

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

*На правах рукописи*

ОВЧАРЕНКО НАТАЛЬЯ ВАЛЕРЬЕВНА

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБЫЧИ УГЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ  
СОДЕРЖАНИЕМ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НА  
КАЧЕСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ  
СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»  
(горно-перерабатывающая промышленность)

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук  
Сидорова Галина Петровна

Чита, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. Современное состояние проблемы обращения углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов.....	9
1.1. Обзор и анализ научных исследований в области радиоактивности углей.....	9
1.2. Анализ современного состояния методов, средств контроля и экологического мониторинга состояния окружающей среды по радиационному фактору .....	16
1.3. Технология управления качеством углей с учетом данных их радиационного контроля на Уртуйском бурогольном месторождении .....	19
Глава 2. Обоснование системы локального экологического мониторинга окружающей среды при добыче углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов.....	34
2.1. Оценка существующей техногенной нагрузки в районе проведения исследования.....	34
2.2. Выбор и обоснование контролируемых объектов окружающей среды .....	36
2.3. Обоснование выбора маркерных веществ для экологического мониторинга.....	38
2.4. Схема и режимы проведения экологического мониторинга окружающей среды.....	42
2.4.1. Контроль качества атмосферного воздуха .....	42
2.4.2. Контроль качества подземных и дренажных (сточных) вод .....	47
2.4.3. Контроль состояния почвенно-растительного покрова .....	50
2.4.4. Мониторинг состояния минерально–сырьевой базы (недр).....	52
Глава 3. Анализ площадного и объемного размещения радиоактивных углей в недрах на основе применения 3D моделирования.....	54

3.1. Геологическая характеристика неотработанных запасов комплексных углей.....	54
3.2. Анализ площадного и объемного размещения радиоактивных углей путём интерпретации результатов 3D моделирования .....	60
Глава 4. Рекомендации по совершенствованию технологических процессов добычи, хранения и отгрузки угольной продукции Уртуйского бурогоугольного месторождения на основе данных экологического мониторинга по радиационному фактору .....	72
4.1. Планирование способа выемки углей по сортам .....	72
4.2. Усовершенствование технологической схемы подготовки углей заданного радиационно-гигиенического качества .....	77
4.3. Оценка эффективности применения системы контроля и экологического мониторинга окружающей среды по радиационному фактору.....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	97
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	99

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность работы.**

Начиная с XIX века, угольная промышленность являлась одной из важнейших отраслей экономики во многих странах мира. На сегодняшний день доля использования угля в мировой энергетике составляет более 60 %.

За последние 5 лет объем добычи угля в России увеличился до 432,2 млн. тонн. В отечественной угольной промышленности сегодня действуют 205 угледобывающих предприятий (84 шахты и 121 разрез). Доля углей для коксования в совокупной добыче составляет приблизительно 20%, соответственно доля энергетических углей - 80%.

Увеличение объёмов добычи и переработки углей сопровождается серьёзным негативным влиянием на экологическое состояние горнодобывающих территорий. На сегодняшний день к основным (контролируемым) загрязнителям при разработке месторождений углей открытым способом относят, прежде всего, тяжёлые металлы, нефтепродукты, пыле - и газообразования, формируемые в результате ведения подготовительных и очистных работ. На ряде месторождений значительное влияние на экологическую обстановку оказывает радиационный фактор.

Многими учеными было установлено, что уголь, как природный сорбент, обладает способностью накапливать естественные радиоактивные элементы уранового и ториевого ряда, а также долгоживущий радиоактивный изотоп калий-40.

На сегодняшний день существует значительный объем информации о повышенном содержании естественных радионуклидов в углях отдельных месторождений, при этом вопрос безопасности использования угольного топлива практически не решен. Поэтому неотъемлемой частью организации отработки месторождений углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов должна быть система контроля и экологического мониторинга. Такая система должна рассматриваться как один из важнейших элементов горной технологии,

направленной на обеспечение качества угольной продукции, рациональное использование минеральных ресурсов и соблюдение требований радиационной безопасности окружающей среды прилегающих территорий.

В связи с этим актуальной является задача обоснования и разработки системы локального экологического мониторинга при отработке месторождений углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов с целью управления качеством товарной продукции и снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-05-00397 – «Прогнозные исследования по решению проблемы снижения дозовой нагрузки на окружающую среду при отработке угольных месторождений, имеющих участки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов на примере угольных месторождений Юго-Восточного Забайкалья».

**Цель работы.** Обоснование и разработка системы экологического мониторинга при добыче углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов для снижения негативной нагрузки на окружающую среду и обеспечение качества товарной продукции (на примере Уртуйского бурогоугольного месторождения).

**Идея работы** состоит в получении и использовании информации о пространственном расположении участков угольных пластов с повышенным содержанием радионуклидов на площади Уртуйского месторождения, для реализации экологически безопасной, по радиационному фактору, технологии добычи угля.

#### **Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Применение трехмерной цифровой модели, отражающей пространственное расположение участков угольных пластов с различным содержанием естественных радионуклидов, позволяет реализовать технологию отработки Уртуйского бурогоугольного месторождения, обеспечивающую качество товарной угольной продукции по радиационному фактору.

2. В качестве маркерных веществ при реализации системы мониторинга состояния окружающей среды в зоне отработки месторождения углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов должны использоваться: содержание природного урана U (представленного смесью изотопов урана – 238, урана – 234 и урана – 235), изотопов радия – 226 и тория – 230 для почвы и подземных вод; содержание природного урана для дренажных вод; радионуклидный состав газовой и аэрозольной фаз воздушной среды для атмосферного воздуха.

3. Проведение экологического мониторинга по радиационному фактору на всех стадиях технологических процессов добычи, хранения и отгрузки угольной продукции позволяет расклассифицировать угли по технологическим сортам, отличающимся интенсивностью суммарного гамма-излучения и областью применения, обеспечить радиационную безопасность в границах санитарно-защитной зоны предприятия.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждаются: представительным объемом экспериментальных исследований, проведенных с использованием современными методами, а также измерительных средств с высокими метрологическими характеристиками; положительными результатами использования разработанной цифровой модели отрабатываемых угольных пластов Уртуйского месторождения и системы мониторинга радиационной безопасности в границах санитарно-защитной зоны предприятия; положительной оценкой результатов работы, полученной при ее апробации на ряде международных и всероссийских конференций.

**Методы исследований.** При выполнении исследования использован комплекс эмпирических и теоретических методов, включающий: анализ литературных источников, нормативно-технической и научно-методической документации; натурные инструментальные измерения рентгенорадиометрическим, рентгеноспектральным и фотометрическим методами; методы статистической обработки экспериментальных данных; компьютерное моделирование.

## **Научная новизна работы**

1. Выявлены новые зависимости площадного и объемного размещения углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов в пределах Уртуйского бурого угольного месторождения.

2. Получена корреляционная связь между основными источниками радиоактивного излучения (ураном, радием и торием), позволившая определить суммарную активность в пересчете на условный уран для остаточных запасов углей на Уртуйском месторождении.

3. Установлено, что вовлечение в добычу углей с содержанием урана более 0,010 % (сорт комплексный) не приводит к ухудшению состояния окружающей среды.

4. Обоснованы схемы и режимы проведения радиологического мониторинга в санитарно-защитной зоне угледобывающего предприятия.

