативных ограничений с которыми сталкивается. Подобного мнения придерживается большая часть научного сообщества, связанного с угольной отраслью. Так, в работах А.А. Рожкова, И.С. Соловенко, Т.А. Коркиной [6, 7, 56, 58-63, 100, 126-130] выделяется четыре основных этапа развития угольной промышленности (Рисунок 1).

Первый этап (1988–1993 гг.) — социально-экономический спад, период раз渲ала СССР и перехода к рыночной экономике. Второй этап (1994–2002 гг.) — основная фаза реструктуризации отрасли, когда происходило объединение еще функционирующих разрезов и шахт в крупные компании и постепенная нормализация, стабилизация ситуации. К примеру, в этот период на базе предприятий Забайкальского края, Иркутской области и Республики Бурятия сформировалось ОАО «Сибирская Угольная Энергетическая Компания» (СУЭК) — сегодняшний лидер по добыче угля в России. Третий этап (2003–2018 гг.) — наращивание производственных мощностей, выход на мировые рынки и увеличение объемов экспорта угля, т. е. период стабильного экономического роста и развития производств. Ярким примером является компания СУЭК, которая в 2004 г. значительно расширила свое присутствие в Кузбассе, где на своей базе объединила угольные и электроэнергетические активы.

Четвертый период — (ориентировочно 2019–2030 гг.) — этап инновационного развития отрасли. Это время цифровой трансформации, массового внедрения интернета вещей, создания цифровых двойников

предприятий, внедрение безлюдных, беспилотных технологий работы, автоматизированных систем управления (далее — АСУ) всеми циклами работы предприятия и других трендов программы «Индустратия 4.0» и следующей за ней «Общество 5.0» [8].

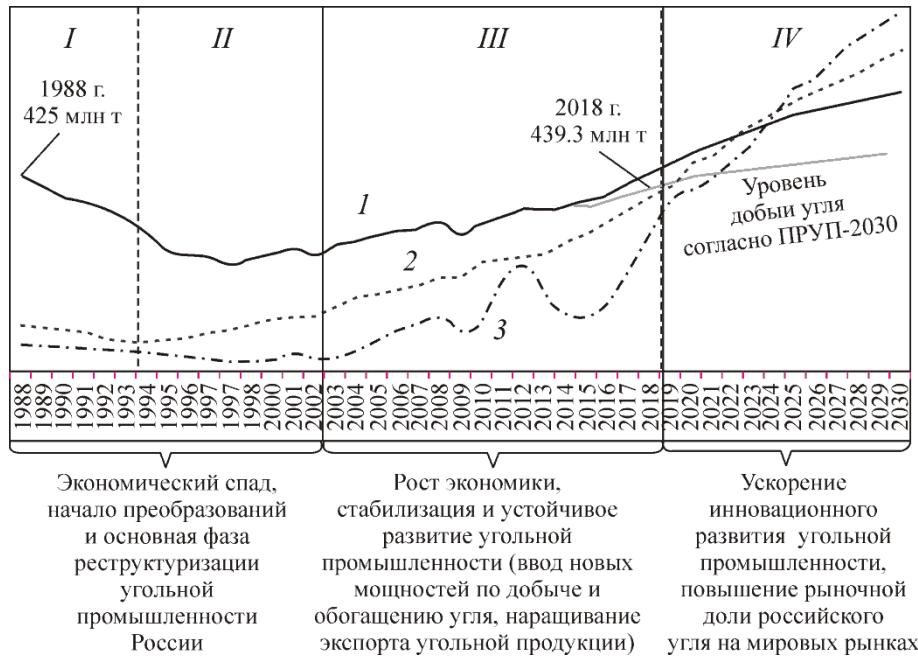


Рисунок 1. Фазы развития угольной промышленности России по А. А. Рожкову: I — экономический спад 1988–1993 гг.; II — основная фаза 1994–2002 гг.; III — завершение реструктуризации, стабилизация, выход на траекторию устойчивого развития 2003–2018 гг.; IV — инновационное развитие и цифровая трансформация 2019–2030 гг. (1 — добыча; 2 — производительность; 3 — инвестиции)

Анализ текущего состояния Российской угольной отрасли относительно общемировых тенденций невозможен в отрыве от исторических событий последних десятилетий и прогнозных оценок аналитических агентств, изучающих мировой рынок угля и основные характеристики угольных производств. Так, например, АО Росинформуголь приводит два сценария развития угольной промышленности России на период до 2035 г. (Рисунок 2).

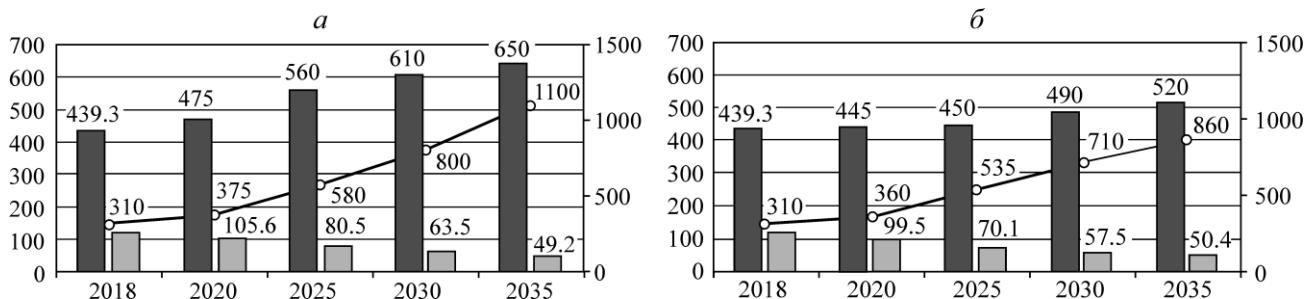


Рисунок 2. Сценарии инновационно-технологического развития угольной промышленности России на период до 2035 г. по А. А. Рожкову: а — ускоренного; б — минимального (■ — добыча угля, млн т; ■ — среднесписочная численность работников в основном производстве, тыс. чел. —○— производительность труда на 1 занятого в основном производстве, т/чел. мес.)

Вне зависимости от того как будет развиваться отрасль четко обозначены тенденции на увеличение производительности труда из расчета на 1 рабочего, общее сокращение численности персонала в связи с глобальной цифровизацией процессов угледобычи и рост объемов производства угля. Эти тренды представлены в проекте программы развития угольной промышленности России на период до 2035 г., которая в целом одобрена на заседании Правительства 27 февраля 2020 г. и в других документах [9–11, 64,101,131-133]. Согласно приведенным аналитическим отчетам, отрасль будет стабильно развиваться несмотря на тренд к сокращению числа занятых, увеличению производительности труда из расчета на одного сотрудника и повышения доли вырабатываемой «зеленой» энергии.

На территории России расположено 22 угольных бассейна и 141 отдельное месторождение. Свыше 2/3 разведанных запасов сосредоточены в пределах двух угольных бассейнов — Канско-Ачинского буроугольного бассейна (Красноярский край, Кемеровская область) и Кузнецкого каменноугольного бассейна (Кемеровская область). По итогам 2018 г. добыча угля в России достигла рекордного значения в 439.3 млн т, увеличившись на 6.8 % к уровню 2017 г. Более половины (58.1 %) российской добычи обеспечивает Кузнецкий угольный бассейн. На Канско-Ачинский приходится 9.2 % добычи, на Печорский — 2.3 %,

на Донецкий — 1.2 %. Вклад других угольных бассейнов составляет 29.2 % [12,13, 65].

Крупнейшие энергетические агентства не видят большого потенциала углей в долгосрочной перспективе. Прогноз Международного энергетического агентства МЭА (Energy Information Administration EIA) предполагает, что общемировое потребление угля до 2050 г. будет стагнировать [14, 66-71, 102-105]. Несмотря на это показатели Российской угольной отрасли продемонстрировали высокий темп роста за последние 15 лет. Основным драйвером роста добычи угля в стране явился экспорт, который за 2010 – 2018 гг. увеличился на 80 %, обеспечив рост производства угля на 36 %. Ожидается, что в период до 2030 – 2040 гг. такая ситуация сохранится (Рисунок 3).

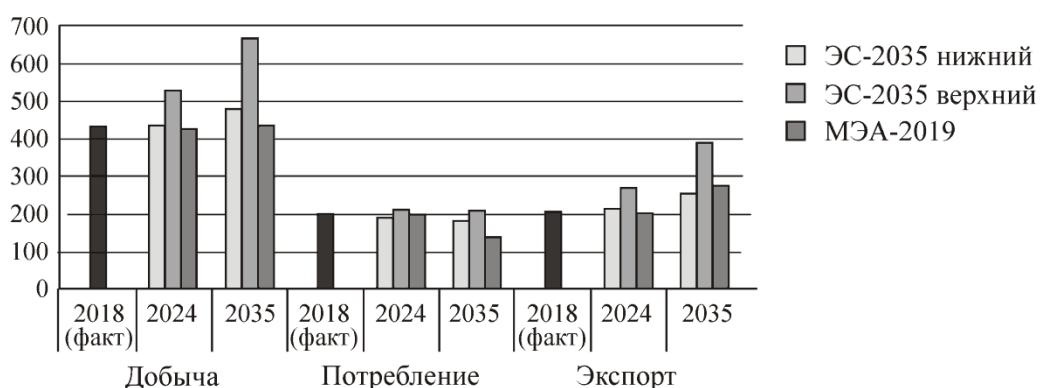


Рисунок 3. Основные показатели российской угольной отрасли и прогноз, согласно энергетической стратегии, на период до 2035 г. (ЭС-2035)

Следует сказать, что к 2020 году в структуре Российского экспорта угля ключевые позиции заняли страны Азии. Основными направлениями экспорта стали: Китай (29,4 млн. т), Республика Корея (23,1 млн. т) и Япония (21,4 млн. т). Кроме того, в сравнении с 2019 годом значительный рост показал экспорт в Турцию (+56,6% г/г) и Тайвань (+31,5% г/г). В то же время за 2020 год существенно снизился экспорт угля в европейские страны, в первую очередь в Германию (-53,1% г/г) и Нидерланды (-23,8% г/г) (Рисунок 4). Ситуация

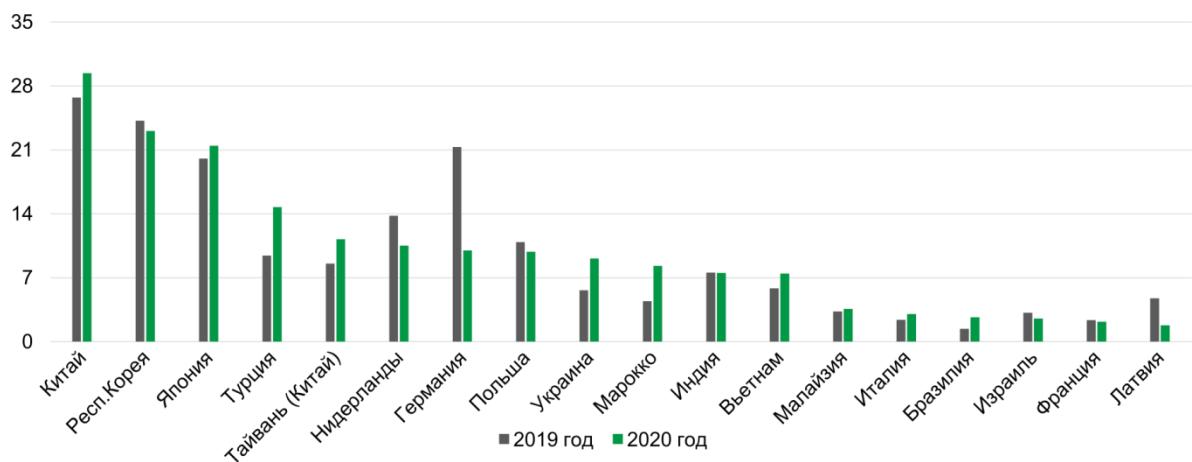


Рисунок 4. Направления экспорта угля из России за 2020 год (по крупнейшим потребителям, млн. т.) по данным Федеральной таможенной службы России

Это обусловлено экономическим спадом и сокращением выработки электроэнергии угольными станциями. В последние годы в Европе быстро развивается возобновляемая энергетика: так, по итогам 2020 года доля выработки электроэнергии на базе возобновляемых источников в Европе составила 20% (в т.ч. в Дании – 61%, в Германии – 33%, и в Испании – 29%) (Рисунок 5) [15, 106-109].

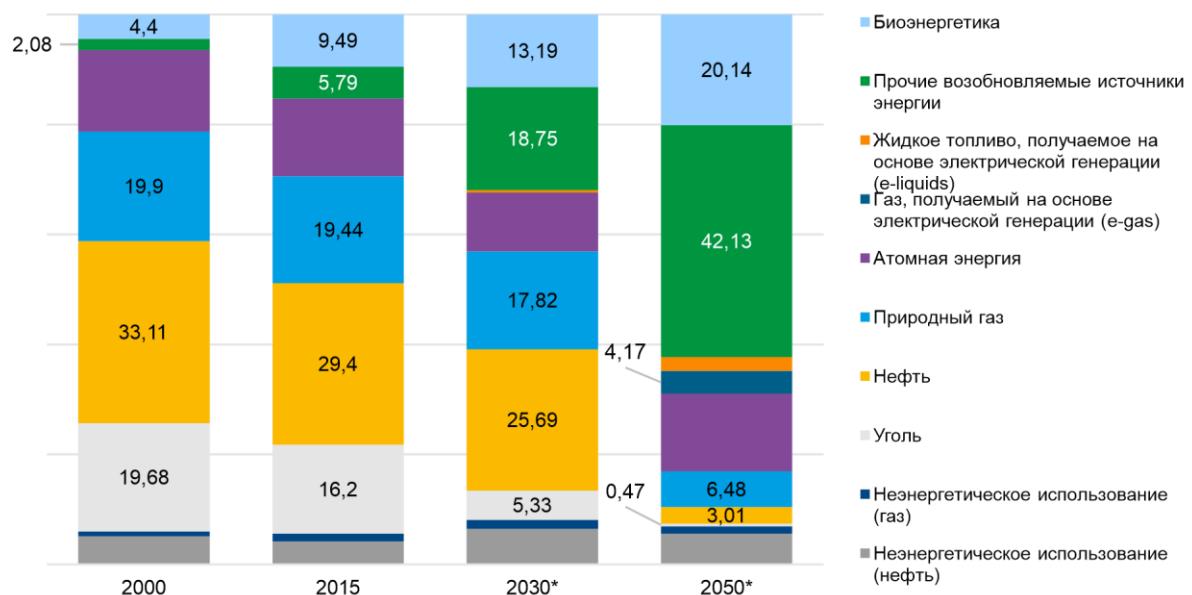


Рисунок 5. Эволюция структуры потребления энергии ЕС, в процентах, по данным The European Council on Foreign Relations (ECFR)

Тем не менее, согласно прогнозам, как консалтинговых компаний, так и представителей государственных структур, уголь еще на протяжении нескольких десятилетий будет иметь существенную долю в производстве энергии, а страны Азиатско-тихоокеанского региона продолжают наращивать импорт угля, несмотря на целый ряд негативных факторов, с которыми столкнулись все страны мира в 2021 году [15,16, 72].

Структура угольной генерации в единой энергетической системе России находится на первой позиции. Учитывая её долю в 66,56% относительно общей генерации энергии, а также опираясь на Программу развития угольной промышленности России на период до 2035, года можно с уверенностью констатировать, что на протяжении длительного времени, как минимум до 2050 года угольная отрасль будет находиться в состоянии стабильного развития и глубокой стагнации не произойдёт (Рисунок 6).

Учитывая тренд на увеличение доли возобновляемой энергетики, который прослеживается в европейском регионе в целом, для обеспечения конкурентоспособности Российских угольных компаний Правительством РФ была разработана и 13 июня 2020г. принята к реализации Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года [17,73-75,110, 134].

Она включает три этапа своей реализации: I этап 2019 - 2025 годы, II этап 2026 - 2030 годы, III этап 2031 - 2035 годы.

Сами по себе, предприятия по добыче угля являются источниками комплексного негативного воздействия на окружающую среду. Связано это с большой площадью отчуждаемых территорий при разработке месторождений открытым способом, выбросами угольной пыли в атмосферу, как при отработке угольных разрезов, так и при осуществлении вентиляции угольных шахт. Угольная энергетика России ежегодно генерирует примерно 22 млн. тонн ЗШО, а всего в стране к 2021 году, по разным подсчетам, их накопилось от 1,4 до 1,8 млрд. тонн. Площадь, занимаемая хранилищами этих отходов, исчисляется десятками тысяч гектаров. Уровень утилизации ЗШО в Европе достигает 90%, в

Китае и Индии 67% и 55% соответственно. В России на данный момент, по разным оценкам, перерабатывается лишь от 9 до 15% ЗШО.

В «Энергетической стратегии РФ до 2035 года» [18], утвержденной распоряжением правительства РФ №1523-р от 9 июня 2020 года, зафиксирован целевой показатель утилизации ЗШО, который должен быть достигнут к окончанию планового периода: не менее 50% от общего объема годового образования.

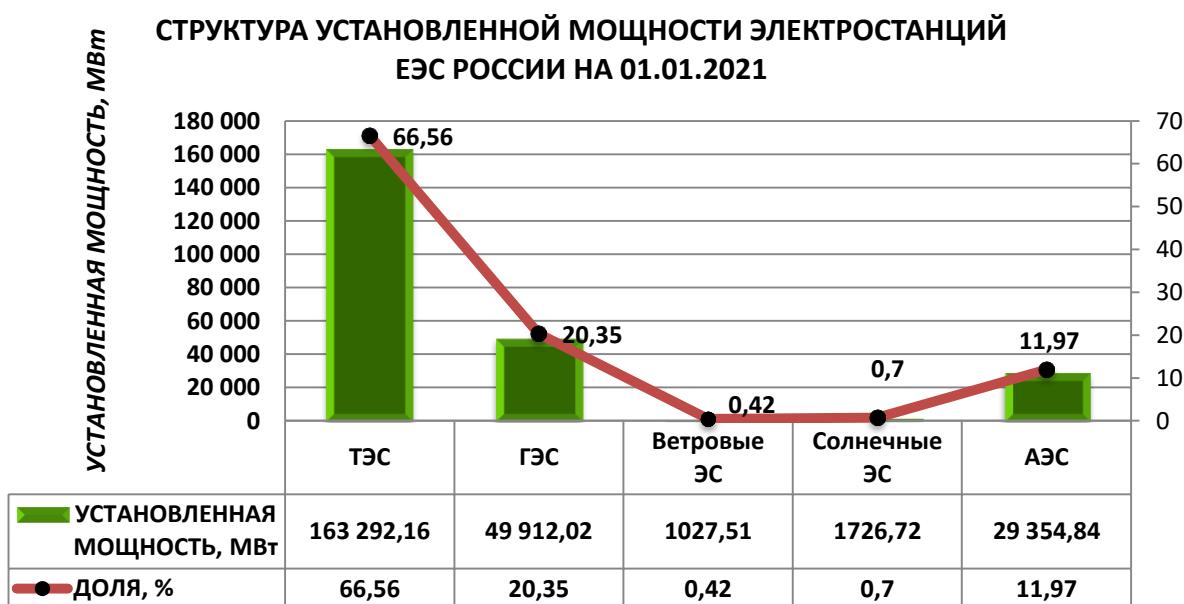


Рисунок 6. Структура установленной мощности электростанций ЕЭС России на 01.01.2021, по данным ПАО «Россети»

Помимо этого, еще более весомым является фактор загрязнения воздуха летучими веществами, которые образуются при сжигании угля на ТЭС (тепловых электрических станциях), в основном городских (ГРЭС) и золошлаковыми отходами, которые образуются при использовании угля в качестве топлива. Содержащиеся в виде примесей в таких отвалах тяжелые металлы и их соединения в конечном итоге с водой попадают в почву, вызывая ее загрязнение.

Учитывая фактор ужесточения требований к качеству угольной продукции, в частности к проблемам радиационного загрязнения естественными радионуклидами (ЕРН) особого внимания требует контроль над содержанием

ЕРН в угольном топливе. ЕРН накапливаются как в отвалах ТЭС, так и в виде аэрозолей попадают в атмосферу [19, 76-88, 111-123, 135-153].

Известно, что верхние окисленные части угольных пластов некоторых месторождений (Казахстан, Забайкальский край Российской Федерации) сопровождаются урановой минерализацией. Выделяют угли с нижекларковым и кларковым содержанием урана, ураноносные угли и месторождения урана в углях (уреноугольные). Кларк урана в углях находится в интервале 1 – 3,6 г/т., принимается для углей мира 2 г/т [20, 89]. Содержание урана в ураноносных углях примерно на математический порядок и более превышает кларковый уровень.

Радиационное воздействие на окружающую среду, персонал и население оказывают добыча и обогащение таких углей. Наибольшую же нагрузку вызывает использование угля в качестве минерального топлива.

До 70% углей сжигается (в России около 40 %), около 20 % идёт на коксование и 10 % - в строительство; развивается направление по комплексной переработке углей и золошлаковых отходов для получения редкоземельных элементов, получение из углей термоантрацита, жидкого топлива, адсорбентов, получение удобрений - гуминовых кислот. Все переделы угля связаны с термическими процессами.

Опасность ионизирующего излучения возрастает при переходе от угля к золе и шлаку. Так, сжигание опытной партии бурых ураноносных углей Уртуйского месторождения показало, что содержание урана в золошлаковых отходах увеличивается в 3 - 5 раз по сравнению с исходным углем. Из чего можно сделать вывод о повышенном содержании ЕРН в почве на месте складирования подобных отходов. Радиационную опасность источника воздействия характеризуют величиной удельной эффективной активности ($A_{\text{эфф}}$). Эффективная активность для равновесных условий учитывает содержание ЕРН в рудах или углях и вмещающих породах, а также в производственных отходах.

$$A_{\text{эфф}} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K,$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельная активность изотопа ^{226}Ra , продукта распада ^{238}U и ^{232}Th , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами рядов

соответственно, A_K – удельная активность ^{40}K , (Бк/кг). Эта величина характеризует мощность дозы гамма-излучения, создаваемую большими массами материала с равномерным распределением радионуклидов.

На текущий момент исследование на присутствие ЕРН проведены на 4 разрезах Забайкальского края: Харанорском (Харанорское буроугольное месторождение), Восточном (Татауровское буроугольное месторождение), Уртуйском (Уртуйское буроугольное месторождение), Кутинском (Кутинское месторождение бурого угля) [21,22].

ГРАФИК ДОБЫЧИ УГЛЯ В РОССИИ В 2011–2020 ГОДАХ:

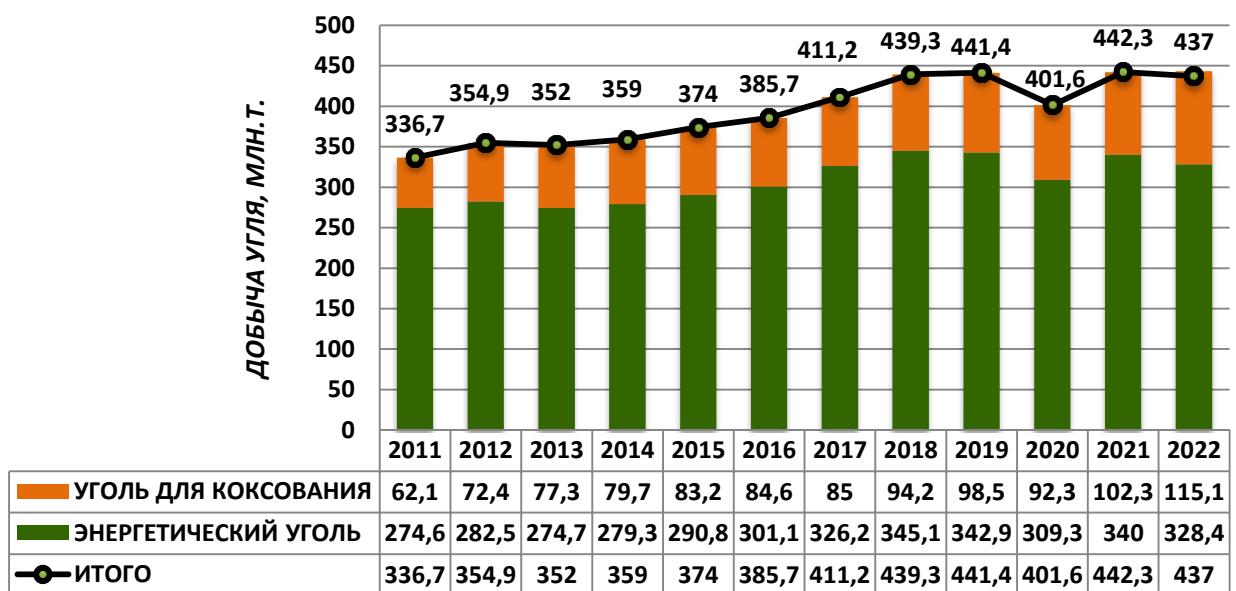


Рисунок 7. График добычи угля в России в 2011–2020 годах, млн. т. (по данным Министерства энергетики Российской Федерации)

По данным ЦДУ «ТЭК» (Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса) по состоянию на 01.01.2021 добычу угля в Российской Федерации осуществляли 179 угольных предприятий, в том числе 58 шахт и 121 разрез. Производственная мощность по добыче угля на начало 2020 года составляет 508 млн. т., увеличение добычи угля по отношению к 2019 году произошло в Южном (+82,9 тыс. т, +1,5%), Северо-Западном (+76,8 тыс. т, +0,7% к 2019 г.) и Дальневосточном (+1 832,3 тыс. т, +2,4%) федеральных округах. Снижение добычи угля отмечено в Центральном (-86,7 тыс. т, -54,3%) и

Сибирском (-42 581,3 тыс. т, -12,2%) федеральных округах (Рисунок 7). Основной вклад в добычу угля по Российской Федерации вносит Сибирский федеральный округ (76,4% от общего объема добычи угля в России). [23]

1.2. Анализ текущего состояния угледобывающих предприятий Забайкальского края

Согласно данных Росстата, в 2020 году в Забайкальском крае добыча угля сократилась на 16,8% по отношению к 2019 году и составила ориентировочно 17 млн.т., что составляет 4,2% от общей добычи угля в России в 2020 году. Сокращение было вызвано ограничениями, с которыми столкнулись все промышленные производства в период пандемии и падением цен на энергоресурсы, а также в связи с консервацией добычи на Апсатском угольном разрезе (ООО «Арктические разработки»). В 2021 году добыча также сократилась относительно 2020 еще на 8,3%, что также связано с различного уровня ограничениями и ужесточением требований к качеству выпускаемой продукции (Рисунок 8) [24-26].



Рисунок 8. График добычи угля в Забайкальском крае в 2017–2021 годах, млн. т. (по данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Забайкальскому краю)

Харанорское буроугольное месторождение.

Расположено в северной части довольно пологой Харанорской впадины на юге Забайкальского края в непосредственной близости от г. Борзя. Вытянуто в меридиональном направлении на 22 км. при ширине около 8 км. Верхняя граница многолетнемерзлых пород колеблется в пределах 7-18 метров. Температура пород в среднем от - 0,3 до -2,0°C. Сейсмически район не опасен. Месторождение известно с 1885 г. В 1908 году введено в эксплуатацию, после проведения геологоразведочных работ М.М. Бронниковым в 1885-1899 годах. Последние работы по геологоразведке закончены в 1985 г. Ф.Ф. Бойтманом. [27]

Уртуйское буроугольное месторождение.

Месторождение расположено в Краснокаменском районе Забайкальского края. Вытянуто в субмеридиональном направлении на 3 км. при ширине 1-2,3 км., его общая площадь около 6 км². Район относится к зоне распространения островной мерзлоты. Непосредственно на месторождении и вблизи него многолетнемерзлые грунты не наблюдаются. Нижняя граница многолетнемерзлых пород в долине реки Урулонгуй отмечается на глубине 14-22 м. Температура пород в среднем от -0,1 до -0,5°C. Район относится к зоне слабой сейсмической опасности. Признаки сейсмической активности отсутствуют. Первые сведения о месторождении датированы 1968 годом. В период 1968-1977 гг. партией 98 Сосновского ПГО (Ю.А. Игошин и В.Н. Бавлов) в ходе исследований было выявлено Уртуйское месторождение угля. Разведка месторождения проведена В.А. Шлейдером и другими в 1983-1985 гг. [27, 90-96]

Кутинское буроугольное месторождение.