### **Практическое значение работы** заключается:

- в разработке и внедрении в практику работы ПАО «ППГХО» программы мониторинга за состоянием окружающей среды на Уртуйском месторождении бурого угля;

- в разработке и внедрении в практику работы ПАО «ППГХО» методики трехмерного автоматизированного планирования выемки угля по сортам на базе программного обеспечения MineFrame, позволяющей детально оконтурить участки углей различных по содержанию радионуклидов и уже на этапе планирования горных работ определить варианты выемки угля с учетом необходимых качественных характеристик;

- в усовершенствовании методики управления качеством добываемого угля, позволяющей вовлечь в отработку углей с содержанием урана более 0,010 % (сорт комплексный), не ухудшая радиационно-экологическую обстановку окружающей среды и позволяющую расширить сырьевую базу предприятия.

**Апробация работ.** Основные научные и практические результаты работы были доложены на научных симпозиумах: 13-ой международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами

молодых» (ИПКОН РАН, г. Москва, 2016г.); Международной научной конференции молодых ученых и специалистов «Экология энергетики - 2017» (Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, 2017г); III Всероссийской научной конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (г. Чита, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность -2018» (г. Севастополь, 2018г.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Вопросы теории и практики в строительном и горном деле» (г. Чита, 2018г); Международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва 2017-2018 гг.), Международной научно-практической конференции «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов» (г. Чита, 2016-2019г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 6 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, из них 4 в журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 127 источников, изложена на 111 страницах печатного текста, включает 42 рисунка и 27 таблиц.



# **Глава 1. Современное состояние проблемы обращения углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов**

## **1.1. Обзор и анализ научных исследований в области радиоактивности углей**

Вопросом изучения радиоактивности углей занимаются уже достаточно продолжительное время. В 1875 году были получены первые сведения о высокой концентрации урана в угольных отложениях месторождения Олд Лейден, США (Berthoud, 1875). Первые фундаментальные поисково-разведочные работы в данной области были реализованы в России Г.С. Лабазиным и Е.С. Бурксером в 30-х годах прошлого века. На основании проведенного изучения, в 1930 году Г.С. Лабазиным был составлен и опубликован отчет о месторождениях радиоактивных минеральных образований в Хакасском округе бывшей Енисейской губернии, в котором была описана радиоактивность угленосных отложений Минусинского бассейна [1]. В 1934 году Е.С. Бурксером с соавторами были опубликованы первые сведения о примесях радиоактивных элементов в каменноугольных месторождениях Кузбасса [2, 3].

В 40 – 50-х годы XX века Геологической службой США (USGS) были проведены работы в рамках проекта по изучению радиоактивности углей. В этих исследованиях особый интерес представляли угли с высокими концентрациями урановых минералов, что было обусловлено развитием «уранового бума». В 1945 году в углях штата Вайоминг была установлена уран-угольная аномалия, а в 1948 году в штате Северная Дакота выявлено месторождение ураноносных лигнитовых углей Форт Юнион. В 1956 году В.И. Маккелви, Д.Л. Эверхарт и Р.М. Гарелс установили, что в некоторых угольных пластах Северной и Южной Дакоты содержание урана в среднем составляет около 0,2 %, а в соседнем штате Монтана содержание урана на отдельных участках пластов лигнитов достигает 10 % [4, 5]. В последующие годы было установлено наличие уранового оруденения в углях, лигнитах и углистых сланцах штатов: Вайоминг, Айдахо, Нью-Мексико, Невада,

Колорадо (L. Breger, 1955; J-W. Kings, 1955; N. M. Denson, 1956; J. D. Vine, 1956 и т. д.) [6 – 10].

В эти же годы были открыты ряд ураносодержащих бурых углей в Европе: Венгрии (Foldvari A., 1952-38), Югославии и Словении (Ristic M., 1956-39). В Швейцарии, в провинции Нерки П.Ф. Керр (1956) установил, что в одной из разновидностей углей (кольме) уран содержится в количестве около 0,33% [11 – 13].

А.А. Гипш в 1970 – 71 гг. проводил активное изучение содержания урана в углях. Он был одним из первых кто оценил кларковое (среднее) содержание урана в углях [14, 15]. В 1974 г. А.А. Смысловым была проведена оценка кларков урана и тория в каменноугольных месторождениях мира, в соответствии с которой были определены среднемировые значения содержания урана – 3,4 г/т и тория – 4,8 г/т [16, 17].

В.И. Маккелви и др. было отмечено, что низкосортные, высокозольные угли содержат в своем составе наибольшее количество урана [4]. З.А. Некрасовой было установлено, что наиболее перспективными с точки зрения накопления урана являются молодые угленосные бассейны с невысокой степенью метаморфизма углей [18]. Подтверждение данной гипотезы, можно проследить в работах Я.Э. Юдовича и его сотрудников. Ими было установлено, что кларк урана для бурых углей составляет  $2,7 \pm 0,3$  г/т, для каменных –  $1,9 \pm 0,1$  г/т, тория для бурых углей –  $3,8 \pm 0,2$  г/т, каменных –  $3,1 \pm 0,1$  г/т [19].

На сегодняшний день существует значительный объем публикаций, посвященных вопросу концентрации и особенности накопления радиоактивных элементов в ископаемых углях: А.П. Лопаткиной, С.М. Манской, Л.Я. Кизильштейна, Я.Э. Юдовича, М.П. Кетрис, М.Я. Шпирта, А. Салаи, J. Tadmore, D.J. Swaine, F. Goodarzi, T. Mondal и др. [20–44].

Вопросу радиоэкологического исследования углей в России посвящено значительное количество работ Томских геохимиков: Л.П. Рихванова, С.И. Арбузова, В.В. Ершова и др. В таблице 1.1 приведена информация о результатах их

исследования содержания урана и тория некоторых крупных угольных бассейнов России [45–52].

Таблица 1.1 – Содержание урана и тория в углях и золах углей угольных бассейнов России

Угольный бассейн	Содержание элементов, г/т				Источник данных
	Уголь		Зола		
	Уран	Торий	Уран	Торий	
Подмосковный	6,8	8,1			Смыслов А.А., 1974
Печорский	2,7	5,5			
Донецкий	1,8	2,8			
Таймырский	2,1	3,8	9,2	16,3	Арбузов С.И., 2013
Тунгусский	2,7	3,3	19,0	32,25	
Канско – Ачинский	3,2	1,0	32,7	10,2	
Горловский	1,0	1,9	14,3	27,1	
Кузнецкий	2,1	2,2	12,1	12,7	
Минусинский	2,1	2,8	14,1	18,4	
Улугхемский	1,2	1,2	12,9	12,9	
Иркутский	2,7	4,1	18,5	28,5	

В России повышенное содержание урана (больше кларкового) было отмечено в Подмосковном (до 6,8 г/т) и Канско-Ачинском (до 3,2 г/т) бассейнах, Убруском (до 27,2 г/т) и Итатском (до 18,5 г/т) месторождениях.

Помимо российских углей С.И. Арбузов и др. провели изучение содержания урана и тория в углях и золах углей Казахстана и Монголии, а также вывели кларки урана и тория в углях и золах углей Северной Азии.

Таблица 1.2 – Среднее содержания урана и тория в углях и золах углей Северной Азии [53]

Регион	Содержание элементов, г/т			
	Уголь		Зола	
	Уран	Торий	Уран	Торий
Сибирь	2,0	2,7	15,2	15,2
Дальний Восток	1,8	5,6	8,5	27,2
Казахстан	2,0	1,8	10,8	9,7
Монголия	10,1	2,2	103,0	22,3
Кларк	2,4	3,3	16,0	21,0

При проведении исследований эти авторы отметили повышенную концентрацию урана до 32,8 г/т в углях и до 296 г/т в золе на месторождениях Адун–Чулун и Могойн–Гол Монголии, а также в углях Майкубенского месторождения Казахстана (до 5 г/т).

По данным исследований Нифантова Б.Ф., Заостровского А.Н., Исакова Х.А. и Счастливцевой Е.Л. выявлены повышенные концентрации урана и тория в товарных углях некоторых угледобывающих предприятий Кемеровской области.

Таблица 1.3 – Содержание урана и тория в товарных углях некоторых угледобывающих предприятий Кемеровской области [39, 54]

Предприятие	Содержание элементов, г/т	
	Уран	Торий
Бутовская	5,9	7,9
ш. имени Волкова	–	9,6
ш. Бирюлинская	9,0	–
ш. Березовская	–	7,2
ш. Ягуновская	–	9,8
ш. имени Шевякова	7,8	9,0
Разрез Итатский*	56,9 (6,0–139)	2,4 (0,2–9,9)

\* *Примечание:* среднее значение, в скобках – интервалы значений

Стоит отметить, что в бурых углях разреза Итатский на отдельных участках пласта «Итатский» установлены вариации содержания урана от 6 до 139 г/т, что в среднем составляет 56,9 г/т, соответственно в продуктах сжигания углей содержание урана достигает 902,6 г/т или 0,09 %. В соответствии с международной классификацией среднего содержания запасов урана для твердых полезных ископаемых, данные золошлаковые отходы можно отнести к рядовым урановым рудам, диапазон содержания для которых установлен 0,05 – 0,10 % [49].

В таблице 1.4 из монографии [46] приведена информация о содержании урана и тория в углях некоторых угольных месторождений мира.

Таблица 1.4 – Содержание урана и тория в углях некоторых месторождений мира, г/т

Объект исследования	Уран	Торий	Источник информации
Турция, бурые угли	0,21 - 64	0,29 – 8,5	Bouska a.e, 1994
Австралия, бурые угли	0,04 – 4,3	0,4 - 17	Bouska a.e, 1994
Канада, каменные угли	0,07 – 7,5	0,3 - 11	Van der Flier e.a. 1985
Испания, лигниты	до 298		Martin e.a., 1970
Испания, суббитуминозные угли	6,1	5,6	Querol a.e. 1995
США, месторождения Среднего Запада	1,06 – 40,4	0,89 – 2,05	D.R, Provance a.e., 1990
США, восточная часть	1,5	4,4	Ruch a.e., 1976
США, бассейн Вермон-Крик	9 - 20		Leventhal a.e., 1987

Анализ приведенных данных показывает, что высокие значения содержания урана установлены: в бурых углях Турции (до 64 г/т), Среднего Запада в США (до 40,4 г/т) и в лигнитах Испании (до 298 г/т). Повышенные концентрации тория отмечены: в бурых углях Австралии (17 г/т) и в каменных углях Канады (11 г/т).

Среднемировые концентрации радионуклидов в углях, установленные по данным [55].

Таблица 1.5 – Среднемировые концентрации радионуклидов в углях

Изотоп	Ед. измерения	Среднемировые концентрации	Среднее содержание радионуклидов
U-238	Бк/кг	16 – 110	35
Ra-226	Бк/кг	17 – 60	35
Th-232	Бк/кг	11 – 64	30
K-40	Бк/кг	140 – 850	400

Приведенные данные о среднемировых концентрациях естественных радионуклидов в углях свидетельствуют о широком диапазоне изменения содержания элементов, при этом естественная радиоактивность углей на 70–90 % обусловлена радиоактивными рядами урана и тория и на 10–30% – калием.

В последние годы многими отечественными и зарубежными учеными затрагивались вопросы безопасности использования угольного топлива, в том числе проблемы, связанные с выбросами ТЭС и накоплением продуктов сжигания углей: Л.Я. Кизельштейн, С.М. Бойко, Н.А. Титаев, Т.С. Мауричева, В.А. Овсейчук, Г.П. Сидорова, Y.M.Amin, Xinwei Lu, M. Mehade Hasan, M.M. Janković и др. [23, 24, 56 – 74].

Крупской Л.Т., Матвиенко Т.И. и Самагиным В.Д. были проведены исследования, посвящённые изучению характера распределения радионуклидов в углях и золошлаковых отходах ТЭС Дальнего востока. Результаты опробования приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Результаты опробования Дальневосточных углей Нерюнгринского, Чегдомынского, Харанорского, Райчихинского, Ургальского и Лучегорского месторождений и золошлаковых отходах тепловых электростанций [75]

Изотоп	Удельная активность, Бк/кг		
	Уголь	Летучая зола	Шлак
$^{226}\text{Ra}$	7,85 – 55,75	65,8 – 153,3	81,55 – 165,3
$^{232}\text{Th}$	4,39 – 46,25	51,24 – 190,0	15,46 – 125,1
$^{40}\text{K}$	24 – 171	75,0 – 427,2	89,76 – 510,1

По результатам опробований, можно четко проследить повышение удельной активности естественных радионуклидов (от 2 до 8 раз) в золе и шлаке по сравнению с исходным углем.

При проведении исследований углей некоторых месторождений Забайкальского края и отходов их сжигания выявлено, что содержание естественных радионуклидов в продуктах сжигания возрастает по сравнению с углями в среднем от 3 до 14 раз (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Данные опробования углей и продуктов их сжигания на радиоактивные элементы для месторождений Забайкалья [59, 62, 63, 66, 67]

Месторождения углей	Содержание радиоактивных элементов в продуктах сжигания углей, г/т							
	$^{238}\text{U}$		$^{226}\text{Ra}$		$^{232}\text{Th}$		$^{40}\text{K}$	
	уголь	зола	уголь	зола	уголь	зола	уголь	зола
Окино-Ключесвское	4,7	43	1,7		1,2		6,6	
Татауровское	4,8	42	2,1		1,8		6,9	
Харанорское	5,8	53	2,0	28	1,6	12	2,1	13
Уртуйское	18	62	3,5	43	2,8	13	13	70
Кутинское	27	71	2,5		2,2		14	

Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что в процессе сжигания углей на ТЭС радиоактивные нуклиды переходят в золошлаки и летучую золу. Следовательно, вследствие накопления вокруг ТЭС значительных объемов золы и шлаков, содержащих естественные радионуклиды, могут стать причиной формирования техногенного радиационного фона.

Несмотря на большой объем уже имеющейся информации о радиоактивности углей, вопрос, связанный с безопасной угледобычей, качеством отработки и сортировки углей с повышенным содержанием радионуклидов изучен крайне слабо. Поэтому, с учетом широкой вариации средних содержаний естественных радионуклидов для некоторых угольных месторождений, радиоэкологические проблемы могут возникают уже на стадии добычи. Это проявляется в повышении содержания радона в шахтном воздухе, повышении содержаний радиоактивных элементов в шахтных водах и др.

Единственным предприятием в России, где производится контроль качества отгрузки товарной угольной продукции по содержанию ЕРН, является Разрезомуправление «Уртуйское» ПАО «ППГХО», ведущее открытые горные работы по добыче угля на Уртуйском бурогольном месторождении. Опыт разработки Уртуйского месторождения и использования добываемого угля показывает, что существует возможность создания эффективной системы контроля

качества угля по радиационно–гигиеническому фактору и обеспечения охраны окружающей среды и здоровья населения [76].