Месторождение относится к Южно-Аргунскому угленосному району. Сам угленосный район приурочен к Южно-Аргунской впадине,

протяженность которой около 120 км. при ширине 16-20 км. Впадина выполнена верхнеюрскими вулканогенно-осадочными образованиями тулукевской свиты, нижнемеловыми вулканогенно-осадочными образованиями тургинской и угленосными отложениями кутинской свит. В структурном отношении Кутинское месторождение представляет собой замкнутую мульду, вытянутую в северо-восточном направлении. Ширина центральной части составляет 2,5 км. длина около 7 км. В пределах территории впадины развита многолетняя мерзлота, которая носит островной характер. Сейсмичность района низкая (менее 4 баллов). Первые упоминания о наличии угля вдоль реки Аргунь в районе Дуроевского караула относятся к середине XIX века. Поиски угля начаты в связи со строительством Транссибирской железной дороги (1896). [27]

Сравнительный анализ теплотворной способности углей Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Марочный состав углей Харанорского месторождения определён по ГОСТ 25543-88 (позднее заменен на ГОСТ 25543-2013) в ходе его эксплуатации при отработке пласта «Новый-Іа». Они относятся к технологической марке Б, группе 2Б, к подгруппе 2БВ – второй бурый витринитовый.[28]

Сравнительный анализ теплоты сгорания (Q^{daf} , МДж/кг) углей Харанорского месторождения представлен в виде гистограммы по четырём выделенным пластам: «І», «Новый-ІІ», «Новый-Іа» и «Новый-Іб» (Рисунок 9).

Угли Уртуйского месторождения по ГОСТ 25543-88 (позднее заменен на ГОСТ 25543-2013) относятся к технологической марке Б, группе Б2, подгруппам 2БВ (45% запасов) и 2БФ (55% запасов), часть запасов углей (с W_{\max} менее 28%) соответствует группе 3Б.

Сравнительный анализ теплоты сгорания (Q^{daf} , МДж/кг) углей Уртуйского месторождения представлен в виде гистограммы по трём выделенным пластам: «Мощный», «М1», «М3» (Рисунок 10).

По содержанию рабочей влаги, СО₂, выходу летучих веществ, показателю отражения гуминита и теплоте сгорания угли Южно-Аргунского района согласно ГОСТ 25543-88 (позднее заменен на ГОСТ 25543-2013) относятся к технологической марке Б, подгруппам 2Б и 3Б (на Кутинском месторождении преобладают угли 2Б).

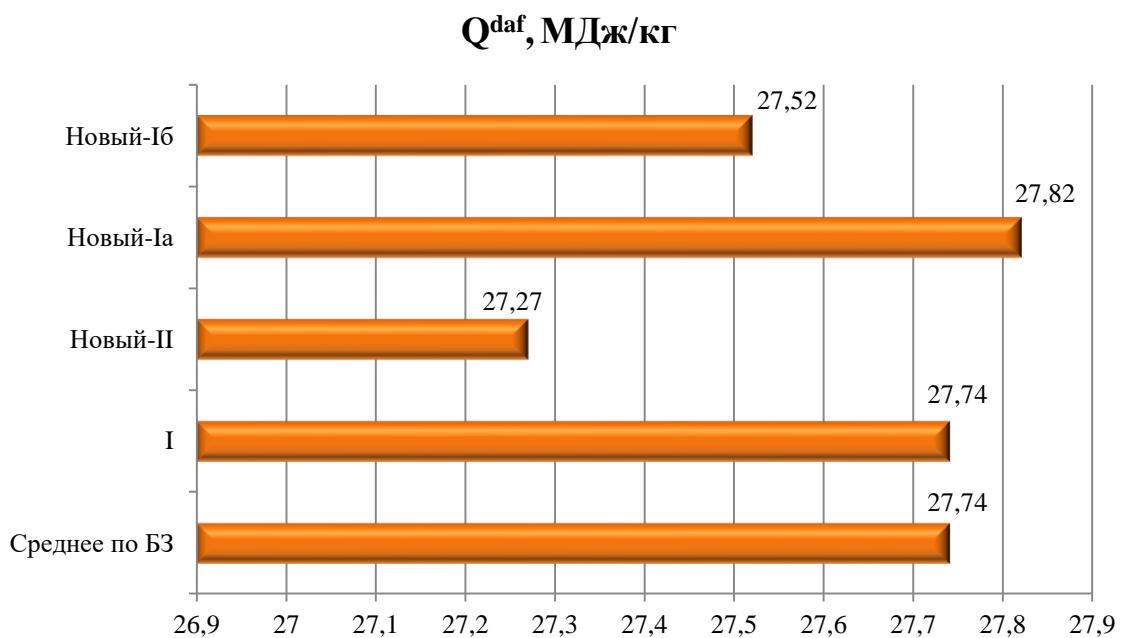


Рисунок 9. Сравнительный анализ теплоты сгорания (Q^{daf}) углей Харанорского месторождения по пластам «I», «Новый-ІІ», «Новый-Іа» и «Новый-Іб» и среднее по балансовым запасам.

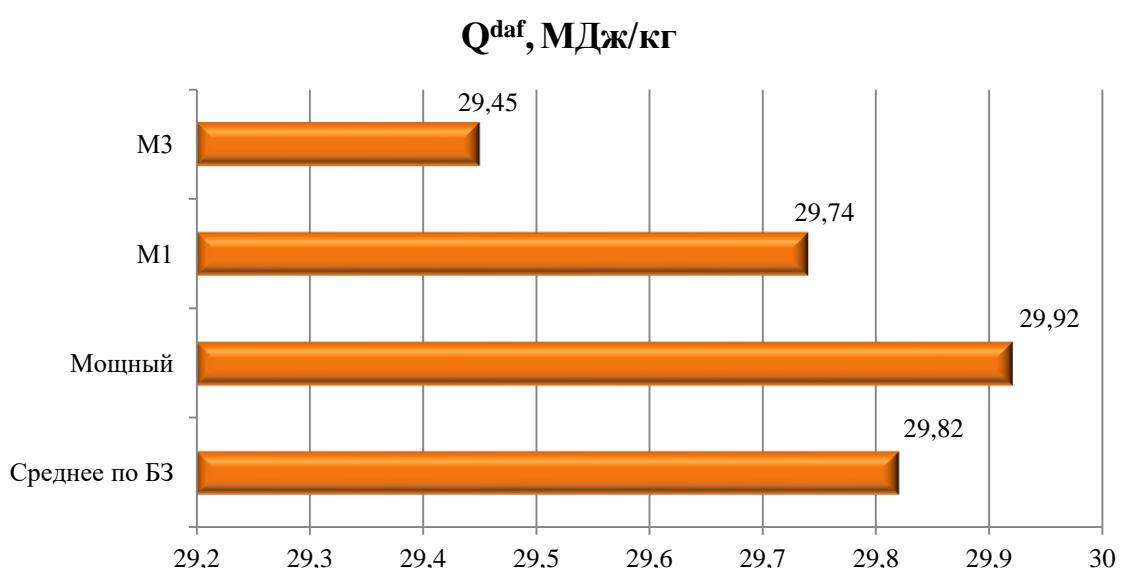


Рисунок 10. Сравнительный анализ теплоты сгорания (Q^{daf}) углей Уртуйского месторождения по пластам «Мощный», «M1», «M3» и среднее по балансовым запасам.

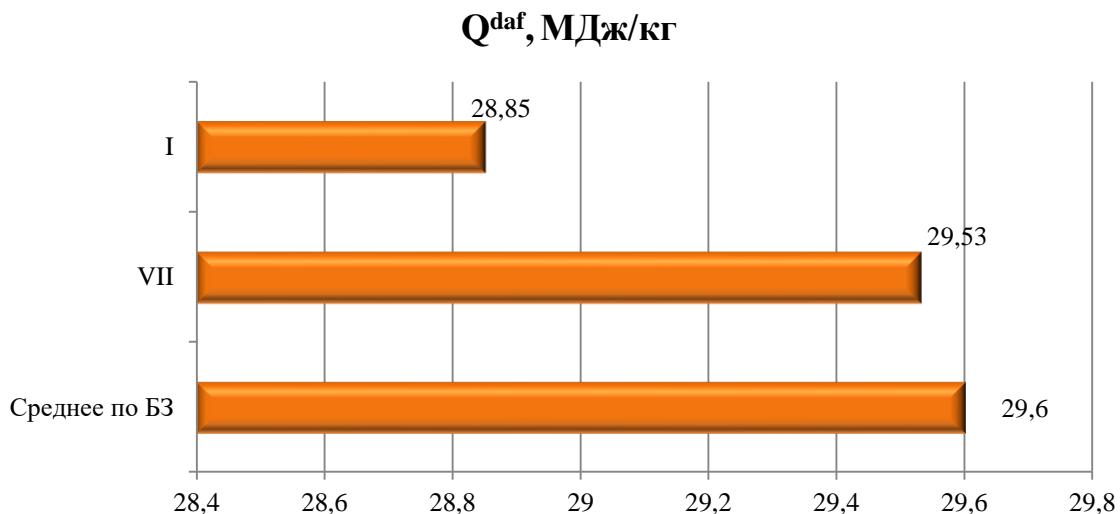


Рисунок 11. Сравнительный анализ теплоты сгорания (Q^{daf}) углей Кутинского месторождения по пластам «I», «VII» и среднее по балансовым запасам.

Сравнительный анализ теплоты сгорания (Q^{daf} , МДж/кг) углей Кутинского месторождения представлен в виде гистограммы по двум выделенным пластам: «I», «VII» (Рисунок 11).

Таким образом, на основе вышеприведенного анализа можно с уверенностью судить о том, что угли месторождения отнесены к одной технологической марке – «Б», подгруппе 2Б (в подавляющем большинстве), обладают примерно одинаковой теплотой сгорания, которая колеблется от 27,74 на Харанорском буроугольном месторождении и до 29,82 на Уртуйском буроугольном месторождении.

Сравнительный анализ выхода летучих веществ углей Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Ниже, в виде гистограммы приведен сравнительный анализ средних показателей выхода летучих веществ по трем исследуемым месторождениям.

Выход летучих веществ (V^{daf} , %), так же как и теплота сгорания находится в примерно одинаковом диапазоне, что говорит об одинаковых технологических свойствах углей. В отличие от предыдущего анализа отойдем от сравнения по каждому пласту исследуемых месторождений и возьмем средние показатели по всем представленным в предыдущем анализе пластам. На Кутинском месторождении к анализу приняты пласти «I», «VII», на Уртуйском «Мощный», «M1», «M3», на Харанорском «I», «Новый-II», «Новый-Ia», «Новый-Ib» (Рисунок 12).

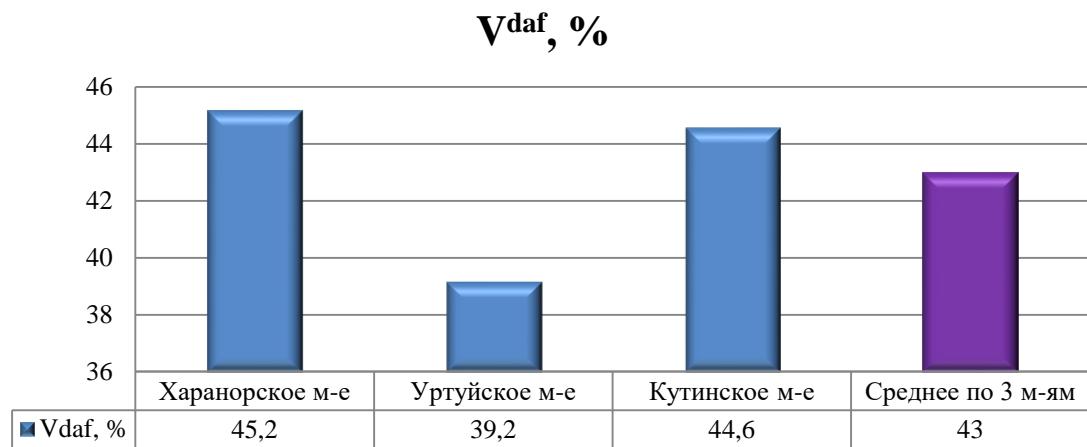


Рисунок 12. Сравнительный анализ средних показателей выхода летучих веществ (V^{daf} , %) Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Сравнительный анализ влажности углей Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Влажность угля зависит от его метаморфизма, степени окисления, петрографического состава и ряда других факторов. Повышенная влажность угля вызывает понижение теплоты сгорания углей, пониженная, в свою очередь приводит к высокой пылеватости углей. Согласно ГОСТ 25543-2013 [28], влажность угля марки 2Б должна быть в пределах 30-40%. Этим параметрам примерно соответствуют угли рассматриваемых месторождений. Анализ влажности средних показателей углей Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений представлен на рисунке (Рисунок 13).

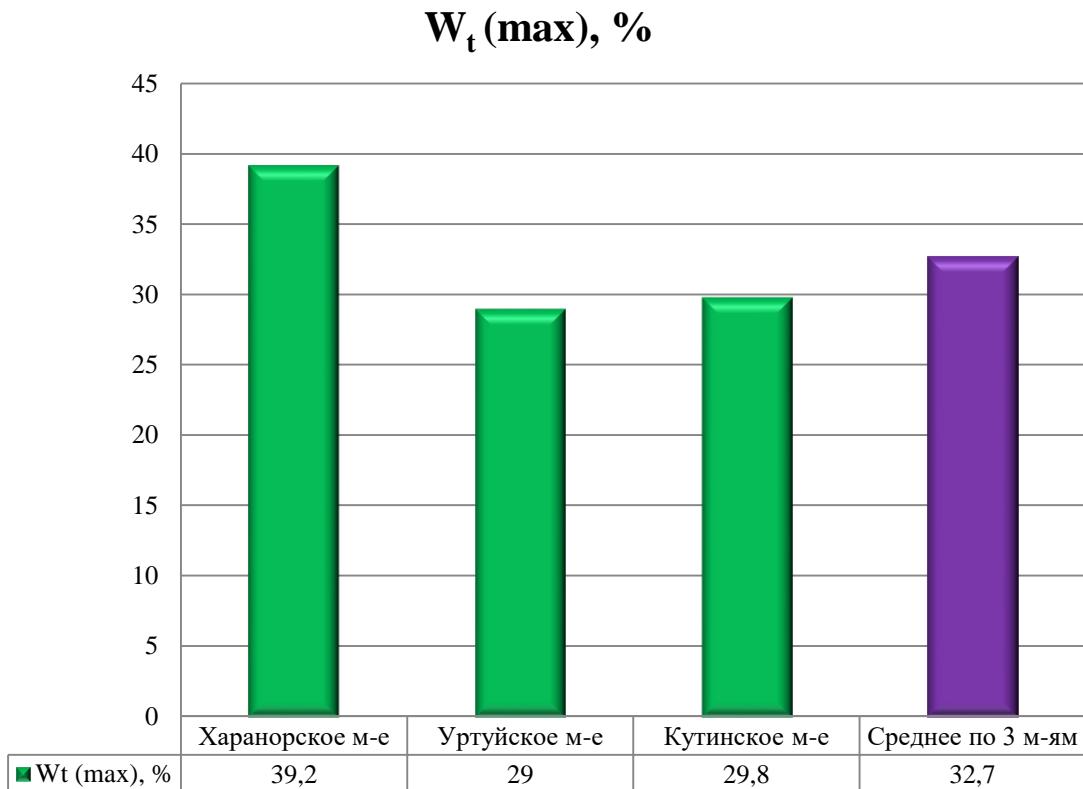


Рисунок 13. Сравнительный анализ средних показателей влажности ($W_t \max, \%$)
Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Сравнительный анализ зольности углей Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Этот показатель характеризует наличие в угле минеральных компонентов (количество твердых веществ, оставшихся после сжигания угля). При сжигании часть этих веществ улетает с дымовыми газами, образуя летучую золу, а часть спекается в пористую массу - шлак. Чем больше показатель зольности, тем хуже качество угля. Пересчет золы на сухую массу обозначается A^d и измеряется в %. Сравнительный анализ зольности средних показателей углей Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений представлен в виде гистограммы. На основе него четко видны резко отличающиеся показатели Кутинского буроугольного месторождения (Рисунок 14).

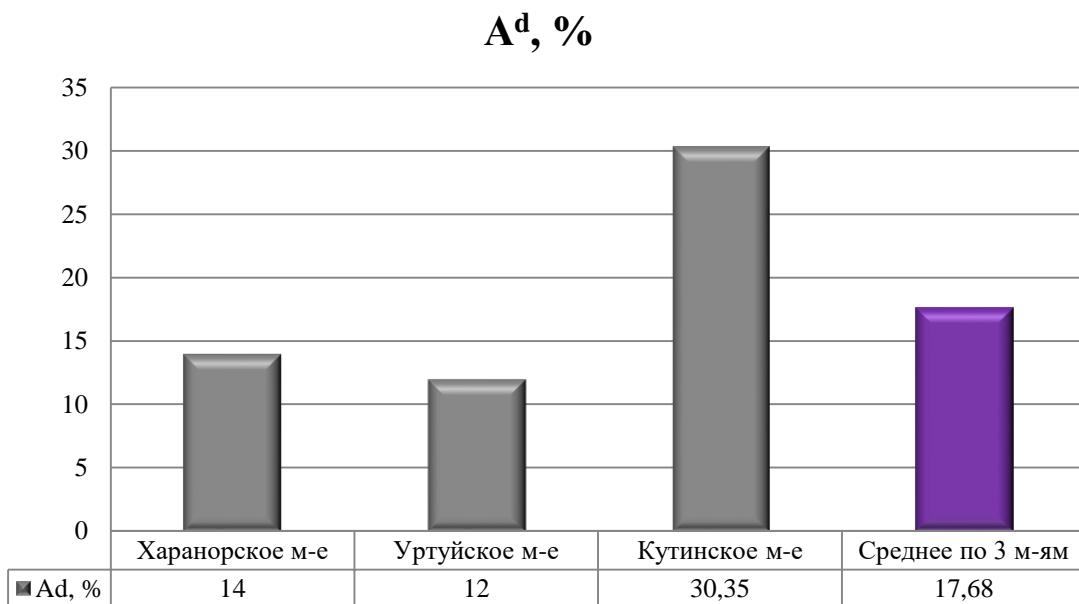


Рисунок 14. Сравнительный анализ средних показателей зольности ($A^d, \%$)
Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Сравнительный анализ содержания серы (S) в углях Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Показатель, обозначающийся буквой S_t^d (массовая доля общей серы), измеряется в процентах от общей массы угля. Серы содержится во всех видах твердого топлива, причем содержание общей серы колеблется от 0,1 до 12 %. Независимо от направления использования углей, S относится к числу вредных примесей. Присутствие серы в углях вызывает износ технологического оборудования, ухудшает качество продуктов переработки углей, приводит к загрязнению окружающей среды. Необогащенному рассортированному углю, согласно ГОСТ 32464-2013 [29,97] соответствует содержание серы до 3,0 %. Сравнительный анализ содержания S в углях Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений представлен в виде гистограммы. Из анализа видно, что содержание серы находится в пределах допустимого порогового значения и не превышает 0,5% (Рисунок 15).

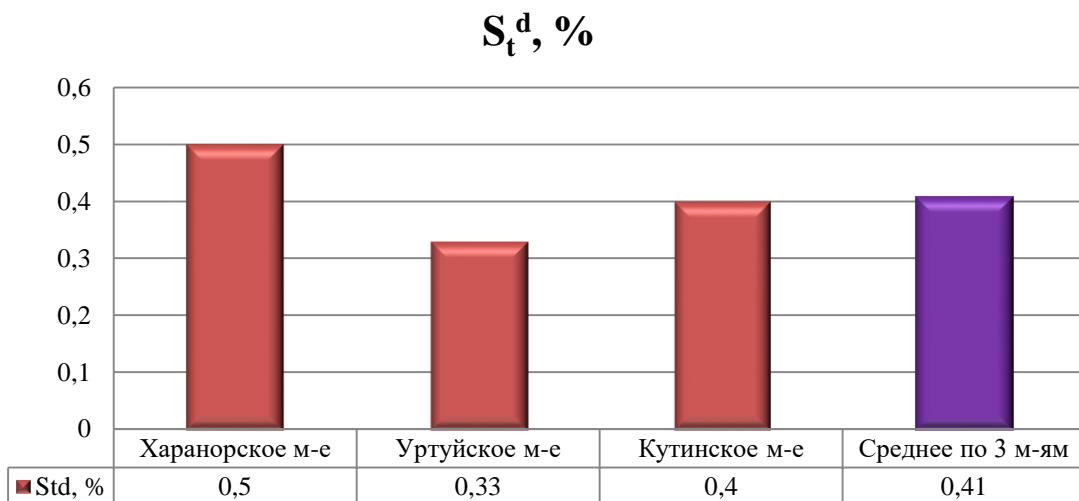


Рисунок 15. Сравнительный анализ содержания серы (S) в углях Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Сравнительный анализ содержания Мышьяка (As) в углях Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Показатель, обозначающийся буквой As^d (массовая доля мышьяка), измеряется в процентах от общей массы угля. Концентрация мышьяка в углях изменяется в широких пределах — от 0,3 до 8000 г на тонну сухого топлива. В среднем содержание мышьяка колеблется от 10 до 250 г/т (10-250 ppm), где 1 ppm=1г/т* 10^{-4} %. As - токсичный элемент, который вызывает загрязнение окружающей среды при сжигании угля и является технологически вредным элементом при производстве кокса. Необогащенному рассортированному углю, согласно ГОСТ 32464-2013 [29] соответствует содержание мышьяка не более 0,02 % или 200 ppm. Показатель по всем трём рассматриваемым месторождениям низок и не превышает допустимых пределов [28].

1.3. Анализ разработанности вопроса присутствия ЕРН в углях, вскрытых, подстилающих и перекрывающих породах угольных месторождений

В работах Г. П. Сидоровой освещается метод отработки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов, применяемый на Уртуйском буроугольном разрезе. Он заключается в определении сорта угля на основе среднего содержания урана по угльному интервалу в пределах каждого горизонта (уступа), составлении на основе этих данных погоризонтных карт качества по радиационным параметрам, сортировкой угля на угольном складе и дальнейшем перемешивании (шихтовании) на штабелях угольного склада. При этом добытые угли комплексного сорта, которые непригодны для использования в угольной генерации энергии, складируются в специально подготовленные отвалы с основанием из ПГС (песчано-гравийной смеси), а сверху обрабатываются специальными пенообразователями для предотвращения попадания внутрь отвала влаги и минимизируют его пыление [30].



Рисунок 16. Результаты исследования углей на содержание ^{238}U , % на буроугольных месторождениях Забайкалья (2010-2011 г. Сидорова Г.П.)

Производственная мощность Уртуйского буроугольного разреза составляет 4,5 млн.т. угля в год, что составляет в среднем в разные годы примерно 25% от

общей добычи угля в Забайкальском крае. Детальные исследования Уртуйских углей и анализ геологических условий размещения пластов других буроугольных месторождений Забайкальского края дали основания для проведения исследований на содержание ЕРН в углях этих месторождений (Рисунок 16,17).

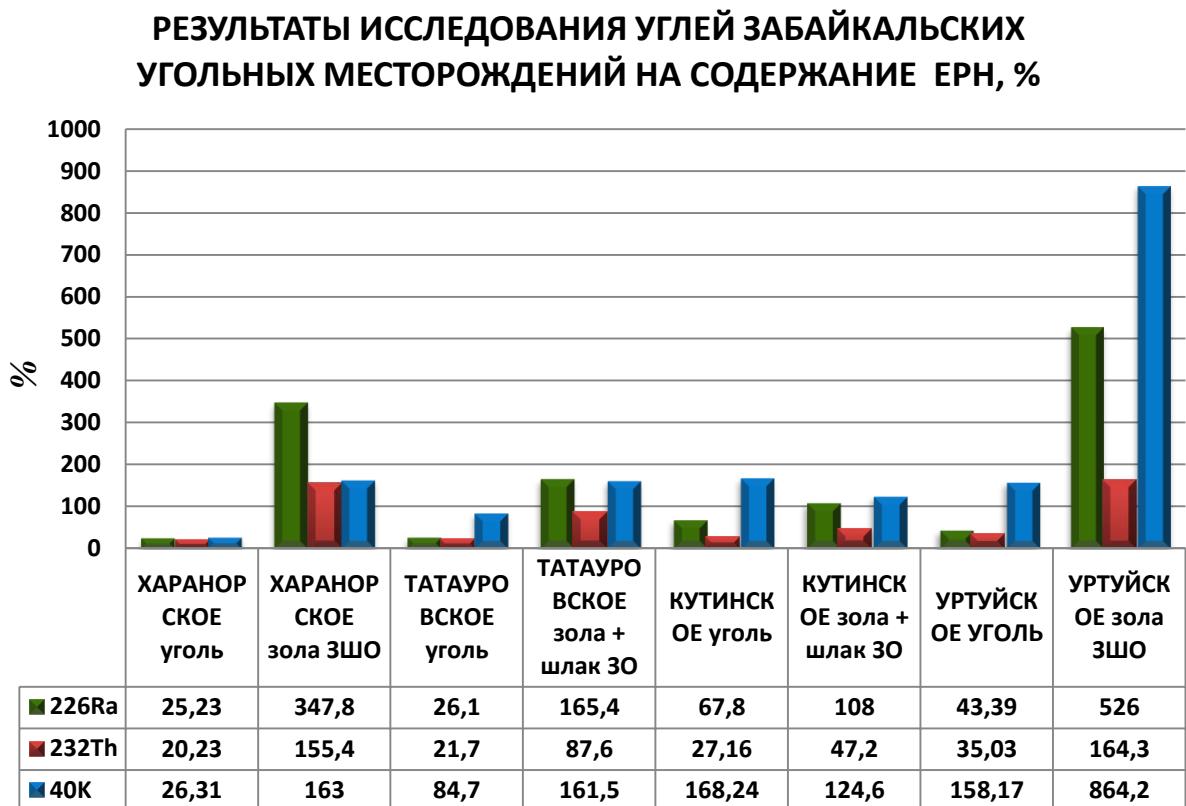


Рисунок 17. Результаты исследования углей на содержание ЕРН, % на буроугольных месторождениях Забайкалья (2010-2011 г. Сидорова Г.П.)

Из анализа приведенных исследований видно, что на Уртуйском и Кутинском буроугольном месторождении в углях наблюдается содержание ЕРН, близкое к предельному значению I класса опасности по нормам радиационной безопасности [30,31,32,98]. Кроме того, остается открытым вопрос использования техногенных месторождений ЕРН, сформированных в результате сжигания углей на Ясногорской ГРЭС и Краснокаменской ТЭЦ, котельной пос. Приаргунск (Кутинский уголь). Из представленных графиков видно, что содержание ЕРН в золошлаковых отвалах превышает допустимые концентрации в несколько раз, что, несомненно, оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Сравнительный анализ содержания ЕРН (естественных радионуклидов) в углях Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений

На сегодняшний день не установлены допустимые пределы концентраций ЕРН в углях. Следует отметить, что содержание урана в углях в большей части угольных месторождений России не превышает кларкового, но имеются месторождения, в которых кларковое содержание урана превышено в несколько раз. Причем месторождения эти разрабатываются без всякого радиационно-гигиенического контроля, уголь используется на ТЭС, в котельных и в частных домах. Зола и шлак, образующиеся при сжигании таких углей, обогащены ЕРН. Золошлаковые отвалы ТЭС занимают огромные территории, образуя с годами, по сути, техногенные месторождения ЕРН. Выбрасываемая в атмосферу их труб ТЭС летучая зола, оседает на растениях и почве [22].

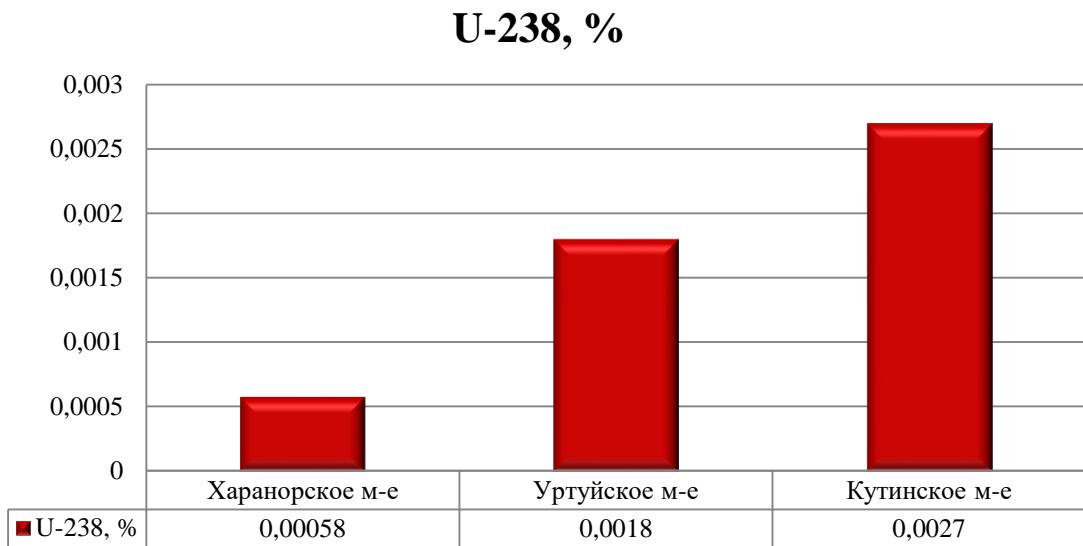


Рисунок 18. Сравнительный анализ содержания U-238 в углях Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

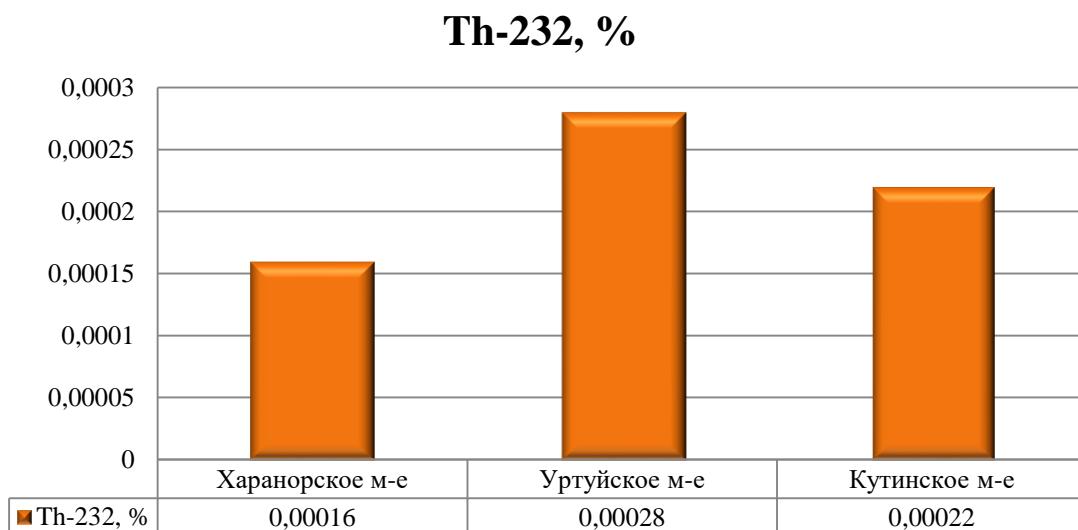


Рисунок 19. Сравнительный анализ содержания Th-232 в углях Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений.

Тем не менее, работа на определение содержаний ЕРН в углях велась на части месторождений, в частности на Уртуйском буроугольном месторождении. Г.П. Сидоровой были проведены исследования в части определения ЕРН в углях Харанорского, Уртуйского и Кутинского буроугольных месторождений [1]. Анализ включает исследования на содержание U-238 в % на тонну и Th-232, также в % на тонну угля. Результаты анализа представлены в виде гистограмм (Рисунок 18-19).

Из анализа видно, что содержания ЕРН на Уртуйском и Кутинском буроугольных месторождениях резко превышают содержания ЕРН на Харанорском месторождении бурого угля. Вызывает озабоченность тот факт, что на сегодняшний день не существует установленных допустимых пределов и регулирующих механизмов на содержание ЕРН в реализуемой угольной продукции предприятий.

Выводы по главе

Угольная промышленность России в настоящее время характеризуется ситуацией устойчивого развития. Предприятия готовы к внедрению инновационных технологий несмотря на ряд негативных ограничений с которыми сталкивается отрасль.

На основе анализа соответствующей литературы, баз статистических данных, документации ЦДУ «ТЭК», Министерства энергетики РФ были обобщены качественные, в том числе вредные (токсичные) характеристики углей на основных разрабатываемых месторождениях Забайкалья. Также было уделено значительное внимание оценке содержания ЕРН в бурых углях месторождений юго-восточного Забайкалья (на примере Харанорского, Уртуйского и Кутинского месторождений). Автор считает, что необходимо дальнейшее изучение содержания ЕРН в углях, не только на уже исследованных месторождениях, но и на месторождениях всей Российской Федерации. Кроме того необходима разработка регламентирующих документов по предельно допустимым концентрациям ЕРН в бурых углях, а также разработка методики выявления и прогнозирования ЕРН на месторождениях бурых углей. Также 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.

2. Экспериментальные исследования характеристик углей Кутинского буроугольного месторождения

2.1. Характеристика Кутинского буроугольного месторождения и архивный анализ методик его исследования

Пользователь недр участка «Кутинский» Кутинского месторождения общество с ограниченной ответственностью «Приаргунский угольный разрез». Участок расположен в Приаргунском муниципальном районе Забайкальского края в 7 км юго-западнее с. Кути, на левобережье р. Аргунь, в плане имеет прямоугольную форму, вытянутую в северо-восточном направлении. Размер его примерно $5,75 \times 2,5$ км, площадь 14,2 км².

Таблица 1. – Географические координаты участка недр «Кутинский».

№ угловой точки	Северная широта			Восточная долгота		
	Градусы	Минуты	Секунды	Градусы	Минуты	Секунды
1	50	03	40	119	03	05
2	50	06	05	119	06	15
3	50	05	20	119	07	50
4	50	02	50	119	04	40

Район экономически освоен. Основными отраслями промышленности являются топливно-энергетический комплекс (Приаргунская ТЭЦ), развитый агропромышленный комплекс, а также горнорудная промышленность, связанная с добычей бурого угля (Кутинский разрез).

Снабжение осуществляется от теплоэлектростанции мощностью 48 тыс. кВт расположенной в 40 км в п. Ново-Цурухайтуй. Линия электроснабжения проведена от населенного пункта п. Староцурухайтуй. Водоснабжение привозное из п. Кути.

Ближайшая железнодорожная станция Приаргунск находится в 48 км от месторождения. С районным центром район работ связан грунтовой дорогой.

Несмотря на значительную расчлененность рельефа, район месторождения беден поверхностными водами. Все пади и распадки в районе месторождения безводны; лишь в летнее время после дождей и ливней в них появляются небольшие кратковременные потоки.

В 6 км юго-западнее месторождения имеются два пресных озера (Дуроевские озера), образовавшиеся из стариц и проток р. Аргуни. Суммарная площадь их 3,6 км². Глубина в центре достигает 3,00 м. Питание озер происходит за счет р.Аргунь; с которой они связаны протокой, и в меньшей степени за счет атмосферных осадков.

В юго-западной части района протекает р. Аргунь, берущая свое начало в Китайской Народной Республике с хребта Б. Хинган. Ширина долины ее колеблется от

2,5 до 20 км, ширина поймы - от 2,0 до 12 м. На широких участках поймы русло реки Аргуни разветвляется на: ряд рукавов (обычно от 2 до 5). В более узких местах отдельные рукава собираются в одно русло. Русло реки сильно меандрирует, образуя многочисленное количество стариц. Ширина основного русла реки колеблется от 40 до 64 м. Максимальная глубина при среднем уровне воды 3-3,5 м; в паводки она достигает 5-7 м. Абсолютная отметка поймы р. Аргуни в районе месторождения составляет 521,0 м; падение - около 0,0002.

Сейсмичность района - 6 баллов.

На территории района имеются месторождения полиметаллических руд, плавикового шпата, стройматериалов, угля и др.: Восточно-Урулонгуйское месторождение подземных вод, Гарсонуйское месторождение флюорита, Громовское месторождение марганцевых руд, Дуроевское - место находок агата, халцедона и яшм. Также непосредственно Кутинское месторождение бурого угля, Начирское проявление яшмы, Савинское № 5 полиметаллическое месторождение, Улан-Булак Урулонгуйский — железистый минеральный источник, Хургжитайское месторождение глин и др.

В 1956 году, в связи со строительством тепловой электростанции в пос. Ново-Цурухайтуй, Читинское Геологическое управление организовало

Аргунскую поисково-разведочную партию в задачу которой входило производство поиска и разведки угольных месторождений на наиболее перспективных участках распространения угленосных отложений в окрестностях строящейся электростанции. Исходя из поставленной задачи, в течение 1956-1957 г. г. партией проводились поисковые работы с помощью колонкового бурения в п. Кужертай, протягивающейся на восток от с. Н-Цурухайтуй, по левобережью р. Урулонгуй в ее устьевой части и в п. Кужертай, расположенной в 12 км. юго-восточнее с. Ново-Цурухайтуй (Рисунок 20) [33-38].

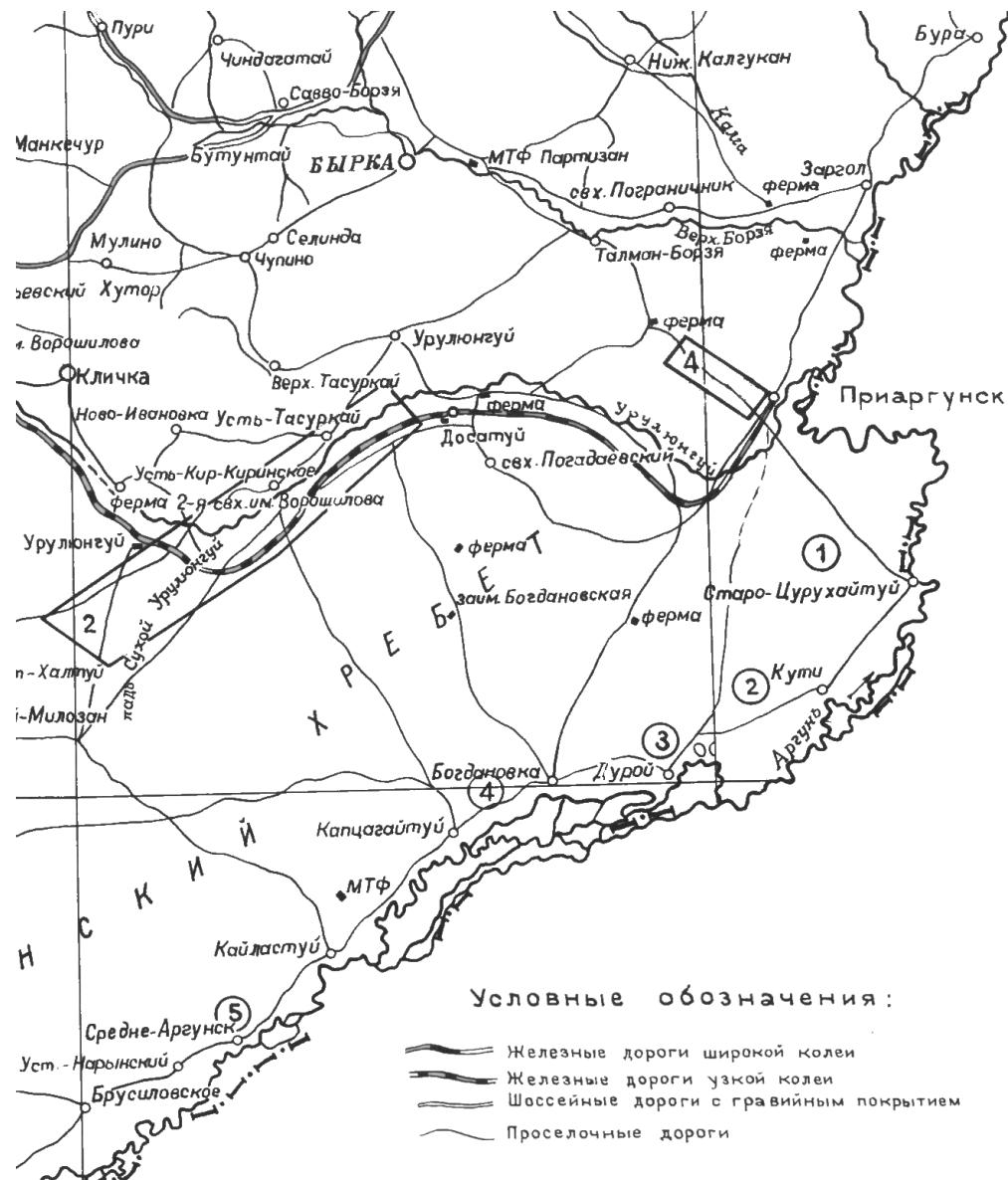


Рисунок 20. Схема расположения месторождений бурых углей в Приаргунском муниципальном районе: 1 – Кужертайское, 2 – Кутинское, 3 – Приозёрное, 4 – Пограничное, 5 – Средне – Аргунское.

Геологическая документация и опробование при разведке служит главным источником информации об особенностях пространственного распределения полезного ископаемого, являясь, таким образом, основой геометризации недр, подсчета запасов, планирования и оперативного регулирования эксплуатационных работ. Также данные геологического опробования необходимы при необходимости пересчета запасов при их значительном отклонении от данных геологической разведки, иногда выявляемом в процессе эксплуатации месторождений.

Сводный анализ результатов геологической разведки, проводимой на участке недр «Кутинский» Аргунской поисково-разведочной партией в 1956-1959 годах В.Н. Анферовым под руководством начальника партии А.М. Шмуйловича представлен в таблице (Таблица 2).

Таблица 2. – Степень опробованности пластов Кутинского буроугольного месторождения.

Пласт	Всего пересечений пласта	Из них опробовано пересечений	В том числе						
			на неполный тех.анализ	на полный тех.анализ	на элемент. анализ	на содерж. гуминовых кислот	на анализ золы	на опред. продукта полукоксования	на рабочую влажн.
A	8	6	6	0	0	0	0	0	3
Б	11	4	4	0	0	0	0	0	3
I	71	57	57	21	14	14	7	0	10
VII	49	44	44	5	5	5	3	9	0
XIII	21	14	14	1	0	0	0	5	0
XVII	18	14	14	1	0	0	0	0	0
II	48	26	26	3	2	2	1	2	0
II а	38	17	17	1	0	0	1	1	0
VI	41	13	13	3	2	2	2	2	0
VI а	21	7	7	2	1	1	0	1	0
VIII	37	15	15	1	1	1	1	1	0
IX	35	7	7	1	0	0	0	0	0
X	26	4	4	0	0	0	0	0	0
XII	20	6	6	0	0	0	0	0	0
XIV	24	3	3	0	0	0	0	0	0
XVIII	13	9	9	0	0	0	0	0	0
Всего	481	246	246	39	25	25	15	21	16

В целях максимального повышения выхода керна по углю и получения достаточного материала для проведения качественного опробования, пробуривание пластов А, Б, I, VII, XIII и XVII производилась всухую укороченными в 2 и 4 раза рейсами. В отдельных пересечениях пласти были пройдены в нормализованных условиях (промывкой и нормальными рейсами). Подобное положение отмечалось в случаях значительного отклонения залегания пласта от проектной глубины и приводило, как правило, к резко пониженному выходу керна. Пробуривание пластов с А, Б, I, VII, XIII и XVII всухую укороченными в 2 и 4 раза рейсами связана с тем, что пласти имеют значительную мощность и по результатам геологоразведочных работ прошлых лет относились к балансовым.

Прорезка остальных пластов осуществлялась обычными способами: нормальными рейсами и с промывкой.

Конструкция всех разведочных скважин принималась с расчетом пробуривания всех угольных пластов диаметром не менее 110 мм, что способствовало увеличению количества поднимаемого угольного материала.

Опробование углей Кутинского месторождения производилось по керну скважин механического колонкового бурения и горно-разведочным выработкам (глубоким шурфам). Степень опробованности пластов месторождения и количество выполненных анализов характеризуется таблицей (Таблица 4).

Пробы отбирались по всем пересечениям угольных пластов с мощностью 0,5 м и выше. Отбор пробы производился и в случаях, когда мощность угольного интервала по керну составляла менее 0,5 м, но каротаж давал более мощный пласт. Опробование пластов мощностью выше 1,0-1,5 м. осуществлялось секционным способом, с длиной секции 1,0 м и редко 2,0 м. Угольный материал, предназначенный в пробу, отмывался от глинистого раствора и укладывался в полотняные мешочки, в которых он поступал в дробилку. Там проба дробилась, квартовалась до необходимого веса [42]. В зависимости от того, на какой анализ предназначалась проба, ее окончательный вес колебался от 0,5 кг (на неполный технический анализ) до 1,5 кг (или 3 бутылки) на полный технический анализ.

Кроме того, в отдельную емкость отбирался дубликат пробы, хранящейся в партии.

По всем угольным пластам, вскрытым горно-разведочными выработками, были отобраны пластово-дифференциальные пробы, обеспечившие наиболее качественное и представительное опробование. В рассечках, пройденных из шурфов, систематически отбирались бороздовые пробы на всю мощность вскрываемой части пласта.

На месте отбора пробы поверхность угла предварительно выравнивалась. Пласто-дифференциальные пробы отбирались секциями длиной, как правило, 1 м. В редких случаях длина секции принималась равной 2,0 м. Ширина вруба равнялась 25 см, глубина 15 см. Отбор пробы производился вручную забойщиком. Первоначальный вес пробы при длине секции 1 м. составлял 42-45 кг. На поверхности крупные куски угля в пробе дробились вручную до размера 10-15 мм и производилось ее квартование до 10, 15 кг. С таким весом проба отправлялась в полотняных мешках в дробильное помещение для дальнейшей обработки.

В шурфах № 6, 9 и 11 отбор пластово-дифференциальных проб сопровождался взятием пластово-промышленных проб. Последние отбирались на всю мощность пласта на расстоянии 0,5 м. от линии взятия пластово-дифференциальных проб.

Результаты сравнения анализов обеих пластовых проб приводятся в таблице (Таблица 3).

Таблица 3. - Сравнение результатов анализа пластово-промышленных и пластово-дифференциальных проб.

Место отработки проб	Интервал опробования		№ пластово-промышленные пробы	№ пластово-дифференц. пробы	Результат анализа зольности (A°)			
	от	до			Пластово-промышлен. пробы	Пластово-дифференц. пробы	Абсолют. разница	% разницы
Шурф №6	6,0	9,0	436	201-203	27,6	29,6	+2,0	+6,8
Шурф №11	16,0	26,0	438	360-366 381,388, 390	31,4	30,8	-0,6	-2,0
Шурф №9	7,65	17,45	2050	304-313	27,7	25,2	-2,5	-10,0

Для проведения опытного сжигания угля, из горных выработок, пройденных в северо-восточной части месторождения по пласту «I», были взяты две валовые пробы весом 5 и 20 т. Материал для проб отбирался в рассечках из шурфов № 11,12,14 23, пройденных по падению пласта ниже зоны окисления. Из каждого шурфа было взято примерно по 6,0 т. Уголь был поднят на поверхность и перемешан; из общей, массы были отобраны две пробы в указанных выше количествах.

Анализ пробы производился в химлаборатории депо ст. Борзя Забайкальской железной дороги.

При проведении геологоразведочных работ отбирались пробы на определение показателей W_a , $W^r t$, A^d , $Q^{daf} s$, $Q^r i$, V^{daf} , St^d , P^d , выход гуминовых кислот, продуктов полукоксования определены только по анализам керновых проб. Также были изучены физико-механические свойства горных пород, слагающих внешнюю и внутреннюю вскрышку пластов.

Для определения состава выделяющегося из пластов газа, в шурфе №8 при полном отсутствии вентиляции была взята пробы воздуха. Анализ пробы, проводился через 24 часа после ее отбора в химической лаборатории горно-спасательной станции треста «Забайкалаголь».

В период разведочных работ на месторождении был дважды произведен внутренний лабораторный контроль неполных технических анализов. Внутреннему контролю были подвергнуты данные химлаборатории треста «Забайкалаголь» и одной из кустовых химлабораторий Читинского Геологического управления. Результаты этого контроля приводятся в таблице (Таблица 4).

Таблица 4. - Результаты внутреннего контроля результатов лабораторного опробования.

Химлаборатория треста «Забайкальуголь»

№ пп	№ проб полевые	Место взятия проб	Интервал опробования в м.	A ^c %	V ^r %	Данные анализа внутреннего лабораторного контроля					
						A ^c %	Разница к данным контроля	Разница % к данным контроля	V ^r %	Разница к данным контроля	% разницы к данных контроля
1	1081	Скв.60	70,50-71,70	50,8	51,9	50,3	0,0	0,0	49,5	-2,40	-4,80
2	1129	Скв.63	32,0-33,20	42,8	42,0	42,7	-0,1	-0,24	41,9	-0,1	-0,24
3	1227	Скв.67	84,40-85,40	20,4	43,2	20,7	+0,3	+1,45	44,7	+1,5	+3,36
4	1239	Скв.67	96,40-97,40	29,9	46,4	29,7	-0,2	-0,67	43,5	-2,9	-0,67
5	1264	Скв.66	145,8-146,8	36,4	46,3	35,3	-1,10	-0,31	42,9	-3,4	-7,93
6	1336	Скв.71	34,8-35,8	23,0	47,7	22,4	-0,6	-0,27	45,4	-2,3	-5,07
7	1363	Скв.75	44,8-45,8	15,1	41,9	15,1	0,0	0,0	45,3	+3,4	+7,51
8	1414	Скв.78	54,90-55,70	37,3	44,5	36,8	-0,50	-1,36	47,3	+2,8	+5,92
9	1417	Скв.78	58,30-59,30	31,8	46,1	31,8	0,0	0,0	45,8	-0,3	-0,66
10	1423	Скв.79	56,5-57,5	26,9	42,9	26,5	-0,40	-1,51	42,0	-0,90	-2,14
11	1466	Скв.81	35,9-36,70	32,1	44,2	32,0	-0,1	-0,31	42,5	-1,70	-4,0
12	1502	Скв.85	65,5-66,5	38,4	48,0	38,7	+0,3	+0,78	50,5	+2,50	+4,95

Химлаборатория Читинского Геологического управления

№ пп	№ проб полевые	Место взятия проб	Интервал опробования в м	Данные анализа внутреннего лабораторного контроля			
				A ^a %	A ^a	Разница к данным контроля	% разницы к данных контроля
1	2361	Скв.180	103,20-104,20	27,64	29,01	+1,37	+4,72
2	2427	Скв.183	115,9-116,40	27,98	28,97	+0,99	+3,42
3	2458	Скв.180	74,20-75,3	18,80	19,10	+0,30	+1,57
4	2462	Скв.179	48,40-49,5	14,96	15,14	+0,18	+1,19
5	2486	Скв.180	84,50-85,30	22,56	23,45	+0,89	+3,80
6	2505	Скв.182	133,20-134,20	37,34	37,49	+0,15	+0,40
7	2518	Скв.182	146,0-147,0	24,68	24,60	-0,08	-0,32

Как видно из таблицы, разница в определении содержания золы в обоих случаях не превышает $\pm 1,37\%$. Максимальная разница в определении содержания летучих на горючую массу составляет $\pm 3,4\%$. В большинстве случаев разница между основным и контрольным анализами гораздо меньше указанных величин.

Таким образом, результаты внутреннего контроля говорят о высокой степени достоверности данных лабораторий, которыми выполнено подавляющее большинство анализов, приводимых в «Отчете по детальной разведке Кутинского буроугольного месторождения Читинской области с подсчетом запасов по состоянию на 1 января 1959 года» [34]. Отчёт прошёл геологическую экспертизу и утвержден протоколом заседания Государственной Комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР [37].

В 2019 году в лаборатории «СЖС Восток Лимитед» был проведен точечный пробоотбор и технический анализ угля участка «Кутинский».

В 2020 году лабораторией «СЖС Восток Лимитед» был проведен отбор пробы породного пропластка угольного пласта I . На участке «Кутинский» в настоящее время вовлечен в разработку пластика I. В таблице представлена информация о степени использования данных современного периода эксплуатационных работ. Остальные пласты не эксплуатируются (Таблица 5).

Таблица 5. - Степень использования данных современного периода эксплуатационных работ на предприятии

Пласт	Номер зарисовки/пробы дата отбора	Мощность угольной пачки, м.	Мощность породного прослоя, м.	Зольность угольных пачек, %	Примечание
Зарисовки					
	3/08.10.2019	5,7	0,15	-	
	4/08.10.2019	9,3	0,20	-	
	5/08.10.2019	4,5	-	-	
	7/14.01.2020	3,5	0,10	-	
	10/2/12.01.2020	2,3	0,08	-	
Пробы					
I	0049	-	-	19,7	
	0050	-	-	14,1	
	0051	-	-	14,1	
	0052	-	-	25,2	
	0053	-	-	16,4	
	0054	-	-	15,5	

Принадлежность углей к той или иной марке или технологической группе определялась по результатам анализов керновых проб и горных выработок.

Определение марочного состава в представленных материалах произведено в соответствии с ГОСТом 25543-2013[28], согласно которому классификационными показателями бурых углей являются : показатель отражения витринита – R_o , сумма фузенизированных компонентов - ΣOK (%), максимальная влагоемкость W_{max}^{af} %, выход смолы полукоксования T_{sk}^{daf} %.

При проведении геологоразведочных работ 1956-1959 г-г., результаты, которых положены в основу настоящих материалов, не проводилось исследование проб на показатель отражения витринита R_o и максимальную влагоемкость W_{max}^{af} . Указанные показатели не являлись классификационными и не использовались в определении марочного состава в 50-60-х годах.

При проведении геологоразведочных работ отбирались пробы на определение показателей W^a , W_t^r , A^d , Q_s^{daf} , Q_i^r , V^{daf} , S_d^t , P^d . Показатель Q_s^{af} получен расчетным способом.

По причине того, что в процессе геологоразведочных работ не проводилось исследование проб на показатель отражения витринита R_0 , марка и кодовое число определены без участия вышеуказанных показателей.

Учитывая тот факт, что в период проведения геологоразведочных работ, не проводились исследования на R_0 и W_{max}^{af} , а при маркировке углей был использован показатель W_t^r , для определения марочного состава в использованы имеющиеся показатели W_t^r , T_{sk}^{daf} .

Массовая доля общей рабочей влаги в углях участка Кутинский составляет около 30%. Все пласти участка Кутинский отнесены к марке Б.

Классификация углей по ГОСТ 25543-2013 [28] по участку Кутинский (ЧИТ 04080ТЭ) представлена в таблице (Таблица 6). Средние показатели массовой доли общей влаги рабочей изменяется от 28,2 до 30,1 % и по ГОСТ 25543-2013[27] угли участка относятся к типу 30 (Таблица 7). По выходу смолы полукоксования пласти угля отнесены подтипу 05.

Сводная классификация оцениваемых углей по марочному составу приводится в таблице (Таблица 6).

В соответствии с ГОСТ 25543-2013 [28] направлением технологического использования оцениваемых углей может быть их применение в производстве генераторного газа в генераторах стационарного типа, производство синтетического жидкого топлива, в полукоксации.

В энергетическом направлении использования рассматриваемые марки углей применяются для пылевидного сжигания в стационарных котельных установках, при слоевом сжигании в стационарных котельных установках и кипящем слое, для сжигания, топках энергопоездов, паровозов. Так же используются в качестве топлива для коммунальных и бытовых нужд. Уголь марки Б может быть использован при производстве извести.

Таким образом, качество углей на участке Кутинский изучалось по керновым пробам из разведочных скважин и по пробам из горных выработок (глубокие шурфы и из уступов при проведении добывающих работ по пласту А).. Результаты этих работ можно обобщить в таблице (Таблица 7).

Таблица 6. – Основные показатели качества неокисленных углей (принятые к подсчету) по участку «Кутинский».