В 1992 – 1994 гг. научно-техническим центром «НИТОН», образованным на базе «радоновой» лаборатории (НИЛ-6) ВНИПИ промышленной технологии Минатома России и Государственным Макеевским научно-исследовательским институтом по безопасности работ в горной промышленности были обследованы угольные шахты и разрезы России и Украины. По результатам исследования было установлено, что 90 % угледобывающих предприятий имеют удовлетворительный радиационный фон, эффективная дозовая нагрузка для персонала предприятий не превышала предел дозы более 5 мЗв в год. В прочих 10 % угольных шахт и разрезов было установлено превышение допустимых значений эффективной дозовой нагрузки для персонала предприятий [77].

В 2000 году в публикации «Радиационная обстановка на предприятиях угольной промышленности» отмечено, что из 159 обследованных российских шахт лишь 24 % соответствуют требованиям норм радиационной безопасности. При этом на 14 шахтах эффективная дозовая нагрузка для персонала предприятий превышала предел дозы более 5 мЗв в год. Соответственно, по действующему законодательству данная обстановка предписывает внедрения обязательных мероприятий по организации мониторинга экологического состояния окружающей среды [78].

## **1.2. Анализ современного состояния методов, средств контроля и экологического мониторинга состояния окружающей среды по радиационному фактору**

Понятие «мониторинг окружающей среды» впервые было сформулировано Р. Манном на Конференции Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей человека среды в Стокгольме в 1972 году. Он рассматривал мониторинг как систему повторных наблюдений за состоянием элементов окружающей среды в пространстве и во времени с определенными



целями в соответствии с заранее подготовленной программой.

В России одним из первых теорию мониторинга окружающей среды стал разрабатывать академик Ю.А. Израэль. Уточняя определение «мониторинг окружающей среды», он сделал акцент не только на наблюдении, но и на прогнозе, введя в определение «антропогенный фактор» как основную причину каких-либо изменений [79].

В настоящее время экологический мониторинг является неотъемлемой частью производственно-хозяйственной деятельности общества и представляет собой совокупность мероприятий, включающих в себя комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, оценку и прогноз изменений окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Стоит отметить, что большой вклад в изучение влияния радиоактивности углей на экологическое состояние территорий отработки месторождений внесли Б.Ф. Нифантов, Л.П. Рихванов, С.И. Арбузов, В.А. Овсейчук, Г.П. Сидорова и другие. Однако в данных работах рассматривались либо частный случай одного вида загрязнения окружающей среды, либо определенный объект или территория [45– 50, 54, 60 – 63, 76, 80– 84].

По мнению некоторых ученых, естественный радиационный фон при отработке месторождений углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов складывается из излучений от рассеянных в почве, воде, воздухе радионуклидов, возраст которых совпадает с возрастом планеты. К таким радионуклидам относятся уран, торий и продукты распада тория и урана. Поэтому для оценки интенсивности загрязнения окружающей среды радионуклидами должен быть принят за основу СанПиН 2.6.1.2523 «Нормы радиационной безопасности НРБ –99/2009» [85].

Основные требования к организации и проведению производственного экологического мониторинга изложены в ГОСТ Р 56059-2014 «Производственный экологический мониторинг. Общие положения» [86]. Для угледобывающих предприятий основными руководящими документами являются: «Требования к мониторингу месторождений твердых полезных

ископаемых», утвержденные Министерством природных ресурсов Российской Федерации 4 августа 2000 года, а также лицензия на право пользования недрами, в которой установлены основные требования к мониторингу месторождения в соответствии с утвержденной в установленном порядке Программой экологического мониторинга [87]. Однако в данных документах не установлены четкие требования к объемам, формам, схемам и периодичности наблюдений, не регламентированы контролируемые маркерные вещества при организации экологического мониторинга окружающей среды для угледобывающих предприятий, отработывающих угли с повышенным содержанием естественных радионуклидов.

Для получения объективных данных о состоянии и уровне загрязнения природных компонентов при проведении экологического мониторинга окружающей среды необходимо располагать хорошо апробированными методами и средствами контроля.

В настоящее время, для проведения экологического мониторинга состояния компонентов окружающей среды по радиационному фактору, используются, как классические широко известные радиометрические и радиохимические методы контроля [88-91], так и усовершенствованные методики контроля и определения содержания радиоактивных веществ [92, 93].

Современные технические средства и измерительные приборы позволяют производить измерения по нескольким параметрам, а также обеспечить анализ и визуализацию полученных данных в режиме реального времени.

Существующие приборы дозиметрического, радиометрического и спектрометрического контроля, позволяют произвести измерения амбиентного, направленного и индивидуального значения эквивалентов доз, определить активность или число ионизирующих частиц и их энергию [93, 94].

### **1.3. Технология управления качеством углей с учетом данных их радиационного контроля на Уртуйском бурогольном месторождении**

Уртуйское месторождение бурых углей локализовано в западной части Восточно-Урулюнгуевской вулканотектонической впадины первого порядка, расположенной в центральной части Южного Приаргуны.

В 1973-1975 гг. Западная часть Восточно-Урулюнгуевской впадины, была выделена в качестве перспективной площади для поиска промышленных месторождений урана. В ходе прогнозно-геологических работ, проведенных партией № 98 Сосновской экспедиции. В 1973-1978 гг. на указанной части впадины выполнены комплексные геофизические съёмки масштабов 1: 25 000 – 1: 50 000, проведено специализированное геолого-структурное и литолого-фациальное картирование масштаба 1: 50 000, а на выделенных ранее перспективных участках – детальные глубинные поиски бурением с оценкой выявляемых рудопроявлений. В 1976 году были выделено Уртуйское рудопоявление урана на одноименном месторождении бурых углей [95–97].

Подробное изучение уранового оруденения в углях было выполнено в ходе детальной разведки Уртуйского бурогольного месторождения, проводившейся геологоразведочной экспедицией № 324 Сосновского ПГО в 1984-1985 гг. По данным разведки было установлено, что распределение концентрации урана в углях приурочено к кровле пластов, имеющих выход под четвертичные отложения. На данных участках были выявлены пологозалегающие плащеобразные залежи забалансовых руд [98].

Всего на западном и юго-западном фланге месторождения были выделены четыре залежи ураноносных углей (рисунок 1.1), по которым был произведен подсчет запасов. Результаты подсчета запасов ураноносных углей Уртуйского месторождения по состоянию на 01.01.85 г. представлены в таблице 1.8.

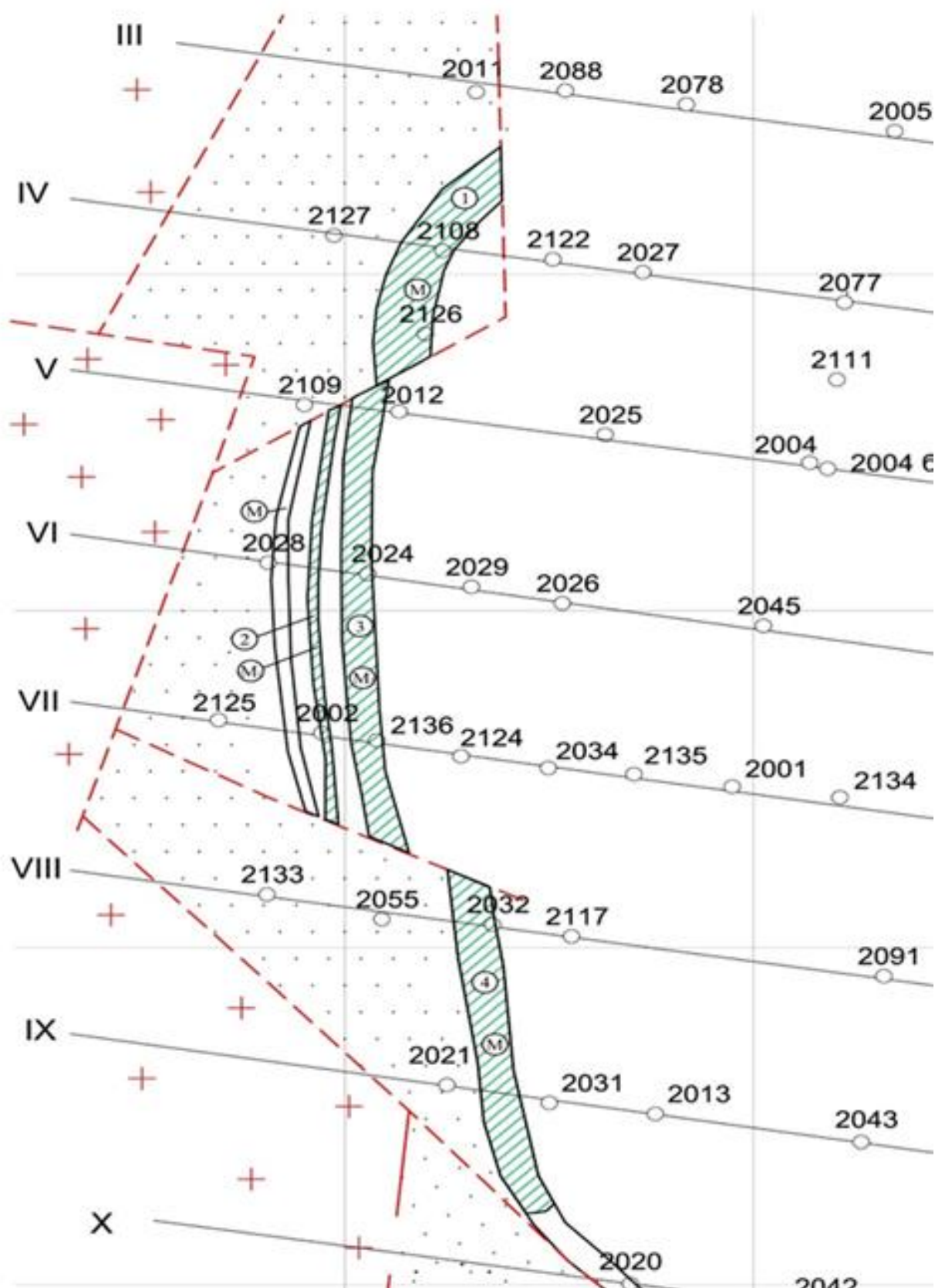


Рисунок 1.1 – План поверхности распределения уранового оруденения  
в угольных пластах

Таблица 1.8 – Результаты подсчета запасов ураноносных углей Уртуйского месторождения по состоянию на 01.01.85 г [98]

Залежи	Средняя мощность, м	Площадь, тыс.м <sup>2</sup>	Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Объемный вес, т/м <sup>3</sup>	Запасы угля, тыс. т.	Коэффициент рудоносности	Запасы ураноносных углей, тыс. т.	Среднее содержание урана, %
1	17,5	40	700	1,2	840	0,67	563	0,020
2	6,5	36	234	1,2	281	0,81	225	0,018
3	5,7	26	148	1,2	178	0,80	142	0,036
4	5,2	26	135	1,2	162	0,80	130	0,019
Итого		128	1217		1461		1060	0,022

По результатам подсчетов геологоразведочной экспедицией № 324 общие запасы ураноносных углей составили 0,8 % от общей суммы запасов углей всего месторождения.

В 1989 году были проведены оценочные работы на поле разреза, по результатам работ было выявлено более широкое распространение ураноносных углей. В результате было выделено 15 ураноносных оруденений, сконцентрированных в 8-ми угольных блоках. Объем запасов комплексных углей составил 3062,2 тыс. тонн [99]. Основная доля запасов расположена в южной, юго-западной, западной частях месторождения, при этом большая часть залежей локализована в краевых частях угольных пластов. Сопоставление оконтуривания уранового оруденения по ранее проведенным исследованиям отражено на рисунке 1.2.

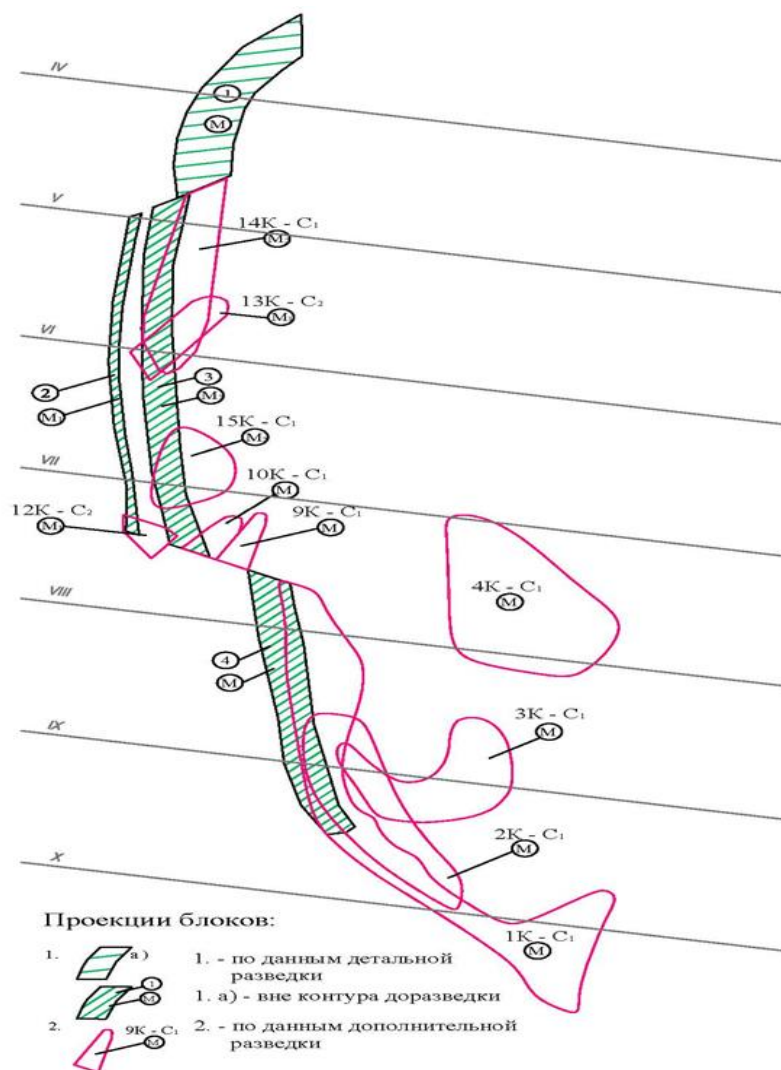


Рис. 1.2 – Сопоставление оконтуривания уранового оруденения

Анализ распределения концентрации урана по данным лабораторных исследований керна показал, что изменение содержания урана составляет от 0,0007 до 0,1 % (рисунок 1.3).