№ п/п	Название пласта	Влага аналитической пробы, W ^a , %	Рабочая влагоемкость угля, W ^r , %	Зольность угля принятая к подсчету, A ^d , %	Зольность с учетом засорения породными прослойками, A ^d _{зас} %	Выход летучих веществ (по массе), V ^{daf} , %	Теплота сгорания						Сера общая, S ^d _t , %	Фосфор, P ^d _t , %		
							Высшая на сухое беззолное состояние угля, Q _s ^{daf}		Высшая на влажное беззолное состояние угля, Q _s ^{af} (расчетная)		Низшая на сухое беззолное состояние угля, Q _i ^r					
							Ккал/кг	МДж/кг	Ккал/кг	МДж/кг	Ккал/кг	МДж/кг				
1	A***	<u>3,80-</u> <u>7,40</u> 5,72(6)	<u>27,20-</u> <u>34,10</u> 29,90(3)	<u>32,40-42,90</u> 35,35(6)	<u>32,40-43,70</u> 37,08(6)	<u>43,60-</u> <u>47,60</u> 45,00(4)	<u>6602-</u> <u>6821</u> 6720(7)	<u>27,64-</u> <u>28,56</u> 28,13(7)	4953	20,74	<u>2949-</u> <u>3006</u> 2974(7)	<u>12,35-</u> <u>12,59</u> 12,45(7)	0,45**	0,11**		
2	Б***	<u>2,90-</u> <u>6,43</u> 4,66(2)	<u>25,5-</u> <u>31,2</u> 28,4(2)	<u>29,40-30,20</u> 29,80(2)	<u>30,20-32,60</u> 31,40(2)	<u>42,0-</u> <u>44,49</u> 43,25(2)	<u>6602-</u> <u>6821</u> 6720**	<u>27,64-</u> <u>28,56</u> 28,13**	4832	20,23	<u>2730-</u> <u>3490</u> 2968	<u>11,43-</u> <u>14,61</u> 12,43	0,45**	0,11**		
3	I***	<u>2,6-</u> <u>11,9</u> 5,7(47)	<u>25,5-</u> <u>38,5</u> 30,1(10)	<u>15,60-37,3</u> 27,9(46)	<u>15,60-37,7</u> 28,3(46)	<u>42,5-</u> <u>49,6</u> 45,4(35)	<u>6220-</u> <u>7230</u> 6900(21)	<u>26,04-</u> <u>30,27</u> 28,89(21)	4823	20,19	<u>2492-</u> <u>4185</u> 3069	<u>10,43-</u> <u>17,52</u> 12,85	0,45(17)	0,11(7)		
4	II	<u>3,53-</u> <u>10,40</u> 6,47(7)	28,20*	<u>15,00-48,40</u> 36,00(25)	<u>15,0-48,40</u> 39,00(25)	<u>41,1-</u> <u>48,5</u> 43,9(8)	<u>6920-</u> <u>7140</u> 7000(3)	<u>28,97-</u> <u>29,89</u> 29,31(3)	5026	21,04	<u>2724-</u> <u>3560</u> 3004*	<u>11,40-</u> <u>14,91</u> 12,58*	0,49(4)	0,10(3)		
5	II "a"	<u>2,3-</u> <u>10,4</u> 5,6(17)	28,20*	<u>25,00-47,60</u> 36,80(18)	<u>25,0-47,60</u> 36,80(18)	<u>38,9-</u> <u>45,7</u> 42,7(4)	<u>6920-</u> <u>7140</u> 7000**	<u>28,97-</u> <u>29,89</u> 29,31**	5026	21,04	<u>2724-</u> <u>3560</u> 3004*	<u>11,40-</u> <u>14,91</u> 12,58*	0,35(1)	0,06(1)		

***-балансовые пласти, остальные пласти находятся в границах лицензии и являются некондиционными

Пласти VI – XVIII в итоговую таблицу не включены.

Таблица 7. – Классификация углей по ГОСТ 25543-2013 по участку Кутинский

№ п/п	Наименование пласта	Средний показатель отражения витринита R_o , %	Класс	Рабочая влагоемкость угля, W_t^r , %			Тип	Выход летучих веществ, V^{daf} , %			Высшая на влажное беззолевое состояние угля, Q_s^{af} (расчетная)			Смола на горючую массу, $T sk^{daf}$, %			Подтип	Кодовое число
				от	до	средн.*		от	до	средн.	Ккал/к г	МДж/к г	от	до	средн.			
1	Пласт А*	не определен	-	25,6	26,8	26,3(7)	30	43, 6	47, 6	45,0(4)	4953	20,74	7,4* *	11,4* *	9,2(7)* *	05	30 05	
2	Пласт Б*	не определен	-	25,5	31,2	28,1(3)	30	42, 0	44, 5	43,2(2)	4832	20,23	7,4* *	11,4* *	9,2(7)* *	05	30 05	
3	Пласт I *	не определен	-	25,5	38,5	30,1(10)	30	42, 5	49, 6	45,4(35)	4823	20,19	7,4	11,4	9,2(7)	05	30 05	
4	Пласт II	не определен	-	25,5*	32,2*	28,20*	30	41, 1	48, 5	43,9(8)	5026	21,04	8,5	9,0	8,8(2)	05	30 05	
5	Пласт II "а"	не определен	-	25,5*	32,2*	28,20*	30	38, 9	45, 7	42,7(4)	5026	21,04	5,3	5,3	5,33(1)	05	30 05	

*-балансовые пласти

Пласти VI – XVIII в итоговую таблицу не включены.

Поскольку одной из задач диссертационного исследования является создание блочной модели (БМ) Кутинского буроугольного месторождения, для проведения процесса интерполяции будут взяты данные архивных исследований, приведенных в таблицах (Таблицы 6-7), которые автор подтвердил своими собственными экспериментальными исследованиями.

2.2. Методика отбора проб углей, мелкодисперсного угольного материала с частицами вскрышных пород, пород перекрывающих и подстилающих угольный пласт, золошлаков

В апреле 2022 года автором была предпринята командировка на Кутинское буроугольное месторождение, где автор осуществил отбор проб углей, золошлака и угольной пыли. В основу принципа отбора проб легла методика ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03 с учетом предложенных дополнений при исследовании Уртуйского месторождения. [1]

Пробы углей отбирались непосредственно из добывчного забоя карьера. Пробы отбирались кусковые, на только что вскрытых участках забоя, в объеме 1,5 – 2 л, что примерно соответствовало 1,9-2,4 кг. угля. После этого пробы герметично упаковывались в полиэтиленовые пакеты и кодировались. Количество отобранных проб углей составило 30 шт.

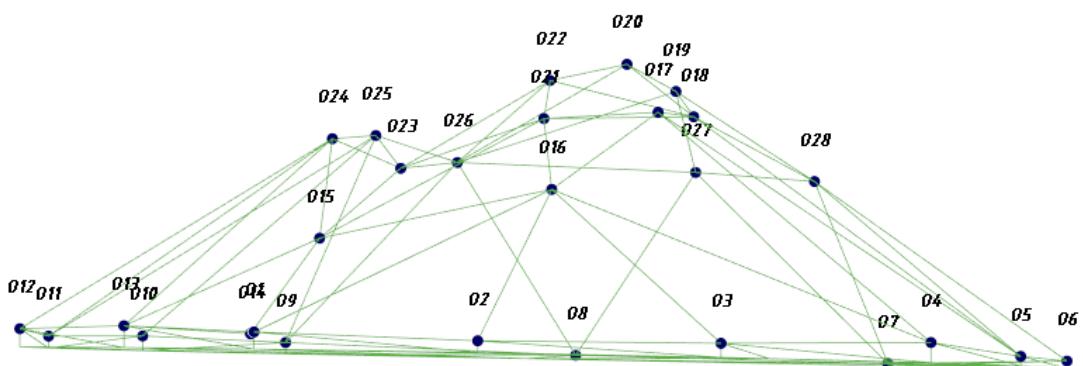
Пробы мелкодисперсного угольного материала с включением частиц вскрыши отбирались на дневной поверхности, по обочинам транспортной полосы, ведущей непосредственно от выезда из разреза до расположения угольного склада. Пробы отбирались поверхностные, с включением частичек углей и вскрышных пород, поскольку транспортная полоса помимо склада угольной продукции используется для транспортирования вскрышных пород во вскрышной отвал. Было отобрано 26 проб мелкодисперсного угольного материала с включением частиц вскрыши массой около 150 г., что соответствовало примерно 100 мл. Пробы герметично упаковывались и кодировались.

Пробы золошлака отбирались непосредственно из отвала котельной, которая выполняет снабжение предприятия энергией и находится в расположении

административно-бытового комплекса предприятия ООО «Приаргунский угольный разрез». Было отбрано 15 проб золошлака. Все пробы герметично упаковывались и кодировались. Объем пробы составил 1,5-2,2 л., что примерно соответствовало массе в 1,2-1,9 кг.

На предприятии используется цикл технологических мер для снижения влияния отходов котельной на экологическое состояние региона, в связи, с чем золошлаковый отвал циклично перемешивается со вскрышными породами. При этом предприятием достигается снижение пылеватости отвала и минимизация попадания золы-уноса в атмосферу. В связи с этим, в пробы золошлаков, отобранных, для исследования описанным путём попадали вскрышные породы.

Следует отметить, что при выполнении пробоотбора автором фиксировались координаты взятых проб, что позволило впоследствии выполнить сначала привязку к местной системе координат (МСК-75, зона 4), а впоследствии выполнить пересчет из местной системы координат в прямоугольную и соотнести зоны отбора проб с геологическим планом месторождения и установить соответствие отобранных проб и участка горных работ на Кутинском буроугольном месторождении (Рисунок 21,22).



ИМЯ КАРКАСА	ОБЪЕМ, м ³	ТОННАЖ, т.
ОТВАЛ КУТИНСКИЙ	155,87	135,45

Рисунок 21. Каркасная модель отвала котельной Кутинского буроугольного месторождения и отчёт, выполненный в Micromine O&B с выполненной привязкой отобранных проб.

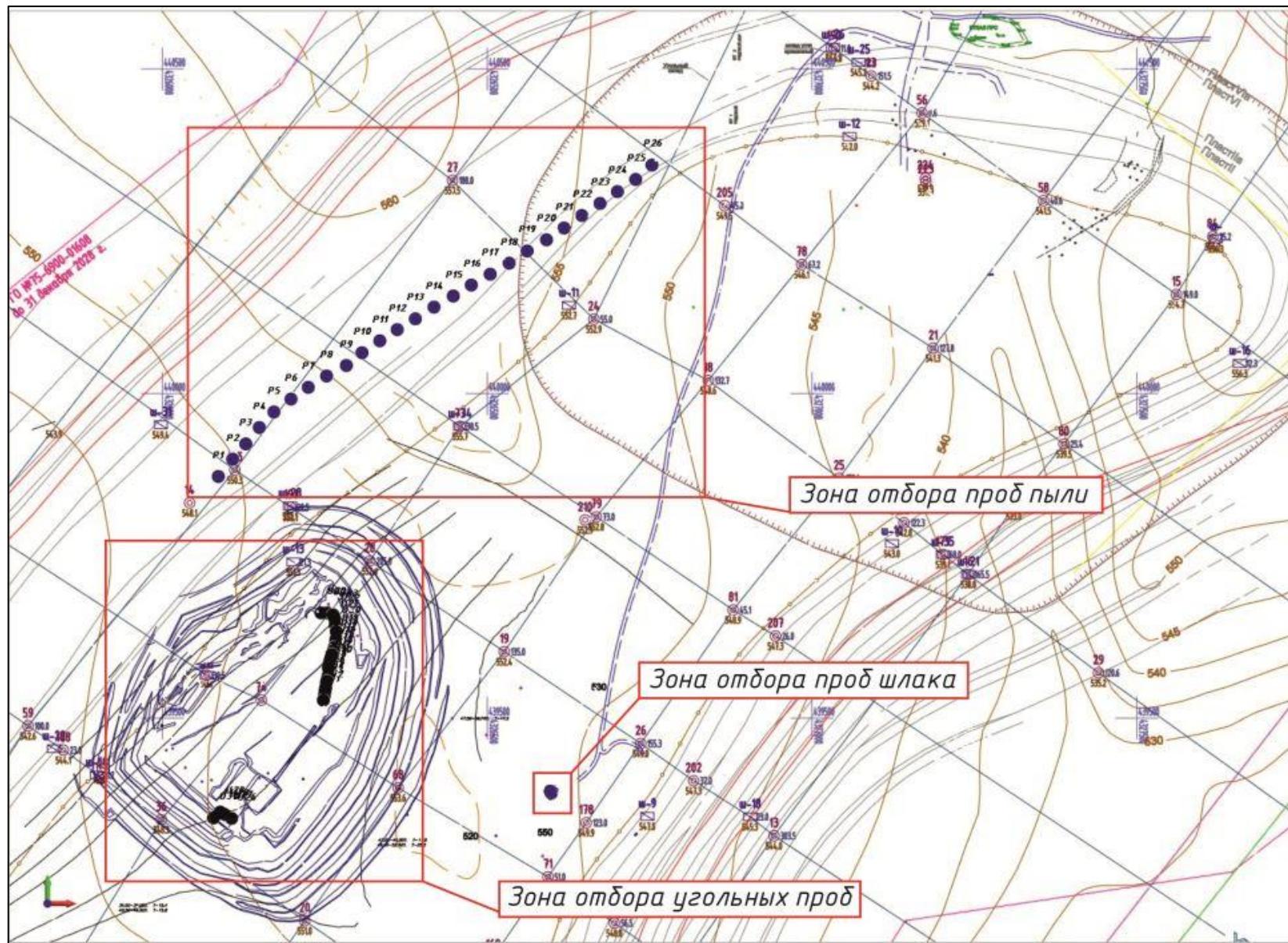


Рисунок 22.План отбора проб на Кутинском буроугольном месторождении в М 1:5000.

Вскрышные, подстилающие 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.

2.3. Экспериментальные исследования по определению зольности Кутинских углей

Испытания на определение зольности проводились с применением арбитражного метода по ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010) Топливо твердое минеральное. Определение зольности [5]. Для анализа были отобраны все пробы углей, результаты испытания которых приведены в таблице (Таблица 8).

Таблица 8. - Результаты анализа углей на зольность арбитражным способом по ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010).

Номер пробы	Влажность аналитическая, W ^a	Среднее значение зольности по пробе, A ^c %	Среднее значение зольности по пробе, A ^d %
У-1	5,7	4,4	4,7
У-2	5,7	4,3	4,6
У-3	5,7	2,4	2,5
У-4	5,7	8,6	9,1
У-5	5,7	4,6	4,9
У-6	5,7	7,3	7,7
У-7	5,7	7,9	8,4
У-8	5,7	13,3	14,1
У-9	5,7	5,4	5,7
У-10	5,7	5,9	6,3
У-11	5,7	2,7	2,9
У-12	5,7	4,1	4,3
У-13	5,7	5,8	6,2

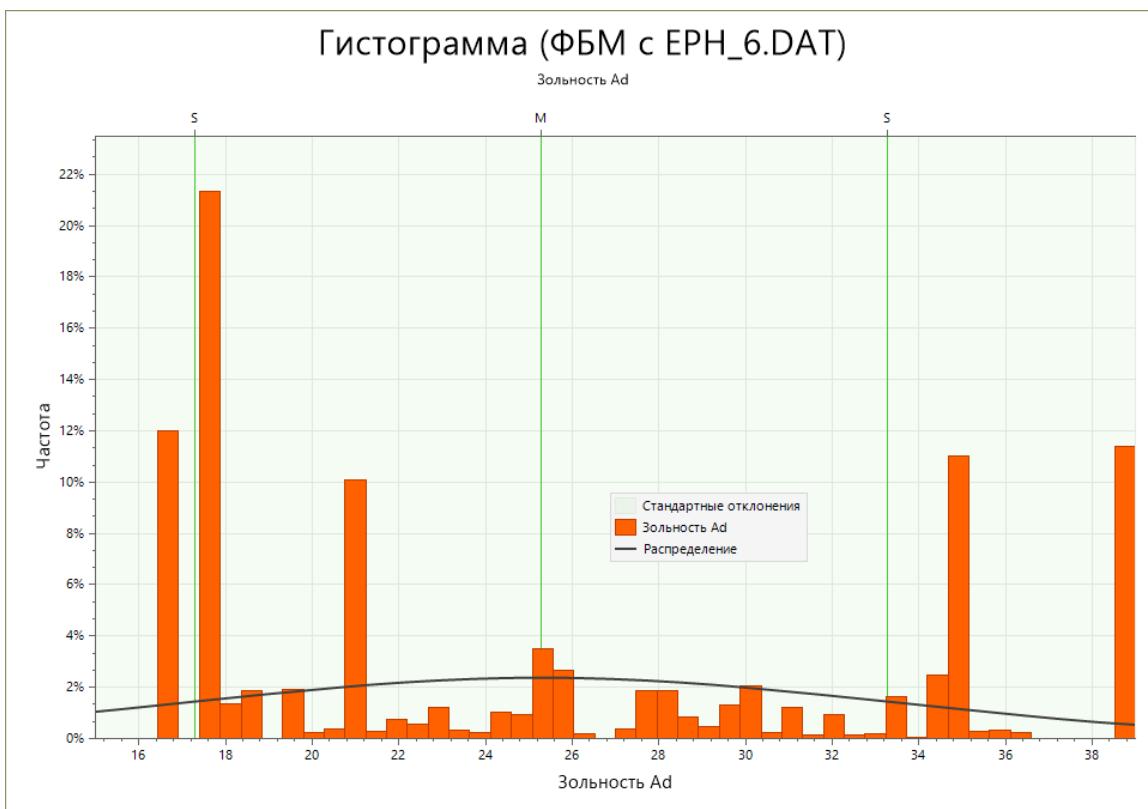
У-14	5,7	3,4	3,6
У-15	5,7	4	4,2
У-16	5,7	4,7	5,0
У-17	5,7	4,9	5,2
У-18	5,7	5,1	5,4
У-19	5,7	8,1	8,6
У-20	5,7	3,8	4,0
У-21	5,7	2,6	2,8
У-22	5,7	9,1	9,7
У-23	5,7	4	4,2
У-24	5,7	5,1	5,4
У-25	5,7	4,1	4,3
У-26	5,7	4,9	5,2
У-27	5,7	2,7	2,9
У-28	5,7	2,9	3,1
У-29	5,7	4,3	4,6
У-30	5,7	8,5	9,0
Ср. знач.	5,7	5,30	5,62

Проанализировав результаты испытаний, получим аналитическую зольность (A^c) по пробам 5,3%.

Далее был выполнен пересчет результатов испытаний углей на зольность арбитражным способом на сухую массу A^d согласно ГОСТ 27313-2015 (ISO 1170:2013, NEQ), таблица 2 — формулы для пересчета результатов анализа с одного состояния топлива на другое (1) [40]. Аналитическая влажность W^a по проекту равняется 5,7%.

$$A^d = A^c * (100 / (100 - W^a)) \quad (1)$$

Пересчет этого показателя на сухую массу A^d даст нам значение в 5,62%, что гораздо ниже показателей зольности заявленной по проекту. Зная проектные показатели аналитической влажности W^a , применим их к результатам, полученным в лабораторных условиях. Выполним расчёт для каждой полученной пробы и сведем результаты в таблицу (Таблица 8).



Нормальная статистика		Логнормальная статистика	
Минимум	15.959	Кол-во точек	98444
Максимум	39.000	Логнорм. среднее	3.181976
Кол-во точек	98444	Геом. среднее	24.094318
Сумма	2489651.194	Логнорм. дисперсия	0.095311
Среднее	25.290025	Логнормальн. стд. откл.	0.308725
Медиана	21.842495	V Сишеля	0.095310
Дисперсия	63.827842	Гамма Сишеля	1.048809
Стд. отклонение	7.989233	Т-оценка Сишеля	25.270330
Коэффиц. вариации	0.315905		

Рисунок 23. Гистограмма распределения зольности в блоках блочной модели и фрагмент отчета с описательной статистикой по зольности в пересчете на сухую массу A^d , %.

Проектом разработки Кутинского месторождения определяется зольность пересчитанная на сухую массу $A^d = 27,9\%$. Учитывая, что для диссертационного исследования был выбран участок добычного забоя и пласт, непосредственно вовлеченный в разработку, для моделирования решено принять проектный показатель и ориентироваться на него – таким

образом, мы не завысим ожидаемое качество углей. После проведенной интерполяции содержаний в БМ, средняя зольность на выделенном участке блочной модели, по которой работал автор, отсекая аномально высокие единичные значения, программным комплексом Micromine O&B определяется в 25,29% (рисунок 23).

2.4. Экспериментальные исследования содержания естественных радионуклидов в пробах углей, мелкодисперсного угольного материала с частицами вскрышных пород, пород перекрывающих и подстилающих угольный пласт, золы и шлаков

Вскрышные, подстилающие и перекрывающие породы отбирались по прямоугольной сетке со стущением 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 kleenку, тщательно перемешивалась и просушивалась, квартировалась и помещалась в сосуд маринелли для проведения исследований (Рисунок 24).



Рисунок 24 Результаты испытаний на определение эффективной удельной активности естественных радионуклидов, А_{эфф.} (Бк/кг).

Статистические показатели вариации полученных значений эффективной удельной активности, в частности низкий коэффициент вариации 8,7% говорит об однородной совокупности данных выборки. (Таблица 9)

Таблица 9. – Расчет коэффициента вариации для пород вскрыши

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%

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 (Рисунок 25а). 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 (Рисунок 25б). Пробы золошлаков точечно 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 (Рисунок 25в).

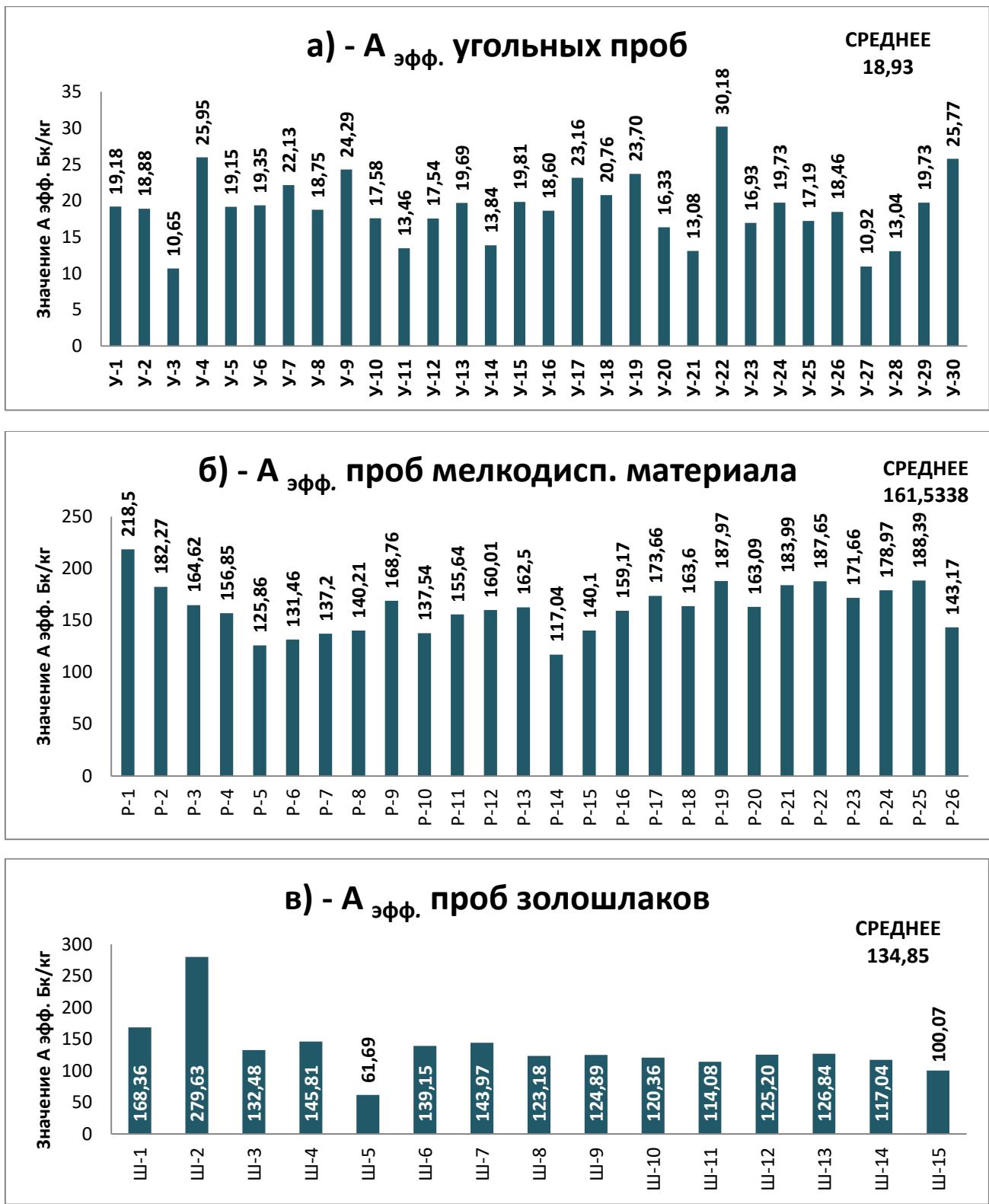


Рисунок 25. Результаты испытаний на определение эффективной удельной активности естественных радионуклидов, А_{эфф.} (Бк/кг) с приведением статистических показателей а – угольных проб, б – проб золошлаков, в – мелкодисперсного угольного материала с включением частиц вскрыши. \

Результаты исследований по определению удельной эффективной активности углей, золошлаков и мелкодисперсного угольного материала на этом этапе позволили получить предварительные зависимости по схеме: **уголь – золошлак - мелкодисперсный (пылевой) материал**. Полученные средние значения $A_{\text{эфф.}}$ в пробах углей, показали увеличение этого показателя в золошлаках – в 7 раз, а мелкодисперсном пылевидном материале - в 8,5 раз.

2.5. Определение зависимости содержания естественных радионуклидов в углях от полученной зольности

Дальнейший этап исследований заключался в выявлении наиболее точной зависимости $A_{\text{эфф.}}$ от зольности Кутинских углей A^d . Испытания на определение зольности проводились по ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010) [5], пересчет результатов измерения зольности углей на сухую массу A^d проводился согласно ГОСТ 27313-2015 (ISO 1170:2013, NEQ) [40]. Результаты испытаний приведены на рисунке (Рисунок 26).



Рисунок 26. График соотношения показателей A^d , % и $A_{\text{эфф.}}$, Бк/кг.

Полученные результаты позволили определить средний коэффициент связи K_c , характеризующий зависимость зольности A^d , % и $A_{\text{эфф.}}$, Бк/кг в Кутинских углях (Таблица 10).

Таблица 10. – Получение коэффициента связи K_c для $A_{\text{эфф.}}$ 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 %	$A_{\text{эфф.}}$	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

Проба У-8 была отобрана из зоны окисления угля, в связи с чем при расчете коэффициента связи не учитывалась. Таким образом, получаем зависимость $A_{\text{эфф.}} \text{Бк}/\text{кг.}$ от A^d , % для Кутинских углей (2):

$$A_{\text{эфф.}} = 3,68 * A^d \quad (2).$$

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

Выводы по главе

Представлена обзорная характеристика Кутинского буроугольного месторождения, приводится описание процесса производства полевых работ, обоснование принципа отбора проб на основании методики ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03 с учетом предложенных дополнений при исследовании Уртуйского месторождения.

Автором были проведены испытания по определению зольности A^d гамма – спектрометрические исследования. На основе полученных в результате исследований показателей, можно сделать вывод о том, что $A_{\text{эфф.}}$ шлака в 7 раз превышает показатели активности углей, а пыли в 8,5 раз, что позволило получить предварительные зависимости по схеме: уголь – золошлак - мелкодисперсный (пылевой) материал. Превышение удельной активности в несколько раз объяснимо. Мелкодисперсный (пылевой) материал – 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 ведет 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 исследовательской группой под руководством Г.П. Сидоровой была установлена закономерность, что в породных пропластках значения $A_{\text{эфф}}$ выше, чем в угольных пробах [41]. Также объясняется многократное превышение показателя $A_{\text{эфф}}$ в пробах золошлака, поскольку результатом процесса горения является твёрдый минеральный остаток неорганических взвесей, а также оксидов K, Ca, P и т.д. Этот минеральный неорганический остаток и является фактором увеличения $A_{\text{эфф}}$.

Приводится обоснование первого научного положения. Анализ графика соотношения показателей A^d , % и $A_{\text{эфф}}$, Бк/кг. показал закономерность зависимости этих показателей во всех пробах за исключением пробы У-8, которая была исключена из выборки как аномальная. Выведен коэффициент связи для $A_{\text{эфф}}$ от A^d для Кутинских углей.

3. Методика прогнозирования характеристик угольной продукции на основе цифровой блочной модели угольного месторождения

3.1. Математические цифровые модели и анализ опыта их применения в горном деле

Основы использования геологических моделей начали формироваться с начала XX века. 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.

В 1934 году советский математик Борис Делоне описал способ объединения множества точек, лежащих в одной плоскости при помощи треугольников, что послужило началом теории триангуляции, впоследствии названной триангуляцией Делоне [42]. 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 месторождений в 60-70-х гг. XX века [43]. 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 [44]. В 1962 г. Выходит книга Ж. Матерона «Основы прикладной геостатистики», которая становится основополагающим трудом в области геостатистики и окончательно оформляет её как самостоятельную науку [45]. В 1965 году разрабатывается алгоритм Лерча и Гроссмана, который позволяет на основе данных блочного моделирования разработать предельную экономически целесообразную оболочку предельного карьера. Алгоритм используется для оптимизации открытых карьеров и в настоящее

время [46]. Важную роль при организации 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.

В сегодняшних реалиях 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 [47].

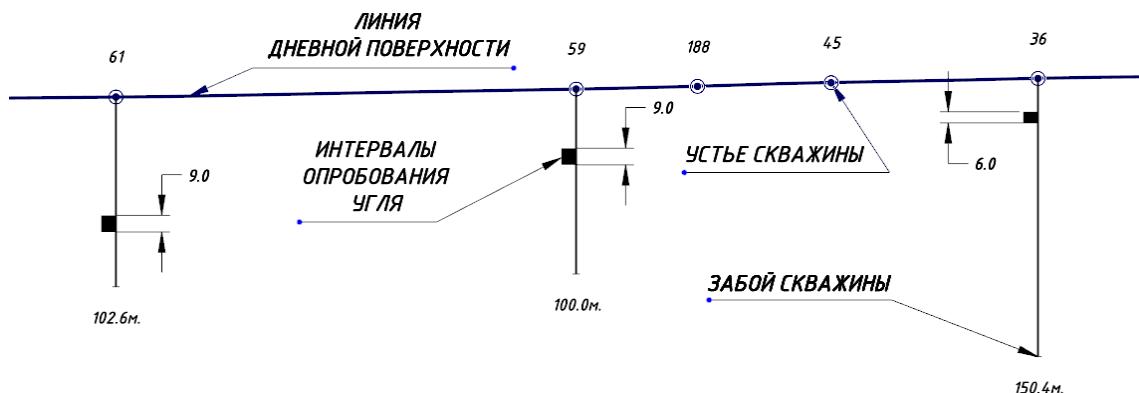
3.2. Цифровое моделирование Кутинского буроугольного месторождения

Процесс создания модели Кутинского буроугольного месторождения можно условно разделить на 8 этапов:

На первом этапе моделирования месторождения создается база данных геологоразведочных скважин, моделируется каркас цифровой модели поверхности на основании данных геодезической съемки.

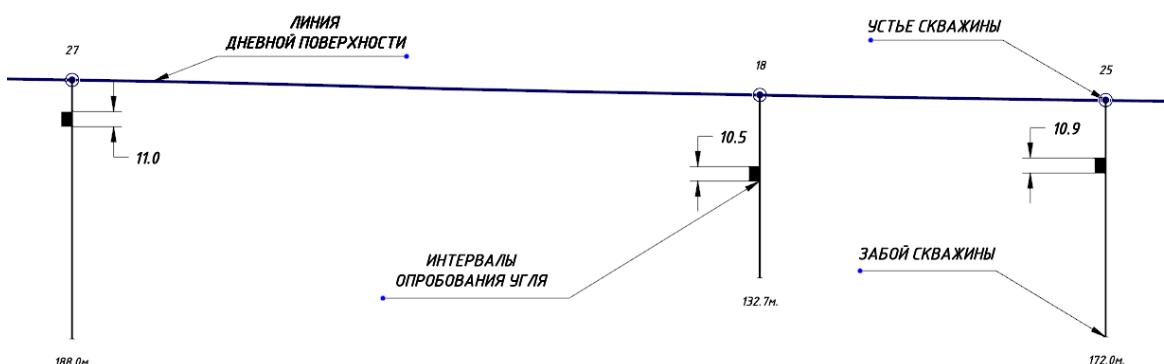
Вторым этапом выделяются интервалы опробования по данным геологоразведочных работ (ГРР) на траекториях скважин. В результате выполненных действий получаем трёхмерный каркас топографической поверхности района проведения работ с привязкой к местной системе координат МСК-75 зона 4, траектории геологоразведочных скважин и выделенные интервалы опробования. (Рисунок 27).

Геологический разрез по линии IX



А.

Геологический разрез по линии VIII



Б.

Рисунок 27. Схемы геологических разрезов Кутинского буроугольного месторождения с визуализацией топографической поверхности, геологоразведочных скважин и интервалов опробования по полезному ископаемому. А – разрез по линии IX, Б – разрез по линии VIII.

Третий этап – стратиграфическое моделирование участка горных работ. На основе данных залегания полезного ископаемого уточняется глубина залегания пласта: высотные отметки его кровли и подошвы. Кроме того, на этом этапе уточняется количество пластов, вовлеченных в разработку, их стратиграфическое (иерархическое) расположение и характер пласта – материнский или дочерний. Это позволяет на следующем, четвертом

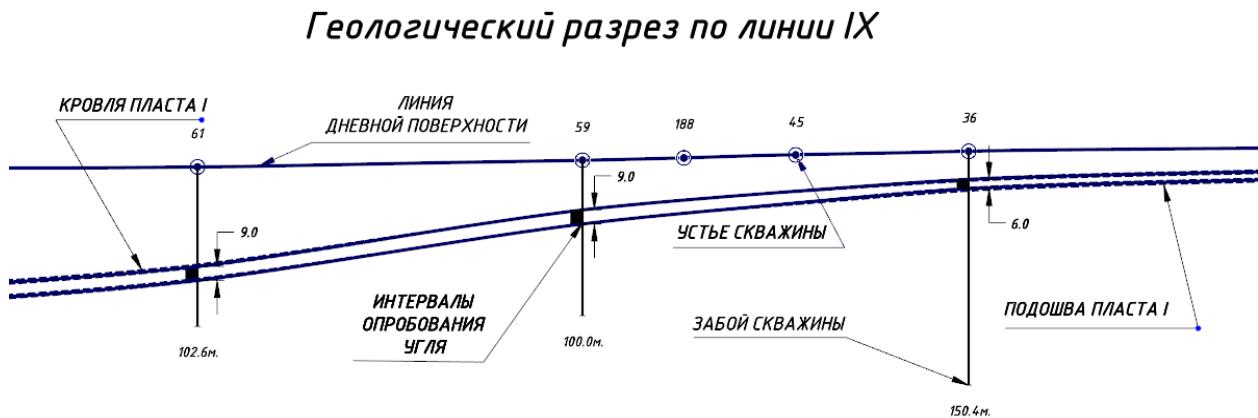
этапе моделирования пластов сгенерировать файл стратиграфической иерархии.

Четвёртый этап – моделирование особенностей залегания и тектонических нарушений, выявленных в результате геологоразведочных работ (ГРР). Моделирование нарушений позволяет создать модель, наиболее близкую к реальному залеганию пласта.

На пятом этапе специалист по моделированию создает сеточные модели поверхностей пластов (кровли и почвы) на основе данных:

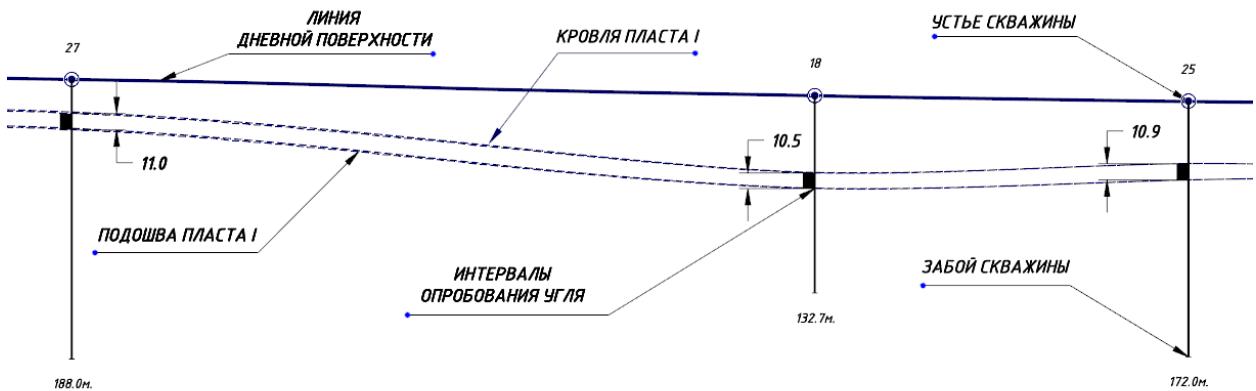
- о глубине залегания каждого пласта, полученных по данным лабораторного опробования;
- об отношении каждого интервала опробования к конкретному пласту на основании сгенерированного файла стратиграфической иерархии пластов.

В условиях моделирования Кутинского буроугольного месторождения, к созданию модели имеет отношение только вовлечённый в разработку пласт – пласт «I». В соответствии с этим, к моделированию привлекаются только интервалы опробования, относящиеся к пласту «I».



A.

Геологический разрез по линии VIII



Б.

Рисунок 28. Схемы геологических разрезов Кутинского буроугольного месторождения с визуализацией кровли и почвы пласта I. А – разрез по линии IX, Б – разрез по линии VIII.

Это позволяет ограничить интервалы опробования верхней и нижней сеточными поверхностями, создать на их основе цифровые модели поверхностей пластов (Рисунок 28).

Шестым этапом из цифровых моделей поверхностей проектируется объемное цифровое тело в пределах лицензионного участка – объемная модель пласта. На его основе создается блочная модель и оценивается одним из методов геостатистики, то есть выполнится интерполяция качественных характеристик полезного ископаемого в блоки блочной модели [48-51,124] (Рисунок 3). Для моделирования месторождения был принят условный размер блока $10 \times 10 \times 10$ м. Параметрами субблокирования было разрешено уменьшение блока в 5 раз по всем осям для придания модели наиболее качественного соотнесения с топографической поверхностью.

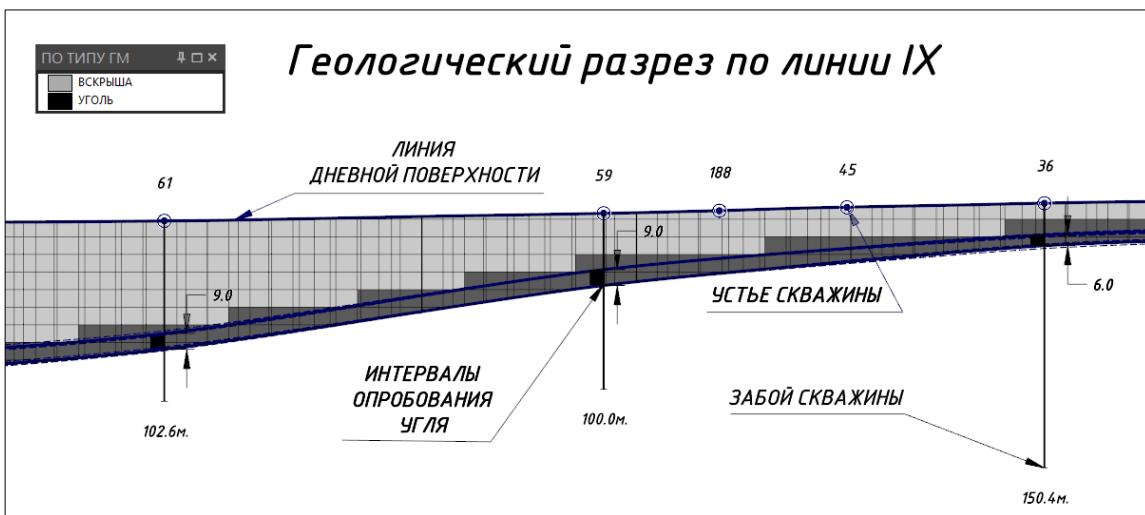
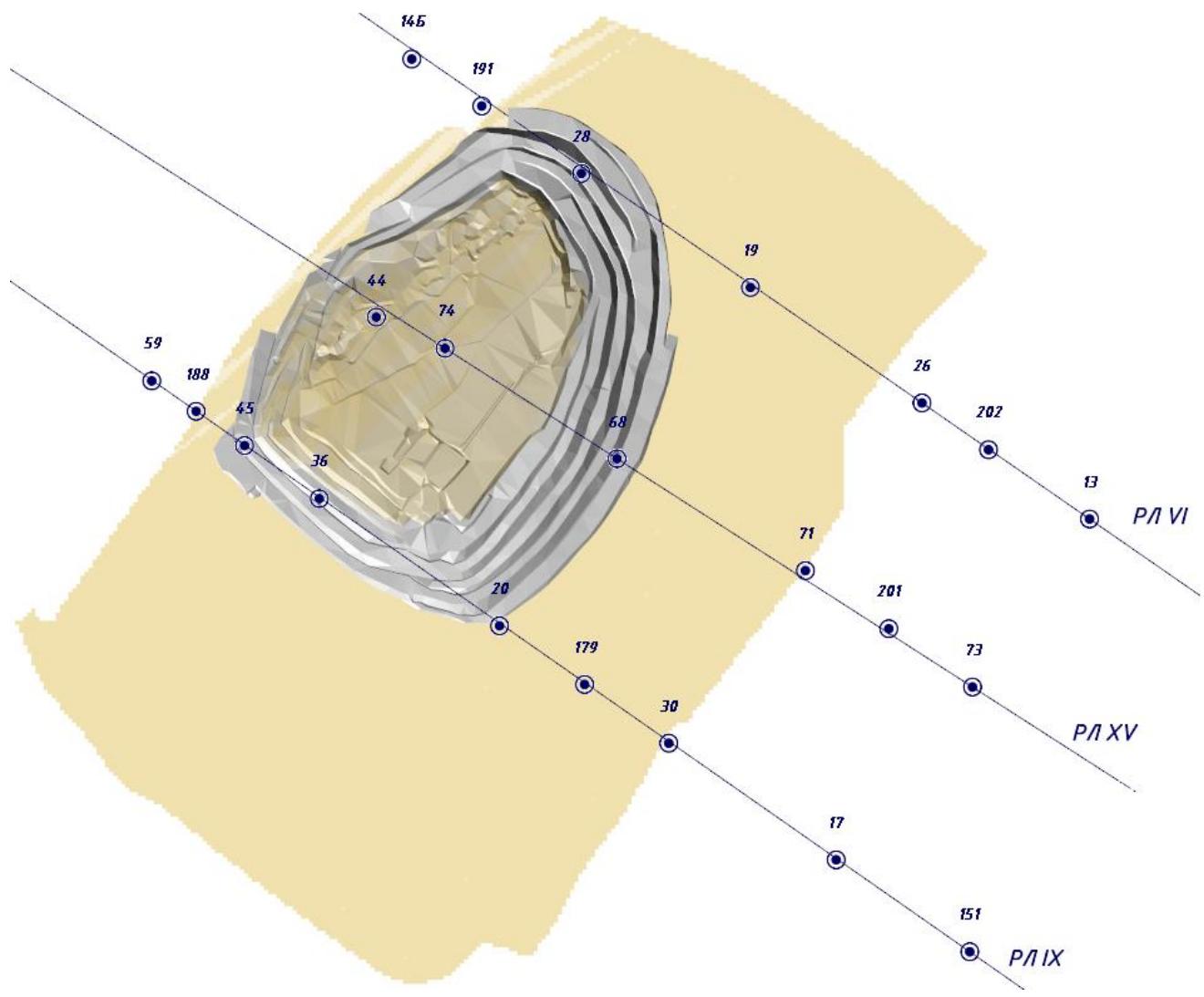


Рисунок 29. Стратиграфическая блочная модель Кутинского буроугольного месторождения.

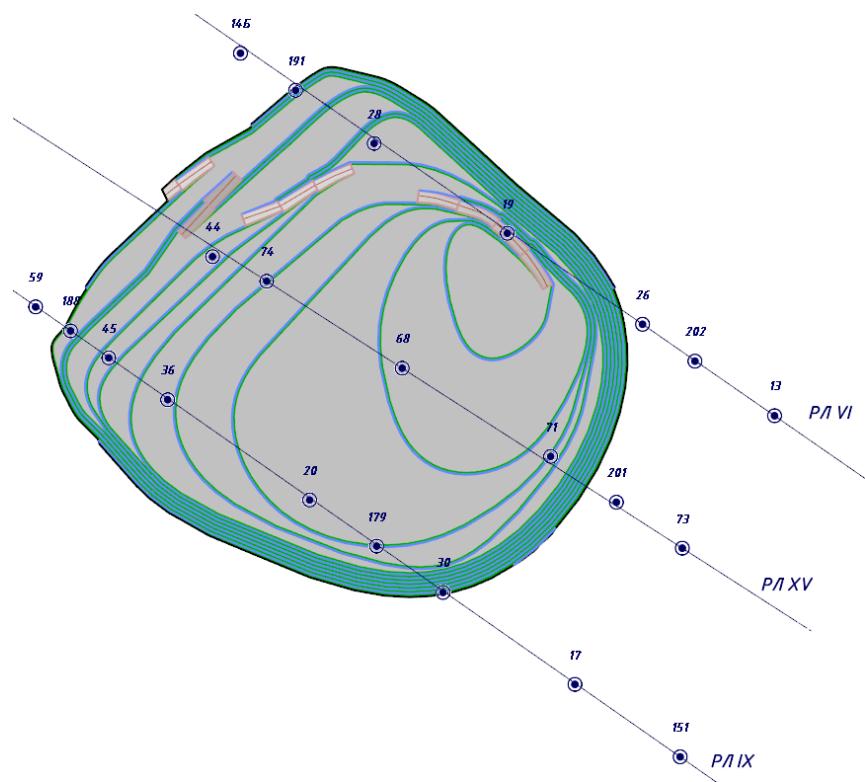
На рисунке выше четко видны контуры угольного пласта. Тёмным цветом выделен сам пласт ископаемых углей, серым – вскрышные породы.

Таким образом, на этом этапе была получена БМ Кутинского буроугольного месторождения, качественные характеристики угольной продукции были представлены компанией ООО «Приаргунский угольный разрез», данные по содержанию ЕРН были получены экспериментальным путем.

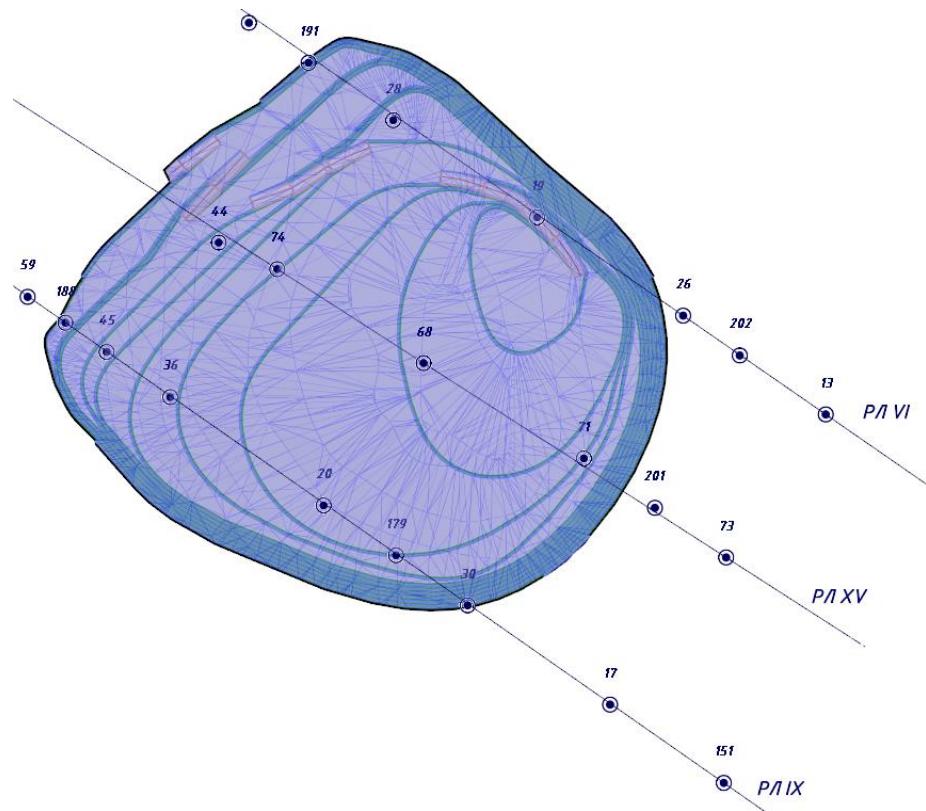
На седьмом этапе создаются модели контуров карьера и построенные по ним цифровые каркасные модели, что позволяет высчитать объемы горной массы и угля, находящиеся в пределах контуров (Рисунок 30). На рисунке 30А – изображен вид в плане на положение горных работ на 22 апреля 2022 года. На рисунке 30Б – вид в плане чаши карьера Кутинского буроугольного месторождения в границах текущей лицензии на конец 2027 года. На рисунке 30В – вид в плане на объемную модель (солид) Кутинского буроугольного месторождения на конец отработки.



A



Б



В

Рисунок 30. Модели контуров карьера и построенные по ним цифровые каркасные модели. А – каркасная фактическая; Б – каркасная поверхностная; В – каркасная объемная

Следующим этапом был проведен процесс интерполяции содержаний ЕРН в блоки цифровой блочной модели пласта I Кутинского буроугольного месторождения [51,125,154]. Результат присвоения неизвестных значений на основе полученных в результате анализа представлен на рисунках (Рисунок 31-33).

Геологический разрез по линии VI-VI
 Граница запасов утвержденных Протоколом ГКЭ СССР №2748 от 25.07.1959 г.
 Граница лицензии ЧИТ 04080 ТЭ
 М 1:2000

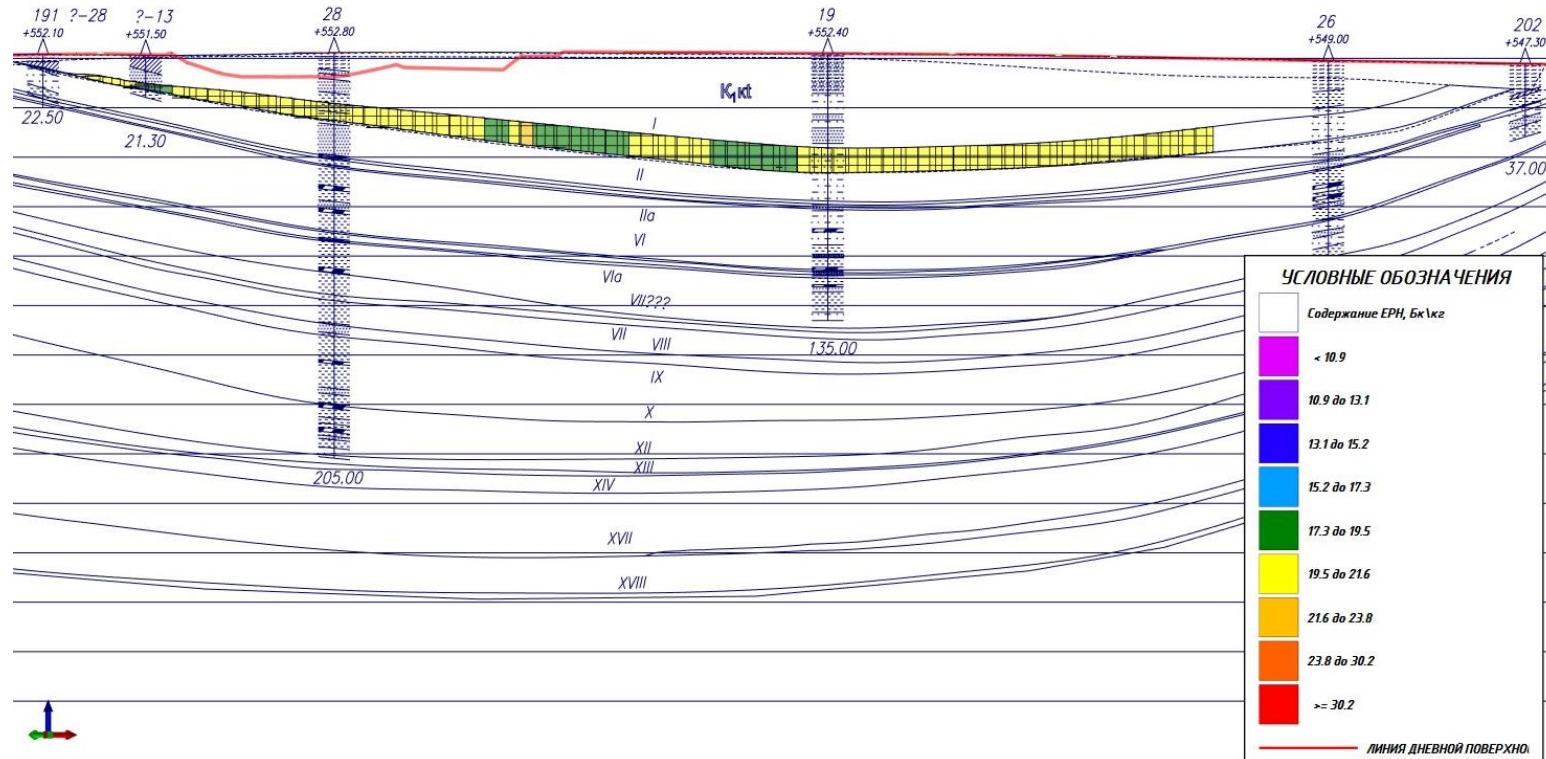


Рисунок 31. Геологический разрез по линии VI-VI. Красным – контур карьера и линия дневной поверхности на 22.04.2022 (момент съемки), цветом – блоки созданной модели с прогнозными значениями по содержанию ЕРН.

Геологический разрез по линии IX-IX
Граница запасов утвержденных Протоколом ГКЗ СССР №2748 от 25.07.1959 г.
Граница лицензии ЧИТ 04080 ТЭ
M 1:2000

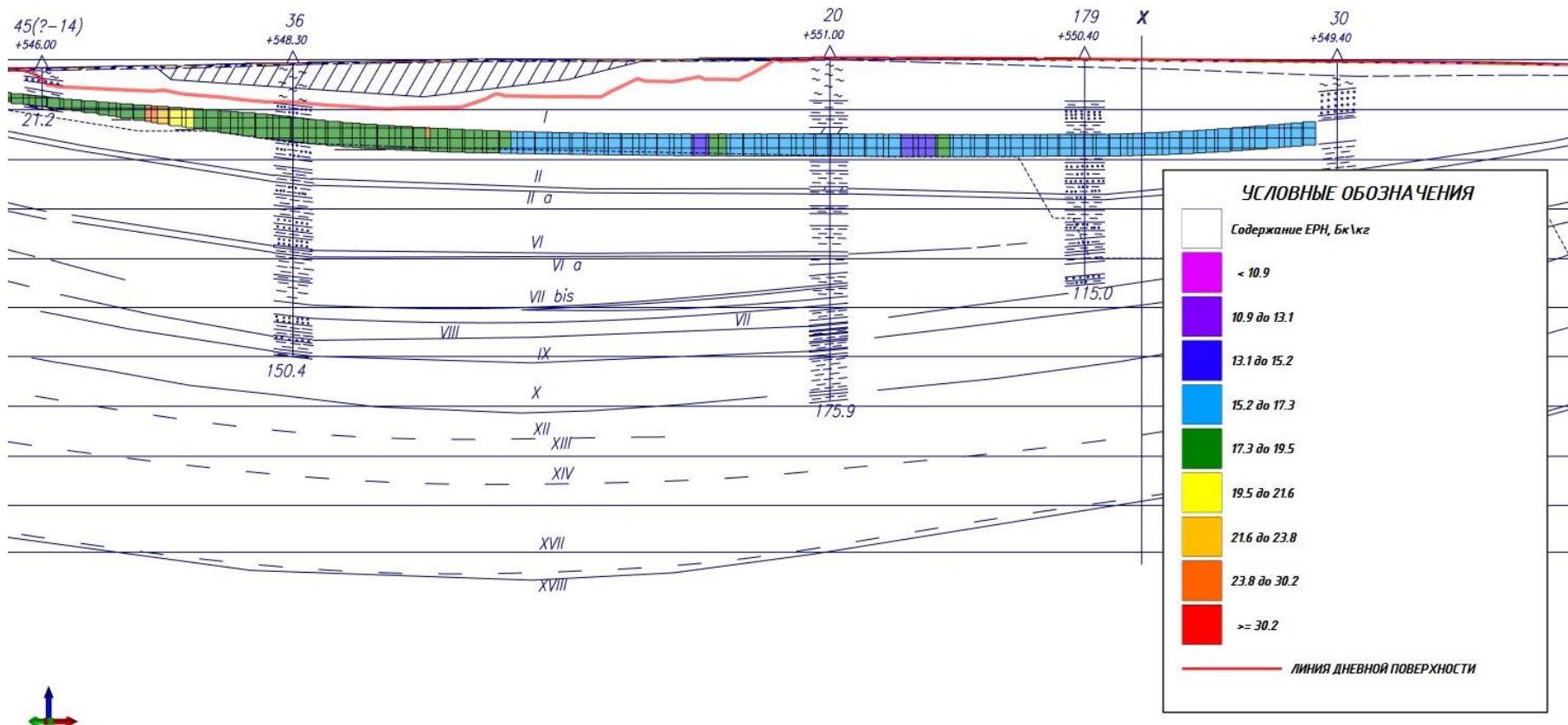


Рисунок 32. Геологический разрез по линии IX-IX. Красным – контур карьера и линия дневной поверхности на 22.04.2022 (момент съемки), цветом – блоки созданной модели с прогнозными значениями по содержанию ЕРН.