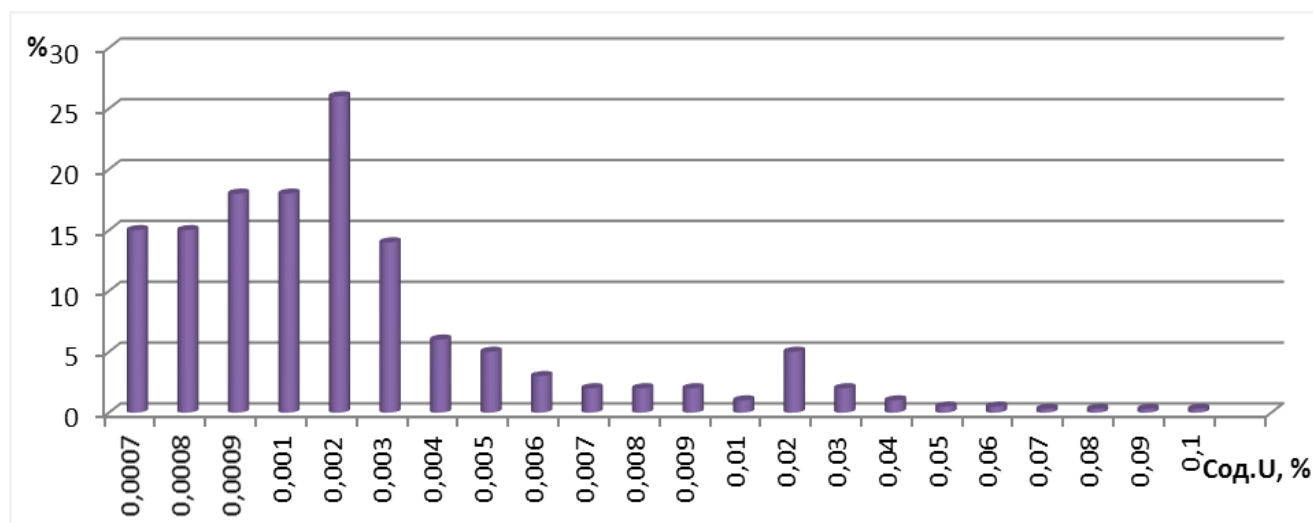


Рисунок 1.3 – Распределение урана в углях месторождения

Закономерное снижение содержаний урана прослеживается от краевых частей мульды к ее центру.

В процессе разведки кроме урановых минерализаций в уртуйских углях установлены превышения содержания тория-232 и радия-226.

В свою очередь, как и содержание урана, фиксируется закономерное изменение концентраций тория и радия. Содержание тория-232 в углях варьирует от 0,0007 % до 0,03 %, при этом основной объем угля характеризуется невысоким содержанием тория, менее 0,005 % (рисунок 1.4).

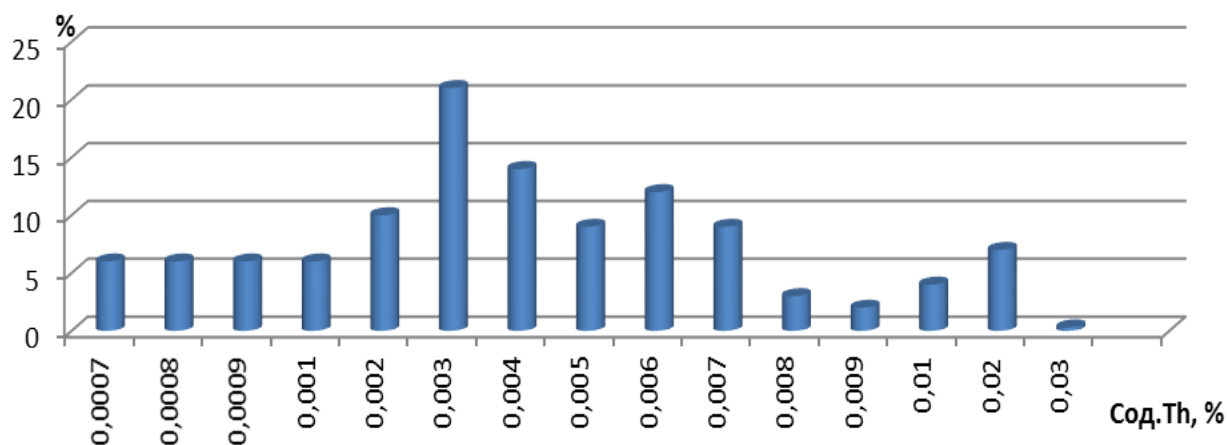


Рисунок 1.4 – Распределение тория в углях месторождения

Стоит отметить, что наибольшие содержания радия, превышающие значение 0,01 %, так же как содержание урана приурочены к юго-западной и западной частям месторождения.

В отличие от урана и продуктов его распада определения концентрации калия-40 проведено в меньшем объеме. По результатам испытания керновых проб была установлена четкая зависимость между содержанием калия и зольностью углей, обусловленная концентрированием калия преимущественно в глинистых минералах. Так при увеличении зольности от 2 % до 39 % концентрация калия-40 изменяется от 0,0100 % до 2,5 % (рисунок 1.5).

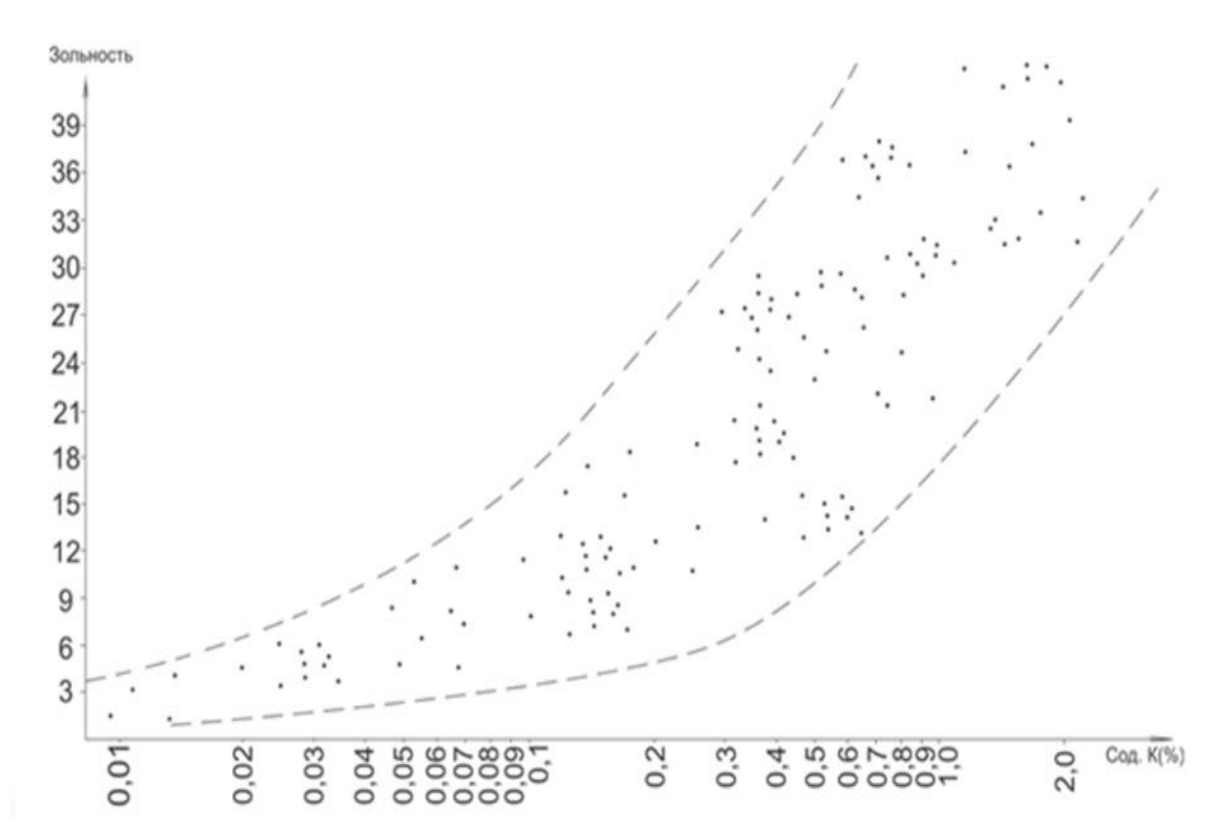


Рисунок 1.5 – Зависимость содержания калия в углях от зольности

На основе полученных данных, сделан вывод, что при максимальной зольности угольной массы, допускаемой кондициями (35 %), содержание калия не превысит 2,0 %, соответственно активность калия-40 составит не более 1,7 пКи/г, что указывает на его несущественный вклад в суммарную удельную эффективную активность природных радионуклидов в добываемых углях Уртуйского месторождения [99].



В действующих на сегодняшний день стандартах и других нормативных документах отсутствуют какие-либо требования по содержанию урана в товарном угольном топливе. Поэтому для обоснования необходимых параметров сортировки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов в 1996 -1998 г.г. специалистами предприятия была произведена оценка степени негативного воздействия сжигания углей на окружающую среду. Для этих целей на первых этапах отработки месторождения были произведены опытные сжигания углей на Краснокаменской ТЭЦ [81].

Принимая во внимание требования [100] п. 1.4 и п. 1.4.18 «о непревышении среднего остаточного содержания урана в размере не более 0,0020 % в отходах горнорудного производства» (в данном случае золошлаке), среднее содержание урана в исходном угольном топливе должно составлять не более 0,0007 %. Следовательно, предел содержания урана для потребительских углей установлен в размере не более 0,0010 % [81].

На основании расчетов и результатов сжигания опытной партии уртуйских углей, для выполнения требований [85] о критериях предельно допустимых выбросов радиоактивных примесей в атмосферу, среднее содержание урана в энергетических углях должно поддерживаться на уровне 0,0060 % [81]. Поэтому для углей данного сорта принято значение содержания урана не более 0,010 %. При превышении данного параметра (более 0,010 %) угли классифицируются, как комплексные. Принятая схема сортировки углей утверждена главным санитарным врачом СЭС по г. Краснокаменску и Краснокаменскому району, протокол № 109 от 05.06.1989 г.

Для гарантии безопасности угольного топлива доза облучения населения не должна превышать 1 мЗв/год, соответственно активность золошлаковых отходов должна составлять не более 370 Бк/кг, поэтому был произведен переход от содержания урана к суммарной удельной активности в угольном топливе.

Приделы суммарной эффективной удельной активности естественных радионуклидов для всех сортов углей установлены на основе расчетов рассеяния радиоактивных примесей в атмосфере, закономерностей поступления

радионуклидов через органы дыхания (ингаляционный) и биологическим (пищевым) цепочкам для лиц категории Б, а также расчета дозы облучения человека. Результаты исследований получили положительное заключение Института биофизики, НИИ радиационной гигиены и Федерального Управления медико-биологических проблем при Минздраве РФ и легли в основу организации системы контроля качества товарного топлива по радиационно-гигиеническому фактору [81].

В таблице 1.9 приведена классификация углей Уртуйского месторождения по содержанию урана и суммарной эффективной удельной активности естественных радионуклидов [81].

Таблица 1.9 – Разделение углей Уртуйского месторождения по содержанию урана и суммарной эффективной удельной активности естественных радионуклидов

Сорт углей	$C_U$ , %	$A_{эф}$ , Бк/кг	Направление использования
1 сорт	менее 0,001	до 123	Потребительские угли
2 сорт	0,001-0,01	123-1230	Энергетические угли
3 сорт	более 0,01	более 1230	Комплексные угли

По принятой системе сортировки: потребительский уголь может быть использован без ограничений, энергетический уголь – для сжигания только на Краснокаменской ТЭС, комплексный уголь подлежал складированию в специальных отвалах до решения вопроса о его использовании.

На основании выбранных и обоснованных критериев сортировки углей, специалистами предприятия (Сидоровой Г.П., Сухановым Р.А., Тирским А.В. и др.) была разработана система приборного контроля и сортировки углей по заданным радиационным параметрам.

Система состояла из нескольких этапов:

1. Управление качеством углей на базе секционно-погоризонтного картирования запасов, используемых для выбора способа отработки угля.

2. Проведение радиационного контроля на всех технологических этапах освоения месторождения.

3. Выбор схемы отработки угольной массы по сортам при автомобильном варианте вскрытия с учетом ее радиационных параметров.

В основе технологических способов управления радиационным качеством углей лежат радиометрические методы [101, 102]: интегральный гамма-каротаж на этапе эксплуатационной разведки; интегральное гамма-опробование в добычном забое и на участке хранения угольной массы; гамма-экспресс-анализ в автосамосвалах на радиометрической контрольной станции при транспортировке угля на промежуточный угольный склад; контрольные лабораторные испытания товарных проб гамма-спектрометрическим методом.

Существующая технологическая схема управления качеством углей в потоке представлена на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Существующая технологическая схема управления качеством углей в потоке

Радиометрическое опробование очистных забоев выполняют с целью оперативного контроля текущей добычи угля; на штабелях угольного склада для дополнительного контроля партий товарного топлива, формируемых к отгрузке.

Методика проведения опробования угольной массы производится по профилю с шагом опробования 1 м, на высоте не менее 1 м по зачищенной поверхности полотна забоя. Радиометрическое опробование угольной массы на штабелях угольного склада осуществляется по профилю 2×2 м на расстоянии не менее 1 м от основания штабеля. Замеры интенсивности документируются в специализированном журнале с подробной привязкой точек наблюдения (данных штабеля, номера слоя и т.д). Пример опробования забоя угольного пласта показан на рисунке 1.7.