Геологический разрез по линии XV-XV
 Граница запасов утвержденных Протоколом ГКЗ СССР №2748 от 25.07.1959 г.
 Граница лицензии ЧИТ 04080 ТЭ
 М 1:2000

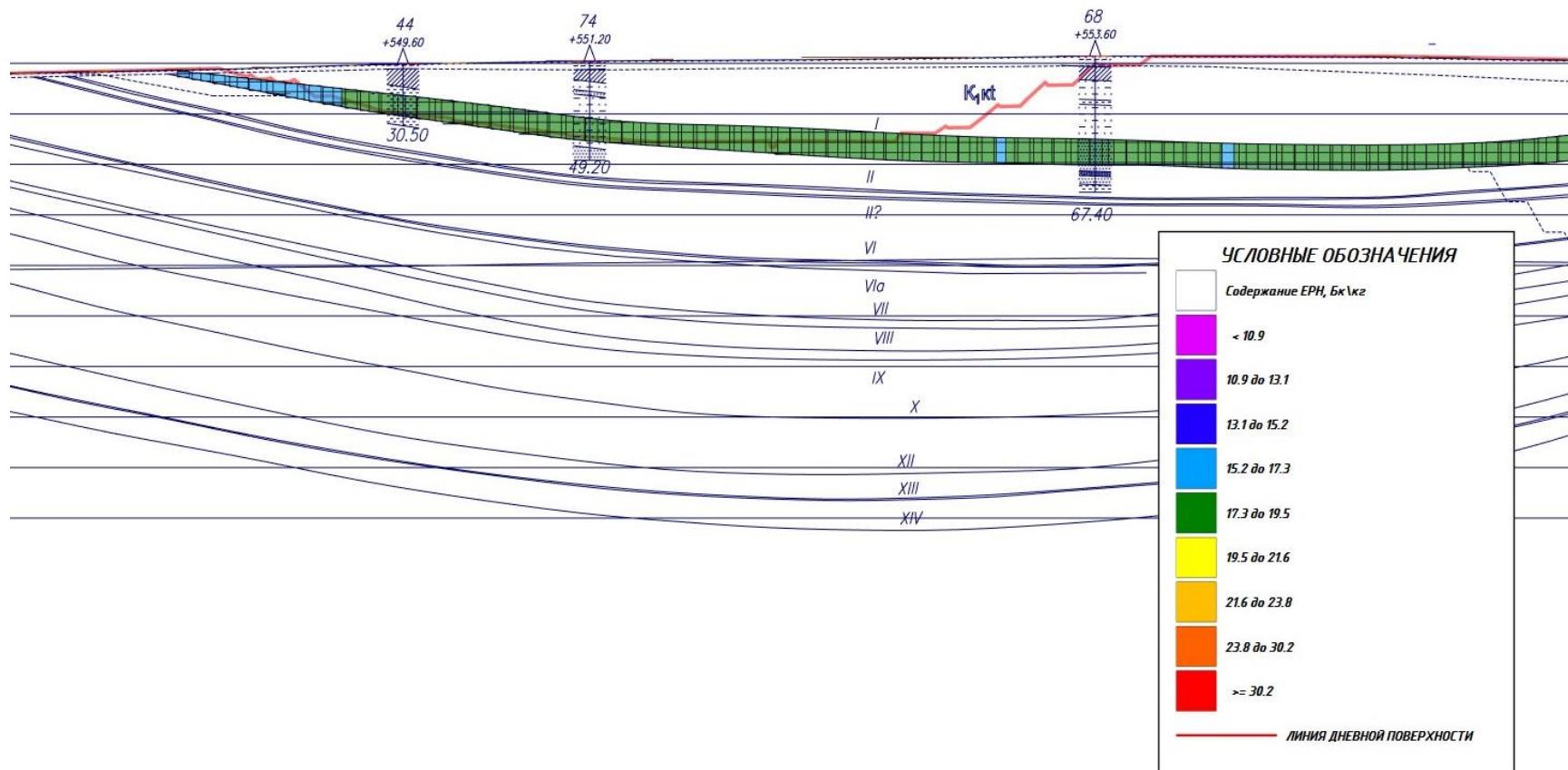


Рисунок 33. Геологический разрез по линии XV-XV. Красным – контур карьера и линия дневной поверхности на 22.04.2022 (момент съемки), цветом – блоки созданной модели с прогнозными значениями по содержанию ЕРН.

Для визуального представления пространственного распределения данных был выполнен геостатистический анализ полученной модели в виде гистограммы (Рисунок 34).

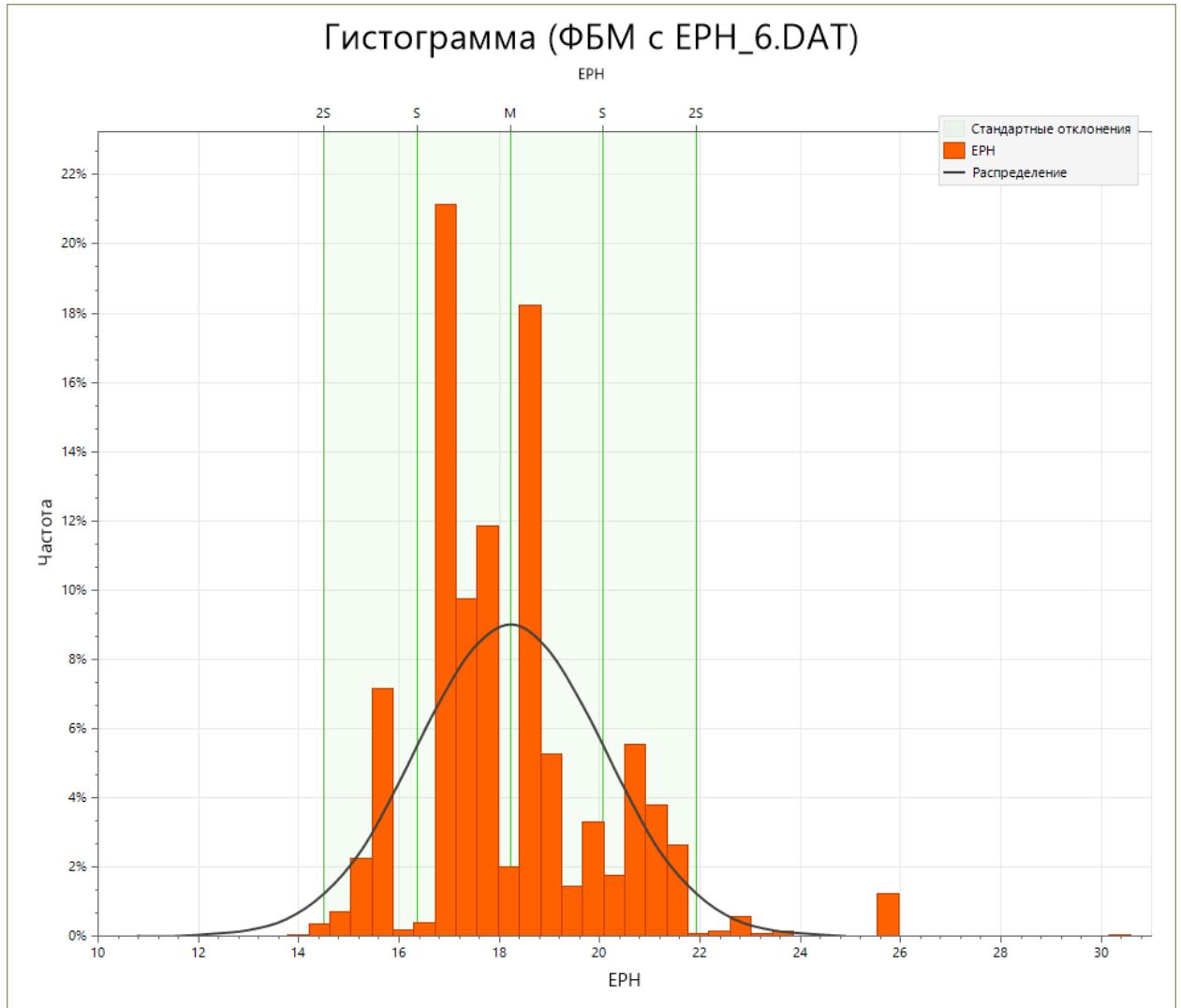


Рисунок 34. Гистограмма распределения содержаний ЕРН, в БК/кг в блочной модели участка пласта «I» вовлеченного в добычу.

Из гистограммы видно, что большинство значений укладывается в пределы стандартных отклонений, а среднее значение удельной эффективной активности 18,3 Бк/кг., в то время как среднее по всем пробам было экспериментально определено как 18,93 Бк/кг. Сходимость результатов моделирования и данных полученных экспериментальным путем составляет 96,67 %.

3.3. Методика прогнозирования характеристик угольной продукции на основе цифровой блочной модели угольного месторождения

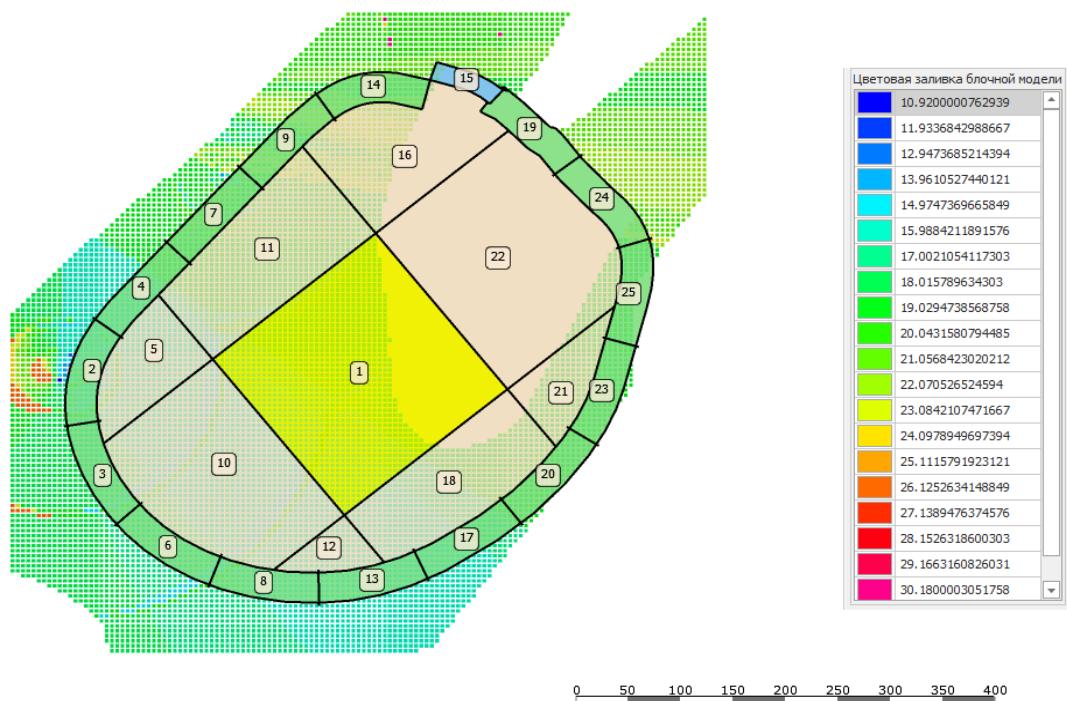
На основании высокого процента сходимости экспериментальных данных и данных полученных из БМ, для составления прогноза по качественным показателям ПИ на основе блочного моделирования, в том числе содержанию ЕРН, а также для выполнения геоэкологического контроля качества угольной продукции предлагается 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) [28].
3. В полученных из угля продуктах сжигания – определяют содержание ЕРН по методике измерения активности радионуклидов с использованием сцинтиляционного 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 добывающие 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.

Таким образом, с уверенностью можно сказать, что при помощи геостатистических методов оценки полезного ископаемого помимо качественных характеристик ПИ можно производить оценку характеристик токсичности, радиационной безопасности и т.д. с присвоением соответствующих значений БМ. Полученные характеристики позволяют 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 (Рисунок 35).



Сорт ПИ	Суммарно	Порода			Рядовой		
		Значение	мин	макс	Значение	мин	макс
Поле	Значение						
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

Рисунок 35. План 505 горизонта Кутинского буроугольного месторождения. Блочная модель кодирована цветами по содержанию ЕРН согласно легенде.

Поскольку дальнейшее геоэкологическое картирование проводится на основании БМ, можно уточнить сходимость проектных данных и данных БМ, полученных на основании интерполяции этих данных в модель. Проводя анализ результатов испытаний, была получена зольность в пересчете на сухую массу (A^d) 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 О&В определяется в 25,29% (Рисунок 36).

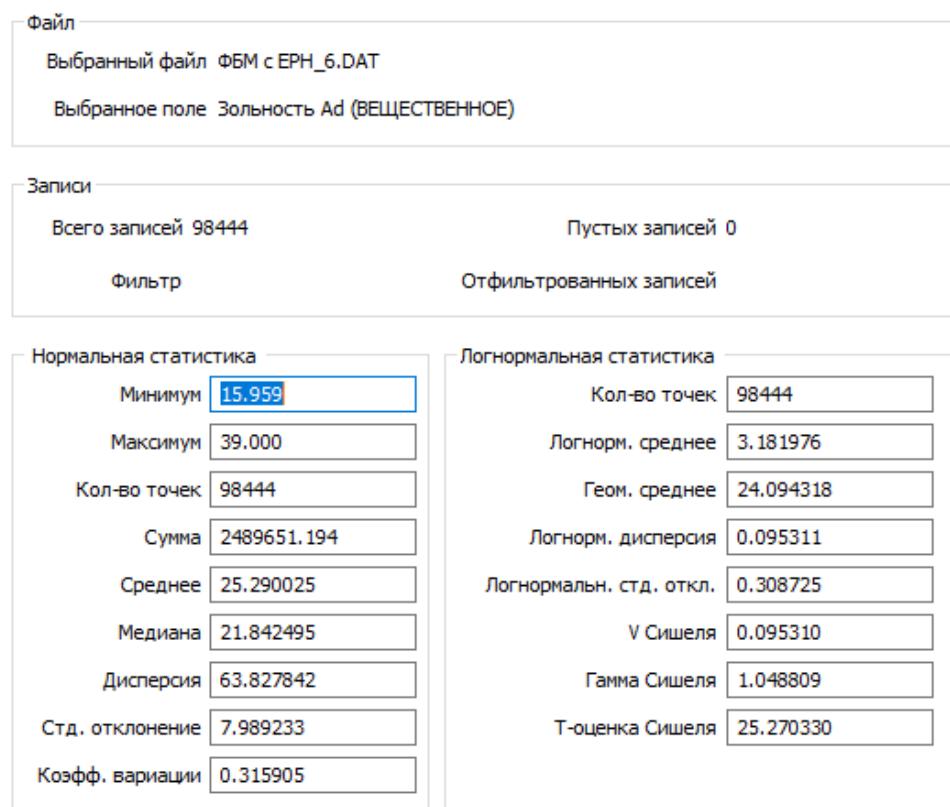


Рисунок 36. Фрагмент отчета с описательной статистикой по зольности в пересчете на сухую массу A^d .

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 ООО Приаргунский угольный разрез.

Выводы по главе

Цифровые модели горных объектов являются неотъемлемой частью данных, на основании которых строится работа горнодобывающего предприятия.

На основании данных геологической разведки и геодезической съемки возможно создать несколько цифровых моделей месторождения: каркасную, полную блочную модель с включением пустых пород, блочную модель полезного ископаемого. Процесс создания блочной модели полезного ископаемого разбит на 8 шагов, выполняемых в строгом порядке и невозможных к исключению.

Доказано, что блочная модель может выступать основой для геоэкологического картирования по критерию потенциальной опасности углей, вскрышных, перекрывающих и подстилающих горных пород. С уверенностью можно сказать, что при помощи геостатистических методов оценки полезного ископаемого помимо качественных характеристик ПИ можно производить оценку характеристик токсичности, радиационной безопасности и т.д. с присвоением соответствующих значений БМ.

4. Блочная модель Кутинского буроугольного месторождения как основа для геоэкологического картирования по критерию потенциальной опасности углей, вскрытых, перекрывающих и подстилающих горных пород

4.1. Цифровое моделирование пласта «I» Кутинского буроугольного месторождения

Выполним процесс цифрового моделирования участка пласта «I», вовлеченного в разработку на Кутинском буроугольном месторождении.

Советский математик, один из основоположников кибернетики, А.А. Ляпунов дал следующее определение понятию «моделирование»: это опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная искусственная или естественная система (модель).

При этом нужно понимать, что эта модель должна находиться в объективном соответствии с познаваемым объектом, способна замещать его в определенных отношениях и, в конечном счете, должна предоставлять информацию о моделируемом объекте [49].

Более того, существует мнение, что моделирование можно считать промежуточным звеном между теорией и экспериментом, поскольку содержит черты, заимствованные из всех приведенных понятий.

Для создания моделей цифровых рудных тел принято использовать общепринятую в профессиональном сообществе логику моделирования:

1. Создание базы данных (БД) геологоразведочных скважин.
2. Выделение на основе данных геологического опробования рудных интервалов в соответствии с требованиями Государственной комиссии по запасам Российской Федерации (ГКЗ РФ).

3. Объединение смежных рудных интервалов в полигоны (получение контуров рудных тел и полигональной модели ПИ) на основе известных геологических методик.

4. Объединение контуров рудных тел (РТ) в каркасы РТ (получение каркасной модели).

5. Получение блочной модели ПИ и интерполяция в неё данных опробования.

Интерполяция – это присвоение качественных или количественных показателей полезного ископаемого (например, содержание полезного компонента, зольность или теплотворная способность углей) в каждый блок блочной модели [50]. То есть, в контексте вопроса оценки каждого блока блочной модели ПИ задача интерполяции – установить неизвестные значения содержаний полезного компонента на основе известных данных геологической разведки. Как правило, это данные по интервалам скважинного или бороздового опробования.

Для создания цифровых моделей пластовых (на примере угольных) месторождений применяют несколько иную методику:

1. Создание БД геологоразведочных скважин.
2. Выделение интервалов опробования по ПИ на основе данных, полученных в результате геологической разведки.
3. Стратиграфическое моделирование участка горных работ на основе собранных геологоразведочных данных литологии месторождения.
4. Выделение особенностей залегания и тектонических нарушений на участке проведения работ.
5. Создание сеточных моделей кровли и почвы/подошвы пластов ПИ.
6. Создание блочной модели пластов ПИ на основе данных стратиграфии и последующая оценка каждого блока (интерполяция качественных характеристик в блоки).

В параграфе 3.2. данной работы было выполнено цифровое моделирование полной БМ участка Кутинского буроугольного

месторождения, вовлеченного в разработку ООО Приаргунский угольный разрез. Для точности оценки и последующей качественной визуализации блочной модели создадим также модель пласта без учёта перекрывающих пласт пустых пород. Для её создания были приняты следующие параметры материнского блока: 5*5*0.2 м. Результат представлен на рисунке (Рисунок 37).

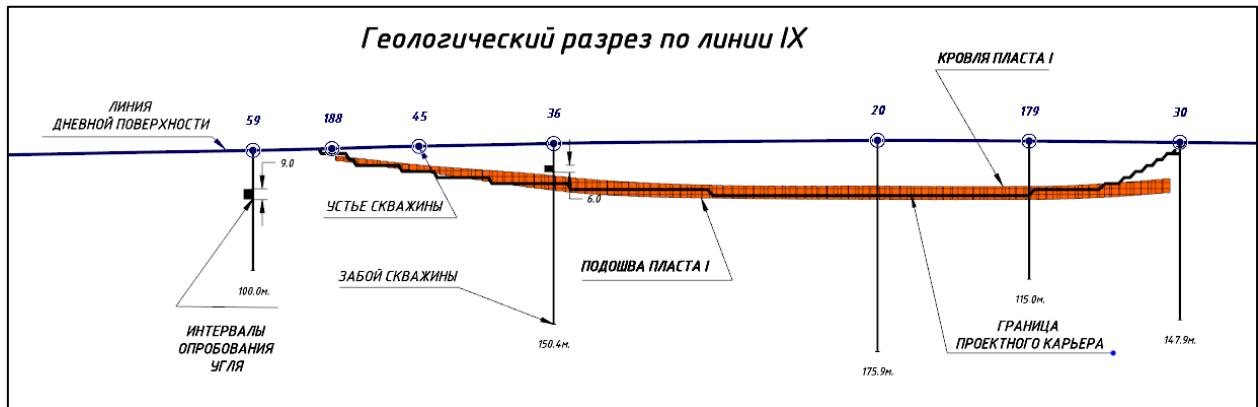


Рисунок 37. Блочная модель пласта I Кутинского буроугольного месторождения.

Таким образом, была получена цифровая модель участка пласта I Кутинского месторождения бурых углей. В таблице ниже приведен отчет по блочной модели, подготовленный с использованием горно-геологической информационной системы (ГГИС) Micromine Origin and Beyond. Отчет позволяет создать представление о выполненной оценке цифровой блочной модели ПИ и подвести предварительный итог оценки месторождения (Таблица 11).

Таблица 11. – Отчет по полученной блочной модели с интерполированными характеристиками ПИ, выполненный в ГГИС Micromine Origin and Beyond.

ОБЪЕМ (м ³)	ОБЪЁМНЫЙ ВЕС (т/м ³)	ТОННАЖ (т)	ЗОЛЬНОСТЬ, А ^a (%)	ВЫСШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ, Q _{i,v} ^{daf} (МДж/кг)	НИЗШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ, Q _{i,v} ^{daf} (МДж/кг)
8 542 308.59	1.2	10250770.31	28.89	26.77	14.638

Представление теплоты сгорания в МДж/кг выбрано на основании ГОСТ 25543-2013 [28]. Зольность аналитической пробы определялась на основе ГОСТ Р 55661-2013 [5]. Данные для моделирования были представлены компанией ООО «Приаргунский угольный разрез». В результате выполнения описанных действий, каждому блоку внутри модели пласта были присвоены качественные характеристики.. Стоит отметить, что подобным образом, блокам модели можно присвоить и другие качественные характеристики. В таблице приведены показатели качества углей по I пласту. Использованы архивные данные ГРР 1956-1959 годов и результаты эксплуатационной разведки 2020 год (Таблица 12).

Таблица 12. – Показатели качества углей на 2020г.

ОБЪЁМНЫЙ ВЕС (t/m ³)	ЗОЛЬНОСТЬ, A ^a (%)	ВЫСШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ, Q ^{daf} _{i,v} (МДж/кг)	НИЗШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ, Q ^{daf} _{i,v} (МДж кг /)
1.2	27,9	28.89	12.85

Для выполнения второй задачи был выполнен анализ корреляции усредненных качественных показателей углей в созданной цифровой блочной модели на основе данных ГРР 1959 г. с обобщенными данными эксплуатационной разведки на 2020 год (Рисунок 38).

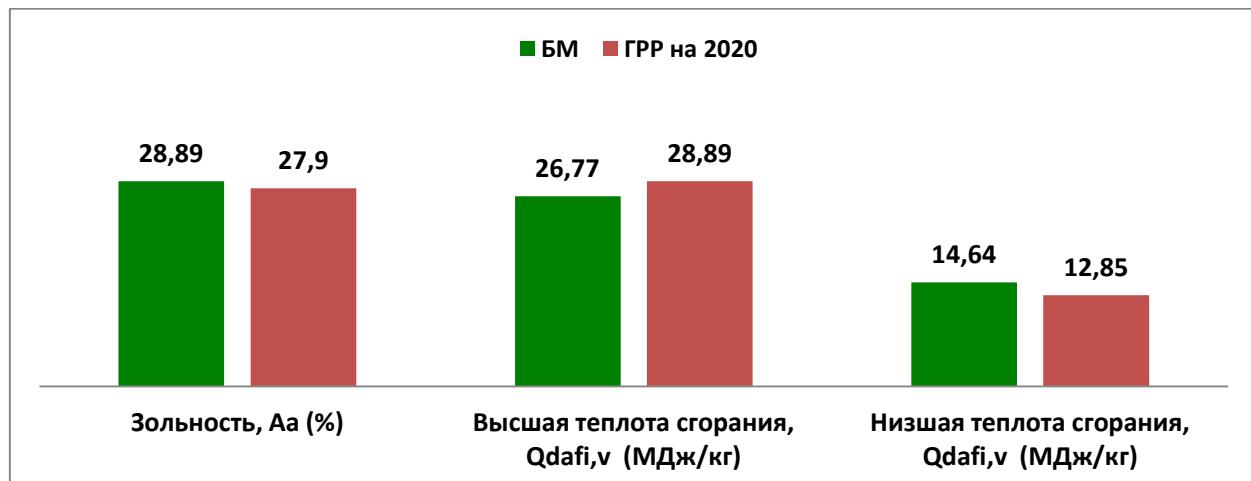


Рисунок 38. Сравнительный анализ качественных показателей углей на основе смоделированных данных по блочной модели на основе данных опробования 1959 г. с данными эксплуатационной разведки на 2020 г.

Выполняя анализ, констатируем удовлетворительную сходимость результатов сопоставления данных. Расхождение по зольности A^a составило примерно 4%, по высшей теплоте сгорания $Q_{i,v}^{daf}$ - 7%, по низшей теплоте сгорания $Q_{i,v}^{daf}$ - 12%.

Описанная методика широко применяется для моделирования пластовых месторождений в ГГИС, и в частности, при моделировании каменноугольных месторождений. Однако, практики её применения при моделировании буроугольных месторождений в России в частности и в мире в целом практически нет. Кроме того, учитывая уникальность геологических условий каждого отдельно взятого месторождения, необходимо сказать о том, что последовательность описанных шагов может быть пересмотрена, но в целом моделирование буроугольных месторождений укладывается в описанную методику.

В процессе моделирования было высказано предположение о применимости подобной методики посредством инструментария современных ГГИС не только для предварительной оценки показателей качества углей, но и для прогнозирования опасных характеристик углей, как например содержание естественных радионуклидов в ископаемых углях

4.2. Цифровая блочная модель как основа создания качественного прогноза по добыче углей

Создание прогноза с последующим высоко вероятностным подтверждением возможно благодаря созданию совокупности выемочных блоков в пределах смоделированного инженерного карьера. Разделив каркасную модель карьера на выемочные единицы, мы тем самым решаем задачу планирования объемов вскрыши и добычи и прогнозирования качества добываемого угля (Рисунок 39, Таблица 13).

*Геологический разрез по линии IX-IX
Граница запасов утвержденных Протоколом ГКЭ СССР №2748 от 25.07.1959 г.
Граница лицензии ЧИТ 04080 ТЭ
М 1:2000*

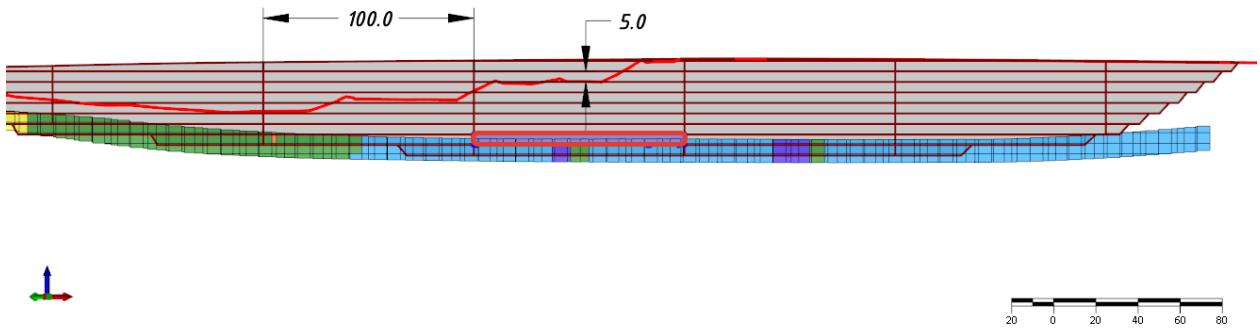


Рисунок 39. Схема геологического разреза Кутинского буроугольного месторождения с визуализацией выемочных блоков и их геометрических параметров

На рисунке светлым красным показан контур фактического карьера на 22.04.2022 года, темным – контуры проектного карьера и выемочных единиц (Рисунок 39). Из таблицы видно, что ПО дает возможность высчитать по каждому выемочному блоку объемы вскрыши и полезного ископаемого, а также получить ожидаемый прогноз по качественным характеристикам ПИ. Это, в свою очередь, позволяет оптимально подбирать ресурсы предприятия для организации добывчих и вскрышных работ. В конечном итоге, позволяет контролировать качество полезного ископаемого, управлять им и добиваться максимально оптимальных параметров работы горного предприятия. Дальнейший цикл жизни созданной модели – применение в качестве базового элемента при оптимизации контуров горных выработок, экономически целесообразных к разработке.

Таблица 13. - Отчет прогнозируемых показателей по блоку 510-1-4

Наименование блока	Категория	ОБЪЕМ (м ³)	ПЛОТНОСТЬ (т/м ³)	Тоннаж (т)	ЗОЛЬНОСТЬ, Ас (%) (%)	ВЫСШАЯ ТЕПЛОУСТОРОГАНИЯ, Qdaf (Kkal/kg) (kcal)	НИЗШАЯ ТЕПЛОУСТОРОГАНИЯ, Qi (Kkal/kg) (kcal)	ВЫХОД ЛЕГУЧИХ ВЕЩЕСТВ, Vdaf (%) (%)	СОДЕРЖАНИЕ СЕРЫ, Sобщ (%)	МАКСИМАЛЬНАЯ ВЛАГОЕМКОСТЬ, Waf (%) (%)
БЛОК_510_1_4	Уголь	14535,202	1,200	17442	34,6	5233,8	3493,1	37,8	0,42	32
БЛОК_510_1_4	Порода	29891,059	2,500	74727,6	-	-	-	-	-	-
	Всего	44426,261	2,075	92170						

В ходе выполнения погоризонтного картирования в параграфе 4.3 автором рассмотрен способ применения полученной блочной модели при выполнении погоризонтного планирования на предприятиях, осуществляющих добычу углей открытым способом, посредством моделирования выемочных блоков на каждом горизонте разреза с имеющимся прогнозом характеристик ПИ по каждому выемочному блоку [54-56].

4.3. Алгоритм погоризонтного картирования и его использование на ООО «Приаргунский угольный разрез»

Процесс погоризонтного картирования на ООО Приаргунский угольный разрез продемонстрируем с использованием программного обеспечения (ПО) Micromine Alastri. Условно можно разделить алгоритм картирования на определённое количество последовательных этапов. Остановимся на этапе предварительной подготовки запасов в Micromine Alastri Rapid Reserver.

Этап подготовки запасов считается достаточно трудоёмкой задачей. 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 проведенной оценки БМ [6]. На этапе сопоставления блочной модели с полями, предлагаемыми в ПО, определяем сорта качества полезного ископаемого. Для определения сортов, будем использовать авторский алгоритм, написанный на языке программирования C# (Рисунок 40). Поскольку далее в статье будем устанавливать корреляцию показателей зольности в пересчете на сухую массу A^d и содержания в золе ЕРН, в поле сопоставления Parcel указываем распределение по сортам относительно поля блочной модели «ЕРН», в котором содержатся прогнозные значения оценки БМ, полученные в результате гамма-спектрометрического анализа.

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("ЕРН") > 20 ? ("Опасная") : ("Рядовая")
Volume (m³)	0	∞	#,##0	N("_X")*N("_Y")*N("_Z")
DryTonnes	0	∞	#,##0	N("ПЛОТНОСТЬ")*(N("_X")*N("_Y")*N("_Z"))
Х Зольность	-∞	∞	#,##0.00	N("Зольность Ad")
Х ЕРН	-∞	∞	#,##0.00	N("ЕРН")

Генератор сортов полезного ископаемого

Метод 1 Метод 2 Метод 3

Полезное ископаемое	Значение	Условие	Условие верно	иначе
ЕРН	20	больше	Опасная	Рядовая

Старт

$N("ЕРН") > 20 ? ("Опасная") : ("Рядовая")$

Рисунок 40. Сопоставление полей блочной модели в ПО Micromine Alastri Rapid Reserver с определением сорта угля по содержанию ЕРН.

Результатом сопоставления полей БМ участка пласта I Кутинского буроугольного месторождения и полей Rapid Reserver будет генерация блочной модели ПИ с учётом распределения по сортам, в виде отчета (Таблица 14).

Таблица 14. – Подсчет показателей по БМ с учетом сортов ПИ.

Сорт ПИ	Суммарн о	Опасный			Рядовой		
		Значение	мин	Макс	Значение	мин	Макс
Поле	Значение	Значение	мин	Макс	Значение	мин	Макс
Объем (м ³)	8 542 205,24	1 478 652,08	0,03	125	7 063 553,15	0,03	125
Тоннаж, т.	10 250 646,28	1 774 382,5	0,03	150	8 476 263,78	0,03	150
Зольность, %	25,34	21,18	16,58	34,9	26,21	15,9 6	39
ЕРН, Бк/ка	18,17	21,26	20	30,18	17,52	10,9 2	20

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 четкий прогноз по вынимаемой вскрыше, ПИ и его качеству (Рисунок 41).

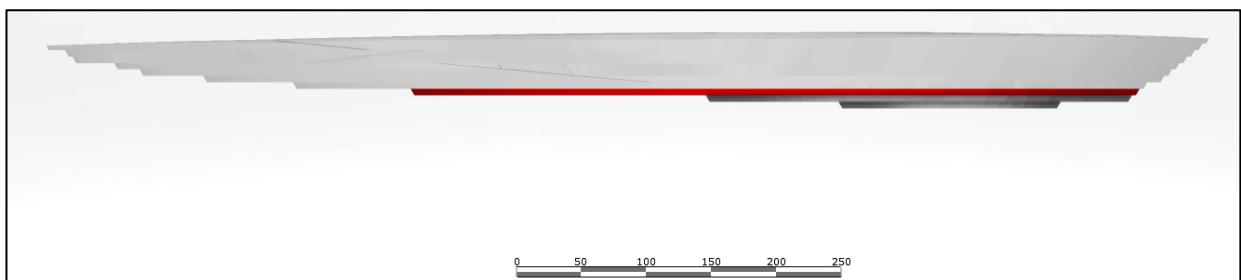


Рисунок 41. Сопоставление каркаса карьера с шаблоном высоты уступа в ПО Micromine Alastri Rapid Reserver.

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 $L_2 = 1,7 \cdot R_q$, где R_q – это радиус черпания экскаватора, осуществляющего добычу ПИ, а длина L_1 обычно принимается в зависимости от протяженности фронта работ, как правило, не менее 300м [48]. Горизонт, разбитый на блоки, можно визуализировать любым удобным методом. На рисунке представлен план 505 горизонта (Рисунок 42, Таблица 15). Разделение горизонта на добывочные блоки выполнено с учетом параметров технологического оборудования, используемого на ООО «Приаргунский угольный разрез». Добывочные блоки окрашены бежевым цветом, блоки, характеризующие дорогу – голубым, приконтурные, где выполняется заоткоска – зелёным цветом.

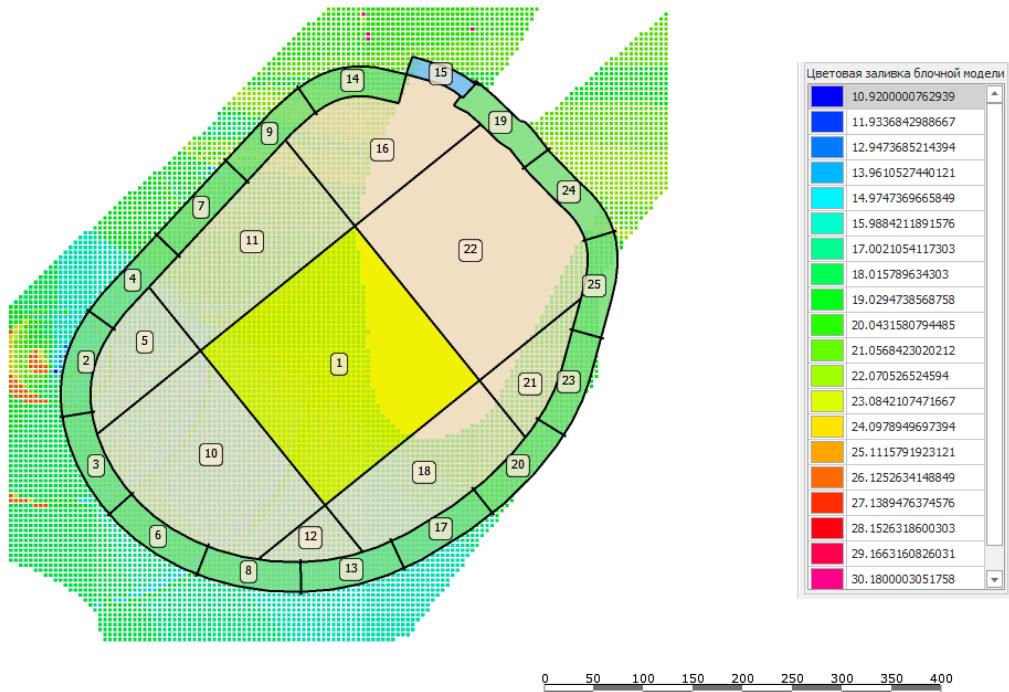


Рисунок 42. План 505 горизонта Кутинского буроугольного месторождения.

Блочная модель прокодирована цветами по содержанию ЕРН согласно легенде.

Таблица 15. – Подсчет показателей по 505 горизонту с учетом сортов ПИ.

Сорт ПИ	Сумма	Порода			Рядовой		
		Поле	Знач.	Знач.	мин	макс	Знач.
Объем (м ³)	199 998,27	3417,26	3417,26	3417,26	196581, 01	0	103,3 4
Тоннаж, т.	244440, 36	8543,15	8543,15	8543,15	235897, 21	0	124
Зольность, %					28,32	15,96	39
ЕРН, Бк/кг					17,75	14,23	19,18

Предполагается, что при помощи геостатистических методов оценки полезного ископаемого помимо качественных характеристик ПИ можно производить оценку характеристик токсичности, радиационной безопасности и других опасных характеристик. При организации дальнейшего процесса предполагается делить добытое ПИ по сортам, и в зависимости от выявленных характеристик качества и категории опасности присваивать ПИ определенный сорт, после чего организовывать дальнейший технологический процесс уже опираясь на известные параметры добытого ПИ.

Ранее был описан программный продукт, который был использован в качестве средства создания прогноза по полезному ископаемому – Micromine Alastri Rapid Reserver. Это ПО будем использовать также для создания погоризонтных карт качества ПИ. Для создания проекта запасов в пределах проектного контура карьера Кутинского буроугольного месторождения необходимо выполнить ряд последовательных действий.

Шаг 1. Настройка параметров планирования горных работ. В этом разделе выполняется сопоставление параметров проекта, единиц измерения, в которых измеряются используемые в проекте величины. Обязательным аспектом, который должен учитываться в этом разделе – задание использования цифровой блочной модели в качестве основы данных для дальнейшего планирования горных работ и прогнозирования качества ПИ.

Также важным аспектом является указание минимальной площади поверхности планируемого блока и минимального объема блока. В случае если оставшийся блок планируется меньше заданных значений, эти объемы прирезаются к ближайшему соседнему выемочному блоку.

Шаг 2. Настройка параметров сопоставления вмещающих материалов – Вскрышным породам назначается отвал, как место их длительного складирования, полезному ископаемому – склад угля или фабрика как окончательная точка приема материала.

Шаг 3. Сопоставление полей блочной модели и генерация сортов полезного ископаемого. Шаг является необходимым, поскольку без сопоставления полей невозможно дальнейшее получение прогноза по ожидаемым параметрам ПИ.

Шаг 4. Создание шаблона уступов и сопоставление с каркасом проектного инженерного карьера. Выполняется с целью создания алгоритма погоризонтной выемки. В случае нарушения алгоритма качественный прогноз по добыче невозможен.

Шаг 5. Заключительный в методике. Необходим для создания сети деления горизонта на выемочные блоки и сопоставления с шаблоном уступа. Результатом выполнения этой операции является модель качества углей и основанные на этой модели погоризонтные карты качества. Карты качества являются необходимым критерием выполняемого оперативного контроля качества угольной продукции по критерию опасности после добычи угля перед его сортировкой и последующей реализацией. Карты являются продуктом моделирования, генерируются автоматизированно с разбивкой на горизонты относительно нижних высотных отметок каждого уступа.

Обратно интерполируемые прогнозные значения ЕРН в блочную модель позволяют сформировать прогнозную оценку каждого отдельно взятого блока по критерию опасности с учетом содержания ЕРН. Этот прогноз может в дальнейшем служить фундаментом для оперативного контроля добытой угольной продукции (Таблица 16, Рисунок 43-45).

Таблица 16. – Итоговый прогнозный отчет по блочной модели с обратно интерполированными прогнозными показателями по ЕРН

	Суммарно по всем сортам угля				Опасная			Рядовая		
	Поле	Итого	мин	макс	Итого	мин	макс	Итого	мин	макс
Объем (м ³)	8 542 205,24	0,03	125,0	0	1 478	0,03	125,0	7 063	0,03	125
Сухой тоннаж	10 250 646,28	0,03	150,0	0	1 774	0,03	150,0	8 476	0,03	150
Зольность	25,34	15,9	39,00	21,2	16,58	34,90	26,21	15,9	39	
ЕРН прогноз	65,81	24,9	94,39	72,0	51,38	94,39	64,51	24,9	85,37	
ЕРН	18,17	10,9	30,18	21,3	20,0	30,18	17,52	10,9	20	

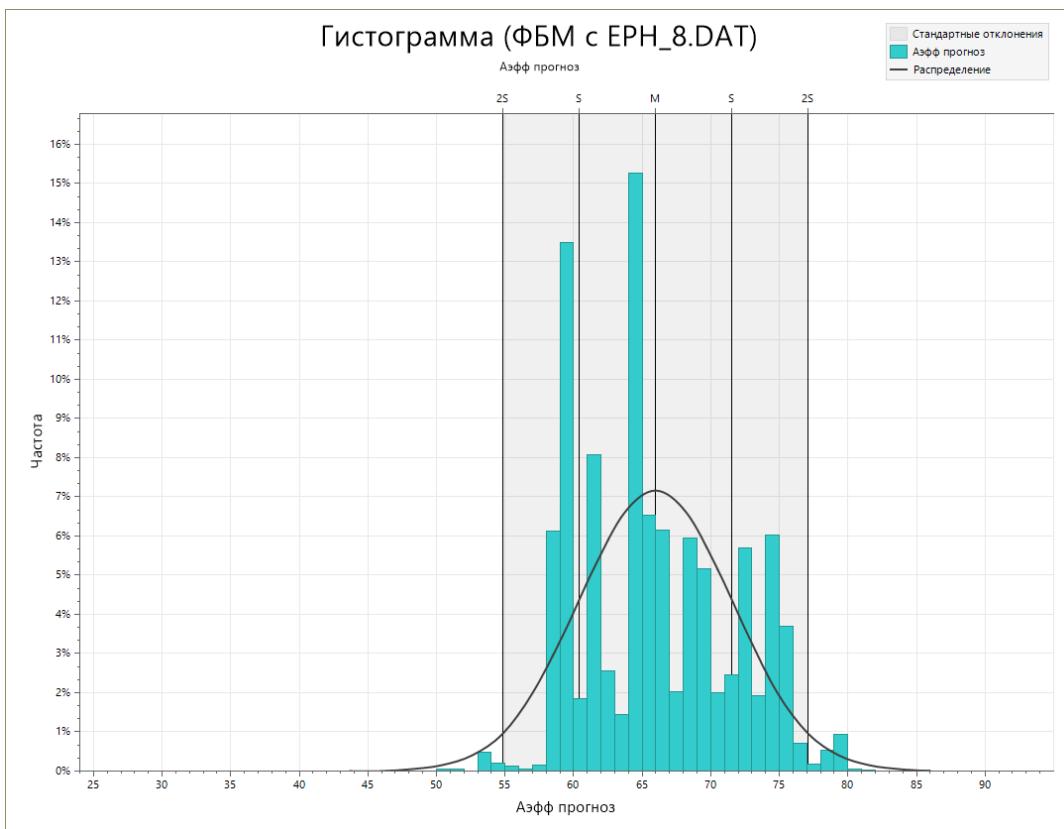


Рисунок 43. Гистограмма прогнозных содержаний ЕРН относительно зольности в пересчете на сухую массу.

Геологический разрез по линии IX-IX
Граница запасов утвержденных Протоколом ГКЭ СССР №2748 от 25.07.1959 г.
Граница лицензии ЧИТ 04080 ТЭ
M 1:2000

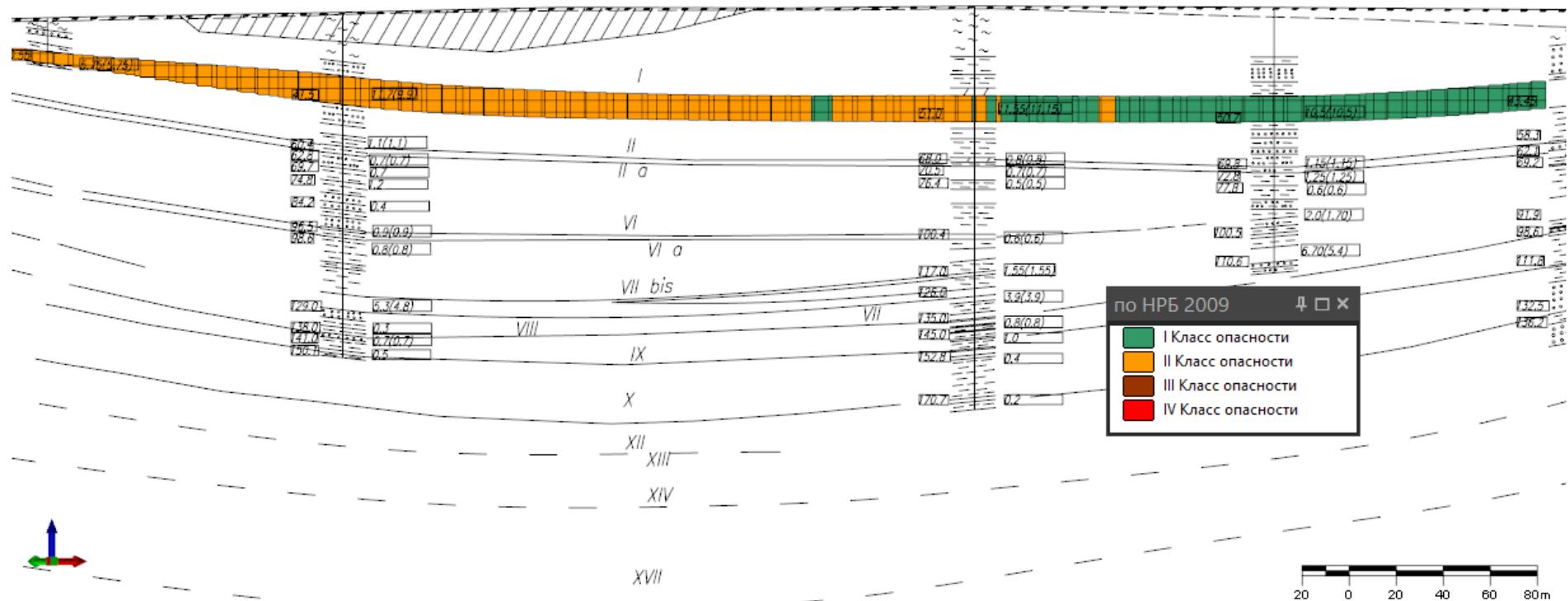


Рисунок 44. Пространственное распределение трехмерных блоков по прогнозируемым после сжигания углей коассам опасности в пределах геологического разреза по линии IX-IX.

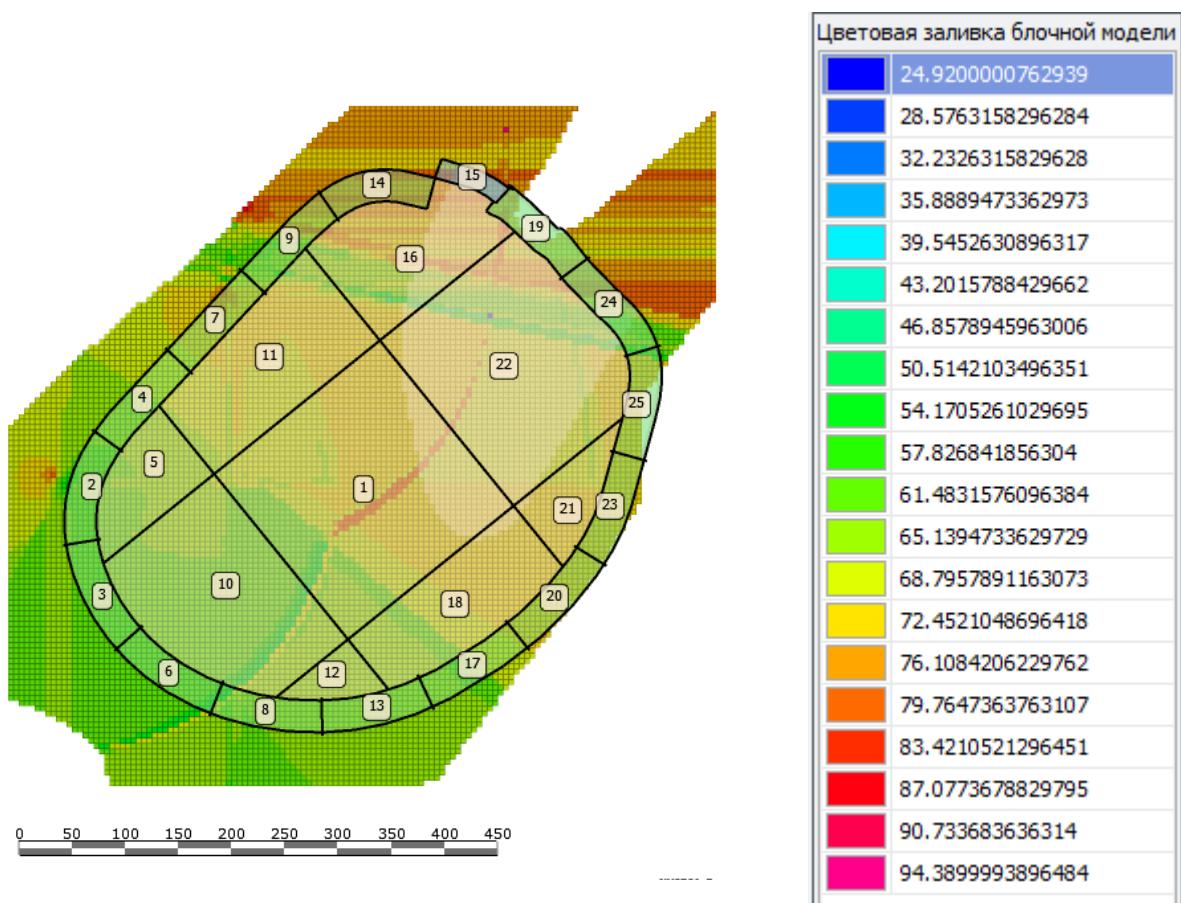


Рисунок 45. План 505 горизонта Кутинского буроугольного месторождения с учетом пространственного распределения прогнозных содержаний ЕРН.

Итоговые значения обратной интерполяции дают следующие значения: минимальная величина 24,9, максимальная величина 94,39, количество блоков БМ 98444 (размер материнской ячейки 5*5*5 м.), среднее 65,81, геометрическое среднее 65.659.

Блочная модель на рисунке (Рисунок 45) прокодирована цветами по прогнозу содержанию ЕРН после сжигания углей. Прогноз выполнен на основании установленных корреляционных показателей зольность-ЕРН. Учитывая потенциальные классы опасностей, с уверенностью можно сказать, что при складировании золошлаков после переработки углей на Кутинском буроугольном месторождении не нужно применять избыточных мер для уменьшения влияния отходов на окружающую среду. 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 - 65,81 Бк/кг, что не превышает показателей I класса опасности ($A_{\text{эфф.}} \leq 370$ Бк/кг). Таким образом среднее прогнозное значение по $A_{\text{эфф.}}$ можно получить для любого пласта. Применение подобного подхода ко всем опробованным экспериментальным путем пробам углей позволяет построить блочную модель планируемого к отработке горизонта (Рисунок 45).

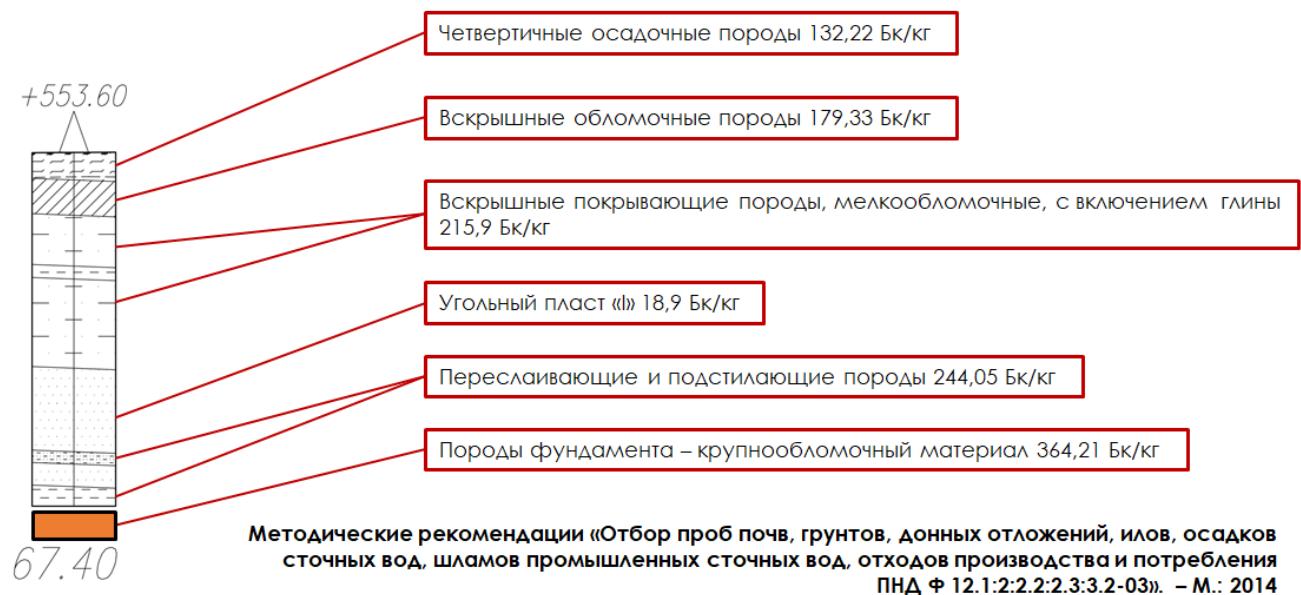


Рисунок 46. Стратиграфическая колонка по 74 скважине XV разреза с включением показателей $A_{\text{эфф.}}$.

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 добывчных и вскрышных работ позволит определять как параметры полезного ископаемого, так и характеристики вскрышных, перекрывающих и подстилающих горных пород (Рисунок 46).

Выводы по главе

Для соотнесения показателей содержания в пробах зольности и ЕРН был выполнен анализ корреляции усредненных качественных показателей углей в созданной цифровой блочной модели на основе данных ГРР 1959 г. с обобщенными данными эксплуатационной разведки на 2020 год. Анализ показал удовлетворительную сходимость результатов сопоставления данных. Расхождение по зольности A^a составило примерно 4%, по высшей теплоте сгорания $Q_{i,v}^{daf}$ - 7%, по низшей теплоте сгорания $Q_{i,v}^{daf}$ - 12%.

Создание прогноза с последующим высоко вероятностным подтверждением возможно благодаря созданию совокупности выемочных блоков в пределах смоделированного инженерного карьера, основой которого является блочная модель ПИ.

Также в четвертой главе представлена методика формирования погоризонтных карт качества углей, включающих в себя прогнозные значения содержания опасных характеристик продукции по каждому выемочному блоку добычного горизонта.

Результатом применения описанной методики является созданная модель качества углей и основанные на этой модели погоризонтные карты качества. Карты качества являются необходимым критерием выполняемого оперативного контроля качества угольной продукции по критерию опасности после добычи угля перед его сортировкой и последующей реализацией

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 буроугольного 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 ($A_{\text{эфф.}}$) от зольности (A^d) добываемых углей, за исключением зон их окисления. Установлена зависимость радиационно-экологических характеристик углей в пласте «I» Кутинского буроугольного 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 буроугольного месторождения доказано, что процесс обратной интерполяции значений удельной эффективной активности $A_{\text{эфф}}$ в блочную модель при использовании выявленной ранее для углей месторождения зависимости удельной эффективной активности ($A_{\text{эфф}}$) 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 буроугольного месторождения, а также золошлаках отвала котельной, мелкодисперсного угольного материала с включением частиц породы. С учётом предложенной методики дана оценка углям Кутинского буроугольного месторождения по критерию их потенциальной опасности.

6. Разработана, апробирована и внедрена в работу ООО «Приаргунский угольный разрез» цифровая блочная модель Кутинского буроугольного 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 литературы

1. Сидорова, Г. П. Разработка и обоснование методов контроля качества угля на разрезах Восточного Забайкалья (на примере Уртуйского буроугольного разреза) : специальность 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сидорова Галина Петровна. – Краснокаменск, 2007. – 158 с.
2. Сидорова, Г. П. Обоснование технологических способов управления качеством углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов при открытой угледобыче : специальность 25.00.22 "Геотехнология (подземная, открытая и строительная)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сидорова Галина Петровна. – Чита, 2014. – 253 с.
3. Оценка влияния добычи углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов на качество угольной продукции и экологическое состояние окружающей среды : диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.36 / Овчаренко Наталья Валерьевна; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»]. - Чита, 2020. - 111 с. : ил.
4. Ищукова Л. П. Геологические условия формирования и закономерности размещения урановых месторождений Стрельцовского рудного поля (Ю. Приаргунье): Дис. докт. г-м. наук. – 1980. Фонды ПАО «ППГХО».
5. ГОСТ Р 55661-2013 (ИСО 1171:2010) Топливо твердое минеральное. Определение зольности (Издание с Изменением N 1) ГОСТ Р от 28 октября 2013 г. № 55661-2013.
6. Инженерно-технический состав угольной отрасли России: ретроспектива, современное состояние, прогноз / А.А. Рожков, И.С.

Соловенко, Т.А. Коркина и др. // Уголь. 2020. № 4. С. 16-25. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-4-16-25.

7. Рожков А.А. Регулирование социально-экономических последствий промышленной ре-структуризации (на примере угольной отрасли). – М.: АО «Росинформуголь», 2016. – 290 с.

8. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. «Цифровизация экономики угольной промышленности России - от «Индустрии-4.0» до «Общества 5.0» // Горная промышленность. - 2018. - № 4. - С. 22-30. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-56-61

9. Проект программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года [Электронный ресурс]. Сайт Министерства энергетики Российской Федерации URL: <http://minenergo.gov.ru/system/download/433/110749> (дата обращения 10.06.2020).

10. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ воспроизводства минерально-сырьевой базы Российской Федерации в 2015-2019 годах» [Электронный ресурс]. Сайт счетной палаты Российской Федерации URL: <audit.gov.ru/upload/iblock/b99/....pdf> (дата обращения 10.06.2020).

11. Решения, принятые на заседании Правительства 27 февраля 2020 года [Электронный ре-сурс]. Сайт Правительства Российской Федерации URL: <http://government.ru/news/39047/> (дата обращения 10.06.2020).

12. Уголь. Особенности и перспективы рынка [Электронный ресурс]. Официальный сайт ООО «Компания Брокеркредитсервис» URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/ugol-osobennosti-i-perspektivy-rynka> (дата обращения 13.06.2020).

13. Стратегия развития минерально-сырьевой базы российской федерации до 2035 года (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. N 2914-р) [Электронный ресурс]. Официальный сайт компании «КонсультантПлюс» URL:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314605/736a2c0a27e1dc4f2e5afc216c57f312c6b75762/ (дата обращения 13.06.2020).

14. Статистический сборник ТЭК России-2018 (выпуск июнь 2019) [Электронный ресурс]. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. Официальный сайт. URL: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/22922.pdf> (дата обращения 14.06.2020).

15. Вызовы углеродного регулирования // Энергетический бюллетень аналитического центра при Правительстве Российской Федерации. – 2021. - №94. – С. 13.

16. Уголь. Особенности и перспективы рынка [Электронный ресурс]. Официальный сайт ООО “Компания Брокеркредитсервис” URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/ugol-osobennosti-i-perspektivy-rynka> (дата обращения 13.04.2021).

17. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 г. (утверждена распоряжением Правительства РФ от 13.06.2020 г. № 1582-р) [Электронный ресурс]. Официальный сайт компании “КонсультантПлюс” – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_355241/ (дата обращения 22.04.2021).

18. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р) [Электронный ресурс]. Официальный сайт Министерства энергетики РФ – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения 29.03.2023).

19. Сидорова, Г. П. Радионуклиды в углях и продуктах их сжигания / Г. П. Сидорова, Д. А. Крылов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – Т. 61. – № 2. – С. 75-78.

20. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Уран в углях. – Сыктывкар, 2001. – 48 с.

21. Петров А.И. В сборнике: Проблемы геологии и освоения недр. Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и

- молодых ученых, посвященного 150-летию со дня рождения академика В. А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2013. С. 592-594.
22. Крылов, Д. А. Оценка содержания радиоактивных элементов в углях и продуктах их сжигания / Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 7. – С. 369-376.
23. Добыча угля. Основные показатели [Электронный ресурс]. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/435> (дата обращения 28.04.2021).
24. Забайкальский край в цифрах. 2020: Крат.стат.сб./ Забайкалкрайстат – Ч., 2020. – 79 с.
25. Забайкальский край в цифрах. 2021: Крат.стат.сб./ Забайкалкрайстат – Ч., 2021. – 84 с.
26. Забайкальский край в цифрах. 2022: Крат.стат.сб./ Забайкалкрайстат – Ч., 2022. – 84 с.
27. Угольная база России. Том IV. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири (Тунгусский и Таймырский бассейны, месторождения Забайкалья). – М.: ЗАО «Геоинформ-марк» 2001. – 493 с., ил. (Библиогр. С.488-493). ISBN 5-900357-15-5.
28. ГОСТ 25543-2013. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам (Переиздание с Поправкой) [Текст]. – Взамен ГОСТ 25543-88; Введ. с 01.01.2015 по наст. время – М.: Стандартинформ, 2019. – 31 с.
29. ГОСТ 32464-2013. Угли бурые, каменные и антрацит. Общетехнические требования [Текст]. – Введен впервые; Введ. с 01.01.2015 по наст. время – М.: Стандартинформ, 2019. – 7 с.

30. Авдеев, П. Б. Методы отработки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов / П. Б. Авдеев, Г. П. Сидорова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 1. – С. 11-15.
31. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009 год.
32. Крылов Д.А. Естественные радионуклиды в углях и в золе угольных электростанций / Д.А. Крылов, Г.П. Сидорова, В.А. Овсейчук // Журнал «Уголь». - 2012. - Сентябрь. - С. 94-95.
33. Ермаков Ф.Н. Геологический отчет с подсчётом запасов в границах лицензионного участка Кутинский Кутинского месторождения (геологическое строение, качество и запасы каменного угля по состоянию на 01.01.2021 г.) в 8 книгах, 3 папках с графическими приложениями – ООО «РГ Консалтинг», - М.: 2021.
34. Анферов В.Е. Отчет по детальной разведке Кутинского буроугольного месторождения Читинской области с подсчетом запасов по состоянию на 1 января 1959 года. 1959г.
35. Анферов В. Е. Сводный отчет о результатах поисково-разведочных работ на бурые угли, проведенных в период 1956-63гг Аргунской и Нагаданской партиями в южной и юго-восточной частях Восточного Забайкалья. 1968г.
36. Анферов В. Е. Краткая геолого-экономическая характеристика Кутинского буроугольного месторождения, расположённого в Быркинском районе Читинской области. 1958г.
37. ТЭО Первой очереди отработки пласта №1 Кутинского угольного месторождения северо-восточная часть.
38. Веселовский, В. С. Испытание горючих ископаемых : учеб. пособие для геол.-развед. вузов и фак. / В. С. Веселовский.– 2-е изд., доп.– М.: Госгеолтехиздат, 1963.– 411 С.

39. Протокол заседания Государственной Комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР №2749 от 24 09 1959 г.
40. ГОСТ 27313-2015 (ISO 1170:2013, NEQ) Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа на различные состояния топлива. ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по переписке (протокол от 12 ноября 2015 г. № 82-П)
41. Особенности накопления естественных радионуклидов в ископаемых углях месторождений Юго-Восточного Забайкалья / Г. П. Сидорова, А. А. Якимов, Н. В. Овчаренко, Т. О. Гущина // Наука и образование: актуальные исследования и разработки : Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 29–30 апреля 2020 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2020. – С. 184-190. – EDN JZFLIX.
42. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с. ISBN 5-7511-1501-5
43. Закревский Константин Евгеньевич, Попов Виктор Львович История развития трехмерного геологического моделирования как метода изучения залежей нефти и газа // 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).
44. Mortimer, G J, 1950. Grade control, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 59: 1–43.
45. Matheron G. Traite de geostatistique applique. – Paris: Editions Technip, 1962. – 409 p.
46. Lerchs H., and Grossman I. F. Optimum design of open pit mines, Joint CORS and ORSA Conference, Montreal, in Transactions Canadian Institute of Mining and Metallurgy (1965).

47. Маниковский, П. М. Создание цифровых блочных моделей пластовых месторождений с интерполированными характеристиками полезного ископаемого (на примере Кутинского буроугольного месторождения) / П. М. Маниковский // Углехимия и экология Кузбасса : Сборник тезисов докладов XI Международного Российско-Казахстанского Симпозиума, Кемерово, 04–06 июня 2022 года. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 52. – DOI 10.53650/9785902305651_52. – EDN RPUJLY.
48. Проектирование карьеров: Учебник / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Красянский, В.В. Хронин, В.С. Коваленко. — 3-е изд., перераб. - 2009. - М.: Высш. шк. — 694 с.: ил. ISBN 978-5-06-006001-0
49. Звонарев, С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 112 с.
50. Сапронова Н.П. Геометрия недр : решение геолого-маркшейдерских задач в среде ГГИС Micromine : лаб. практикум. –2-е изд. перераб. и доп. / Н.П. Сапронова, В.В. Мосейкин, Г.С. Федотов. – М. : Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019 – 89 с.
51. Маниковский, П. М. Методика моделирования рудных месторождений в ГГИС / П. М. Маниковский, Л. А. Васютич, 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.
52. Сапронова Н. П., Федотов Г. С. Особенности моделирования пластовых месторождений в среде ГГИС Micromine // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2018. № 1 (спец. вып. 1), с. 38-45.
53. Лукичев С. В., Наговицын О. В., Семенова И. Э., Белогородцев О. В. Mineframe — подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ // Инновационные направления в проектировании

- горнодобывающих предприятий. Сборник научных трудов. Санкт-Петербург. - 2017. - № 198, с. 50—59.
54. Gholamnejad J., Azimi A., Teymouri M. Application of stochastic programming for iron ore quality control. // Journal of Mining and Environment, 9(2), 2018, pp. 331—338. doi: 10.22044/jme.2018.5952.1409.
55. Басаргин А. А. Моделирование месторождений рудных полезных ископаемых с использованием геоинформационной системы micromine //ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. Сборник научных трудов. – 2016.-Т.1. - № 2. С.151-155.
56. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре – Л.: Недра, 1974. – 232 с.
57. Некрасова З.А. К вопросу о генезисе уранового оруденения в углях // Вопросы геологии урана. Атомиздат, 1957.
58. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Мерц А. В. Элементы-примеси в ископаемых углях – Л.: Наука, 1985. – 239 с.
59. Лопаткина А.П. Условия накопления урана торфами // Геохимия.- 1967.- №6. – С. 708-719.
60. Манская С. М., Дроздова Т. В Геохимия органического вещества – М.: Наука, 1964. – 315 с.
61. Кизильштейн Л. Я. Влияние состава и свойств органических веществ на образование гидрогенных месторождений урана // Химия твердого топлива. 1999. – № 1. – С. 72-80.
62. Кизильштейн Л. Я., Левченко С. В. Геохимия тория в углях: Экологический аспект // Геохимия. 1995. – № 6. – С. 874-880.
63. Кизильштейн Л. Я., Перетятько А. Г., Людмирская Е. Л. Прогнозная оценка радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха в районе угольных ТЭС по материалам геологической разведки // Хим. тверд, топлива. 1994. – № 2. – С. 31- 36.
64. Кизильштейн Л. Я., Черников Б. А. Роль органического вещества земной коры в формировании месторождений урана – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов, ун-та, 1999. – 146 с.

65. Кизильштейн Л. Я. Уголь и радиоактивность // Химия и жизнь. – 2006. – № 2 – С. 24–29.
66. Юдович Я. Э. Грамм дороже тонны – М.: Наука, 1989. – 160 с.
67. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Уран в углях – Сыктывкар, 2001. – 84 с.
68. Кетрис М. П. Методика расчета угольных кларков / М. П. Кетрис, Я. Э. Юдович // Литогенез и геохимия осадочных формаций Тимано-Уральского региона: Тр. ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. – Вып. 111. – № 4. – Сыктывкар, 2002. – С. 111–117.
69. Шпирт М. Я. Формы соединений микроэлементов и их превращение при переработке твердых горючих ископаемых // Химия твердого топлива. – 2004. – № 6. – С. 62–84.
70. Шпирт М. Я. Минеральные компоненты углей // Химия твердого топлива. – 1982. – № 3. – С. 35–43.
71. . Салаи А. Значение гумуса в геохимическом обогащении угля // Геология атомного сырья. – 1959. – С. 72-80.
72. Tadmore J. Radioactivity from coal-fired power plants: A review //Journal of Environmental Radioactivity. 1986. Vol. 4. pp. 177–204.
73. Swaine D. J. Trace Elements in Coal. London: Butterworth&Co, 1990. 278p.
74. Swaine D. J. and Goodarzi, F. Environmental Aspects of Trace Elements in Coal: Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1997. 312 p.
75. Goodarzi F. Elemental concentrations in Canadian coals. 2. Byron Creek collieries, British Columbia // Fuel. 1987. Vol. 66. no 2. pp. 250 -254.
76. Godarzi F., Cameron A. R. Distribution of major, minor and trace elements in coals of the Kootenay Group, Mount Allan, Alberta // Can. Miner. 1987. Vol 25. pp. 555- 565.
77. T. Mondal, D. Sengupta and A. Mandal Natural radioactivity of ash and coal in major thermal power plants of West Bengal, India // Current science. 2006. Vol. 91. no. 10. pp. 1387-1393.

78. Исхаков Х. А., Счастливцев Е. Л., Кондратенко Ю. А., Лесина М. Л. Радиоактивность углей и золы // Кокс и химия. – 2010. – №5. – С. 41–45.
79. I. Akkurt, B. Mavi, H. Akyıldırım and K. Gunoglu. Natural radioactivity of coals and its risk assessment // International Journal of Physical Sciences. 2009. Vol. 4 (7). pp. 403-406.
80. Nancy E. Lauer, James C. Hower, Ross K. Taggart and Avner Vengosh. Naturally Occurring Radioactive Materials in Coals and Coal Combustion Residuals in the United States // Environmental Science & Technology. 2015 (10). pp. 1021-1027.
81. Xin Wang, Qiyan Feng, Ruoyu Sun and Guijian Liu. Radioactivity of Natural Nuclides (40K, 238U, 232Th, 226Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China // Minerals. 2015. Vol. 5. pp. 637–646
82. G.P. Sidorova, A.A. Yakimov, N.V. Ovcharenko. Content of Microelements in Brown Coals of Transbaikal Region. // International science and technology conference "Earth science". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 272 (2019) 032042.
83. Сидорова Г. П., Якимов А. А., Овчаренко Н. В., Гущина Т. О. Редкие и рассеянные элементы в углях Забайкалья // Журнал «Вестник Забайкальского государственного университета». – 2019. – Т. 25. – № 2. – С 26-33.
84. С. И. Арбузов, А. В. Волостнов, В. В. Ершов. Радиогеохимическая характеристика углей основных эпох торфоугленакопления центральной Сибири // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: матер: II международной конференции – Томск: Тандем-Арт., 2004. – С. 46–51.
85. Арбузов С. И., Ершов В. В., Поцелуев А. А., Рихванов Л. П. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна – Кемерово, комитет природных ресурсов по Кемеровской области, 1999. – 248 с.
86. Арбузов С. И., Волостнов А. В Формы концентрирования тория в углях // Известия Томск. политех. ин-та. – 2003. – № 6. – С. 12-17.

87. Рихванов Л. П., Рихванова М. М. Введение в радиоэкологию – Томск: Изд-во ТПУ, 1994. – 120 с.
88. Рихванов Л. П., Ершов В. В., Арбузов С. И. Комплексное экологогеохимическое исследование углей // Уголь. – 1998. – № 2. – С. 54-57.
89. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в углях // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы международной конференции – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 104 - 109.
90. А. В. Волостнов, С.И. Арбузов. Новые данные по формам нахождения урана в углях центральной Сибири, полученные методом f-радиографии // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II международной конференции – Томск: Изд-во Тандем-Арт, 2004. – С. 119–122.
91. Волостнов А. В. Уран и торий в углях Центральной Сибири: Автореф. дис. канд. геол-мин. наук. – Томск, 2004. – 24 с.
92. Арбузов С. И. Геохимия урана и тория в углях Северной Азии // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы III международной конференции – Томск, 2009. – С. 59-65.
93. Нифантов Б. Ф., Заостровский А. Н., Занина О. П. Горногеологическое и технологическое значение распределения ценных и токсичных элементов в кузнецких углях // Уголь. – 2009. – №12. – С. 59–61.
94. Бойко С. М., Сутурин А. Н. Геохимия промышленных зол углей Азейского месторождения и проблем их утилизации // Геология и геофизика. – 1994. – №2. – С. 100-108.
95. Титаева Н. А. Геохимия изотопов радиоактивных элементов (U, Th, Ra): Дис. д-ра геол.-мин. Наук – Москва, 2002. – 91 с.
96. Мауричева Т. С. Количественная оценка поступления радионуклидов в окружающую среду при работе угольных ТЭЦ (на примере ТЭЦ-1 г. Северодвинска): Авт. дис. канд. геол.-мин. наук. – Москва, 2007. – 20 с.

97. Овсейчук В.А., Крылов Д.А., Сидорова Г.П. Естественные радионуклиды в углях и золе угольных электростанций // Уголь. – 2012. – № 9. – С. 96–97.
98. В. А. Овсейчук, Ю. М. Овешников, В. М. Лизункин. Охрана окружающей среды при добыче твердых полезных ископаемых – Чита: издво ЗабГУ, 2006. – 298 с.
99. В. А. Овсейчук, Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова. Радиационные выбросы от угольных ТЭС // Вестник ЗабГУ. – 2012. – № 10. – С. 24–29.
100. В. А. Овсейчук, Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова. Радиоактивные элементы в углях и продуктах их сжигания // Атомная стратегия. – Март 2013. – С. 12-14.
101. В. А. Овсейчук В.А. Г.П. Сидорова. Ураноносность бурых углей Забайкалья: Монография - Чита: Из-во ЗабГУ. – 2013. – 192 с.
102. Сидорова Г.П., Крылов Д.А., Овчаренко Н.В. Радиационная обстановка в районах расположения угольных ТЭС России // Журнал «Вестник Забайкальского государственного университета». – 2017. – Том 23. – № 5. – С. 36-44.
103. Сидорова Г.П., Крылов Д.А., Овчаренко Н.В. Радиационная опасность для людей и окружающей среды при сжигании углей на действующих ТЭС России // В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2018 сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Под ред. Л. И. Лукиной, Н. А. Бежина, Н. В. Ляминой. – 2018. – С. 1072-1076.
104. Овчаренко Н.В. Радиоэкологическая опасность использования углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов в топливной энергетике // В сборнике: Труды Международной научной конференции молодых ученых и специалистов «Экология энергетики - 2017». – 2017. – С. 118-119.
105. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Радиоэкологические проблемы угольной энергетики // В сборнике: Кулагинские чтения: техника и

технологии производственных процессов XVII международная научно-практическая конференция. – 2017. – С. 107-111.

106. Amin Y.M. et al. Radionuclide emissions from a coal-fired power plant // Applied Radiation and Isotopes 80. 2013. pp. 109–116.
107. Xinwei Lu, Xiaodan Jia and Fengling Wang. Natural radioactivity of coal and its by-products in the Baoji coal-fired power plant, China // Current science. 2006 Vol. 91. no. 11. pp. 1508-1511.
108. M. Mehade Hasan et al. Natural Radioactivity of Feed Coal and Its by-products in Barapukuria 2×125 MW Coal Fired Thermal Power Plant, Dinajpur, Bangladesh // Journal of Applied Physics. 2014.Vol. 5. pp. 32-38.
109. M. M. Jankovic, D. J. Todorovic, J. D. Nikolic. Analysis of natural radionuclides in coal, slag and ash in coal – fired power plants in Serbia // Journal of Mining and Metallurgy. 2011. Vol. 47. pp. 149-155.
110. Ibrahim Uslu, Faruk Gökmeşe. Coal An Impure Fuel Source: Radiation Effects of Coal-fired Power Plants in Turkey // Hacettepe Journal of Biology and chemistry. 2010. Vol 38. no 4. pp. 259-268.
111. Kajori Parial, R. Guin, S. Agrahari, D. Sengupta. Monitoring of radionuclide migration around Kolaghat thermal power plant, West Bengal, India // Journal Radioanal Nucl Chem. 2016. pp. 533–539. 74. Suhana Jalila, Mohd Rashid. Analysis of Natural Radioactivity in Coal and Ashes from a Coal Fired Power Plant // Chemical Engineering Transactions. 2015. Vol. 45. pp. 1549-1554.
112. Крупская Л. Я., Матвиенко Т. И., Самагин В. Д. Содержание естественных радионуклидов в Дальневосточных углях и золошлаковых отходах тепловых электростанций // Горный журнал. – 2007. – № 1. – С. 51-53.
113. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Оценка радиационного состояния территории Уртуйского буроугольного разреза // Горный информационноаналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 1. – С. 92-100.

114. В. С. Рогалис, М. В. Павленко, А. А. Шилов. Сочетание воздействия угольной пыли и радиации на здоровье шахтеров // ГИАБ. – 2016. – №3. – С. 109- 120.
115. Шрамченко А. Д. Радиационная обстановка на предприятиях угольной промышленности // ТЭК. – 2000. – № 3. – С. 75.
116. Израэль Ю. А. Радиоактивное загрязнение земной поверхности // Вестник Российской Академии наук. Том 68, 1998. - С. 898-909.
117. Сидорова Г. П., Авдеев П. Б., Якимов А. А., Овчаренко Н. В., Маниковский П. М. Мониторинг состояния окружающей среды на территориях, вовлеченных в обращение углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 12. – С. 102-113.
118. Сидорова Г.П. Обоснование технологических способов управления качеством углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов при открытой угледобыче: Дис. док.тех. Наук: 25.00.22 – Чита, 2014 – 250 с.
119. Овчаренко Н.В. Геоэкологическая оценка территорий при разработке угольных месторождений с повышенным содержанием естественных радионуклидов // В сборнике: 13 Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – 2016. – С. 360–362.
120. Овчаренко Н.В. Геоэкологическое состояние территории при разработке месторождений углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов // В сборнике: Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов XVI международная научная-практическая конференция. – В 3 ч. – 2016. – С. 187-191.
121. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Влияние отработки Уртуйского буроугольного месторождения на экологическое состояние подземных вод // В сборнике: III Всероссийской научной конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». Ответственные редакторы Л.В. Замана, С

122. ГОСТ Р 56059-2014. Производственный экологический мониторинг. Общие положения. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 5 с.
123. Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых (утв. МПР России 04.08.2000) – Москва, 2000. – 30с. 88.
- Железнova Е. И., Шумилин И. П., Юфа Б. Я. Радиометрические методы анализа естественных радиоактивных элементов - Москва: Недра, 1968. – 460 с.
124. Дозиметрические и радиометрические методики: сборник / ред. Н. Г. Гусев [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Атомиздат, 1966. – 444 с.
125. Маков В. К., Верный Е. А., Виноградов А. В. и др. Уран. Методы его определения – Москва: Атомиздат, 1964. – С. 97. 91. Моисеев А. А., Иванов В. И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – М.: Энергоатомиздат, 1990. - 252 с.
126. Соболев И. А., Беляев Е.Н. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды – Москва: Медицина, 2002. - 431с. 93. Бахур А. Е., Малышев В. И., Мануйлова Л. И., Зуев Д. М. Система и методы контроля радиоактивности природных вод // Разведка и охрана недр. – 1998. – № 11. – С. 33-35.
127. А. З. Вартанов, А. Д. Рубан, В. Л. Шкуратник. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг – М.: Издательство "Горная книга", Издательство Московского государственного горного университета, 2009. – 260 с.
128. В. Н. Бавлов, А. М. Батеха, С. И. Кретов и др. Отчет по геологическому заданию № 7. Поиски промышленных месторождений урана в пределах ВосточноУрулонгувской впадины и ее обрамления за 1973–1979гг. – Иркутск, 1979 г. – 88 с. Фонды ПАО «ППГХО».
129. Ю. А. Игошин, Ю. А. Майоров, А. М. Батеха и др. Отчет Аргунской партии № 98 по геологическому заданию 98-5. Оценка перспектив ураноносности восточной части Урулонгувской структурно-формационной зоны за 1973-1977гг. – Иркутск, 1979. – 128 с. Фонды ПАО «ППГХО».

130. Шлейдер В. А., Шеметов Ю. М., Гаученова З. К. и др. Уртуйское буроугольное месторождение (ЮВ Забайкалье). Отчет о результатах детальной разведки с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.85г. Отчет в 3 – х томах. – пос. Октябрьский, 1985. Фонды ПАО «ППГХО».
131. В. А. Вахрушев, А. В. Тирский, В. А. Толстобров. Отчет о результатах дополнительной разведки на Уртуйском буроугольном месторождении в 1989– 1992 годах – Краснокаменск, 1992. Фонды ПАО «ППГХО».
132. ОСП 72/87. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений. – Москва: Минздрав СССР, 1987.
133. А. В. Тирский, А. А. Яновский, Р. А. Суханов. Геофизический контроль радиационно-гигиенического качества угля // Горный вестник. – 1998. – № 3. – С. 43–49
134. Б. Н. Хоментовский, В. А. Овсейчук, С. И. Щукин, Р. А. Суханов. Геолого-геофизическое обеспечение эффективной эксплуатации месторождений // Горный вестник. – 1998. – № 3. – С. 34–40.
135. Закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. №2395-И «О недрах» (ред. от 03.08.2018).
136. Щукин С. И., Сидорова Г. П., Овчаренко Н. В. Радиоэкологический мониторинг территории Уртуйского буроугольного месторождения // Горный журнал. – 2018. – № 7. – С.97-99.
137. Сидорова Г.П., Якимов А.А., Овчаренко Н.В., Гущина Т.О. Оценка экологического состояния по радиационному фактору площади Южно-Аргунского угольного бассейна // В сборнике: Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов сборник статей XIX Международной научно- практической конференции: в 3 частях. Ответственный редактор А.В. Шапиева. – 2019. С. – 149-157.
138. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Мониторинг геоэкологического состояния территорий при разработке месторождений углей с повышенным содержанием радионуклидов. // В сборнике: Кулагинские чтения: техника и

- технологии производственных процессов сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции: в 3 частях. Ответственный редактор А.В. Шапиева. – 2018. – С. 40-44.
139. Федеральный закон Российской Федерации. О радиационной безопасности населения: № 3-ФЗ от 09.01.1996. – Москва, 1996.
140. ОСПОРБ – 99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. – Москва: Минздрав России, 2011.
141. Методические рекомендации МР 2.6.1.27-2003. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды – Москва: Министерство РФ по атомной энергии, 2003.
142. Методические указания МУ 2.6.1.1088-02. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. – Москва: Минздрав России, 2002.
143. Методические указания МУ 2.6.1.1981 - 05. Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов – Москва: Министерство РФ по атомной энергии, 2005.
144. Трубина Л.К. Геоэкологический мониторинг [Электронный ресурс]: конспект лекций: 020804 "Геоэкология". - 2012, рег. Номер 0321200465. - Режим доступа - lib.ssga.ru 113. Калинин В. М. Мониторинг природных сред / Учебное пособие. – Тюмень: Издат-во Тюменского государственного ун-та, 2007. – 208 с.
145. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб – Москва: Стандартинформ, 2008. – 45 с. 110 115. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа – Москва: Стандартинформ, 2008. – 8 с.

146. Рабочий проект «Разработка «Уртуйского» буроугольного месторождения» - ОАО ВНИПИпромтехнологии, г. Москва, 2014 г. Фонды ПАО «ППГХО».
147. Исследование физико-химических и теплотехнических свойств углей Уртуйского буроугольного месторождения. Отчет о НИР Уральского ВТИ. – Челябинск, 1984. – 136 с. Фонды ПАО «ППГХО».
148. Исследование углей Уртуйского месторождения Читинской области. Отчет. Институт нефте- и углехимического синтеза при Иркутском госуниверситете (ИНУС). – 1984. – 92 с. Фонды ПАО «ППГХО».
149. Лукичев С. В., Наговицын О. В. Геоинформационные технологии для решения задач горного производства // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2017. – № 14. – С. 308-310.
150. Сидиков Ф. У. Трехмерное моделирование геологической среды на основе топогеодезических карт // Молодой ученый. – 2015. – №22. – С. 79-82.
151. Митюнина И. Ю. Особенности технологии 3D моделирования в горно-геологических информационных системах // В сборнике научных трудов международной научной-практической конференции «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» – Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2018. – С. 217- 220.
152. Овчаренко Н.В. Применение процесса трехмерного цифрового моделирования для решения вопроса повышения качества угольной продукции по радиационному фактору // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 2. – 22 с. – М.: Издательство «Горная книга». – Деп. в ГИАБ 12.12.2019, № 1210/02-20.
153. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев – Москва: Наука, 1987. – 136 с. Инструкция по изучению токсичных компонентов при разведке угольных и сланцевых месторождений – Москва: ИЛСАН, 1982. – 84 с. 125. Методические указания МУ 2.6.1.11-01.

Организация радиационного контроля на урановых рудниках и расчет доз облучения персонала – Москва: Министерство РФ по атомной энергии, 2004.

154. СанПиН 2.1.4.1175-02. «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников» – М.: Минздрав России, 2003. - 32 с.