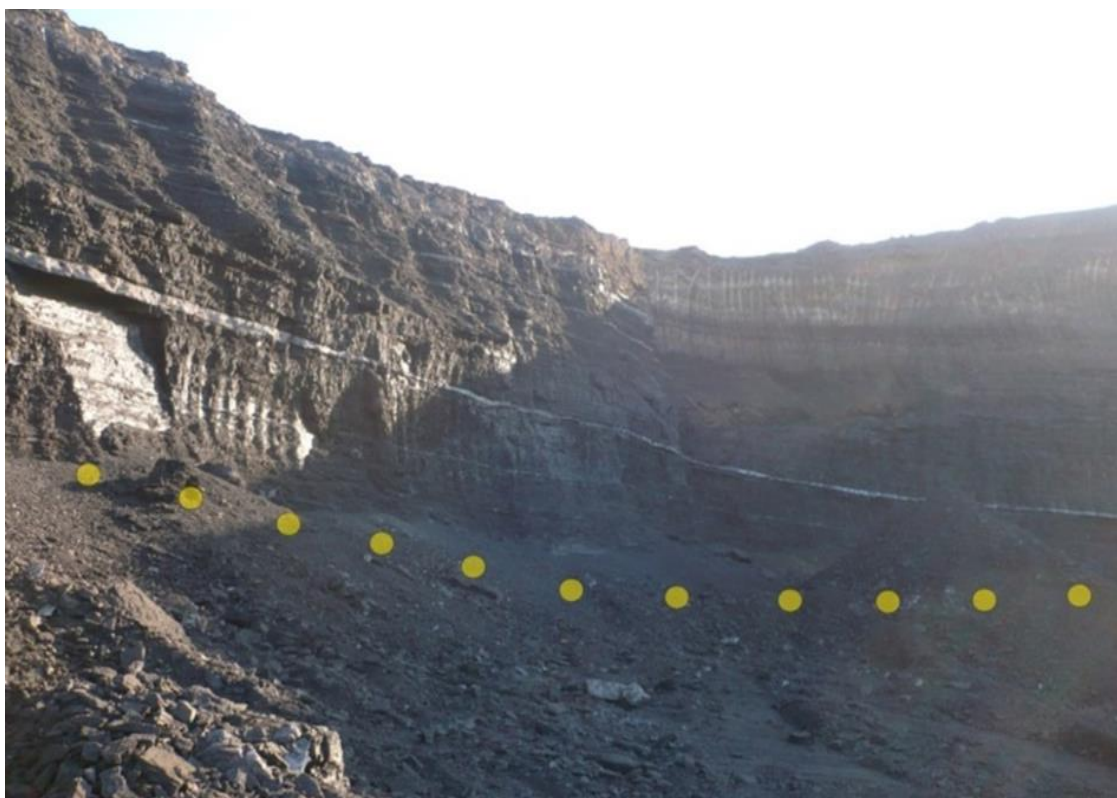


Рисунок 1.7 – Пример опробования забоя угольного пласта

Во время транспортировки угольной массы на склад временного хранения производится контроль радиационного качества товарного топлива с применением метода гамма-экспресс-анализа угля в автосамосвалах на радиометрической контрольной станции (РКС), представленной на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Гамма –экспресс анализ углей в автосамосвалах на РКС

Сущность метода сортировки заключается в быстрой (экспрессной) оценке по гамма-излучению концентрации урана в добытых углях, находящихся в различных емкостях. Методика контроля содержания урана в углях, транспортируемых в автосамосвалах, заключается в измерении разности между усредненной по 8 датчикам скорости счета от гамма-излучения радия во время нахождения автосамосвала на позиции измерения и компенсацией фона.

Сортировка угля производится на основании этих измерений в соответствии с установленными пороговыми значениям измеряемой интегральной гамма-активности угля (таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Установленные пороговые значения измеряемой интегральной гамма-активности угля [101]

Сорт угля	Пороговые значения измеряемой интегральной гамма-активности угля, имп/с
Потребительский	$\leq 400$
Энергетический	400 - 2200
Комплексный	$\geq 2200$

Окончательная обработка результатов гамма-экспресс-анализа заключается в расчете баланса добытого угля по сортам с использованием уравнения регрессионной связи интегральной гамма-активности с эффективной суммарной удельной активностью (Аэфф), дозой облучения населения от использования угля (Dc) и содержанием урана.

Радиационный контроль угля на штабелях угольного склада проводится приборным методом по методике «Гамма-опробования углей на штабелях угольного склада». Методика гамма-опробования включает:

- проведение разбивки профиля на участке опробования шагом 1 м;
- измерение интенсивности в намеченных пикетах;
- документация результатов измерения в журнале опробования.

Обработка результатов измерения сводится к расчету среднего значения интенсивности по профилю (штабелю угольного склада) по формуле:

$$J = J_1 + J_2 + \dots J_n / n, \quad \text{где} \quad (1.1)$$

$J$  – средняя интенсивность по профилю (штабелю), мкР/час,

$J_1, J_2, J_n$  – интенсивность в точках наблюдений, мкР/час,

$n$  – количество точек наблюдений.

Переход от полученных значений интегральной гамма-активности к содержанию урана проводится по формуле, полученной на основе экспериментальных данных [81]:

$$C_u = C_{Ra} - N_{Th} / K_{pp}, \quad \text{где} \quad (1.2)$$

$C_{Ra}$  – содержание радия,

$N_{Th}$  – поправка на влияние тория,

$K_{pp}$  – коэффициент радиоактивного равновесия.

Одним из необходимых условий обеспечения качества товарного угольного топлива по радиационному фактору, является: отбор контрольной пробы от каждой партии угля для проведения испытаний в лаборатории ЦНИЛ ПАО «ППГХО».

Эффективная удельная активность ( $A_{\text{эфф}}$ ) по результатам опробования оценивается в соответствии с п. 5.3.4 [85] по формуле:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3 A_{\text{Th}} + 0,09 A_{\text{K-40}} \quad (1.3)$$

При существующей технологии управления качеством на предприятии использовали систему экологического контроля. На базе этой системы производилась оценка степени загрязнения подземных и дренажных вод. Специалистами самостоятельной лаборатории радиационной безопасности осуществлялись наблюдения за состоянием почвенно-растительного покрова, необходимые для оценки загрязнения радионуклидами, в единственной контрольной точке, расположенной на границе санитарно-защитной зоны предприятия. Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха производились бессистемно, на разных участках местности: на производственной площадке и на границе санитарной-защитной зоны использовали от 2 до 5 точек для пробоотбора.

Анализ существующей системы геоэкологического контроля на Уртуйского бурогольном месторождении доказал ее эффективность на этапе управления качеством минерального сырья. Однако в связи с необходимостью вовлечения в отработку углей с содержанием естественных радионуклидов более 0,010 % (сорт комплексный), появилась необходимость усовершенствования существующей системы управления качеством и технологии отработки радиоактивных углей на основе применения современных инструментальных методов. Для реализации экологически безопасной, по радиационному фактору технологии добычи угля, необходимо обосновать и разработать систему экологического мониторинга за состоянием окружающей среды в границах санитарно-защитной зоны предприятия.

Анализ литературных источников позволил сформулировать указанную выше цель работы и сформулировать следующие основные задачи для её реализации:



1. Обосновать и разработать систему экологического мониторинга окружающей среды при добыче углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов;

2. Провести анализ площадного и объемного размещения радиоактивных углей Уртуйского месторождения на основе интерпретации результатов 3D моделирования;

3. Провести оценку состояния окружающей среды и использования природных ресурсов при эксплуатации месторождения в границах санитарно-защитной зоны предприятия;

4. Разработать рекомендации по совершенствованию технологии добычи углей, обеспечивающей рациональное использование ресурсов, радиационную безопасность реализуемого угольного топлива на основе использования современных методов цифрового моделирования качественных показателей угольной продукции.

#### **Выводы:**

1. Рассмотрены проблемы отработки и использования углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов. Отмечено, что из-за отсутствия документов, регламентирующих содержание радионуклидов в добываемых углях, их отработка производится по обычным технологическим схемам без радиационного контроля, что приводит к увеличению дозовой нагрузки на персонал предприятия и окружающую среду.

2. Отмечено, что технологические схемы отработки Уртуйского бурогоугольного месторождения основаны на результатах научно-исследовательских работ и использовании методов секционно-погоризонтного картирования, а также проведения радиационного контроля для управления качеством угля на технологических этапах разработки месторождения.

3. Существующая система экологического контроля на Уртуйском бурогоугольном месторождении не может в полной мере отражать реальную картину



происходящих изменений состояния окружающей среды, из-за отсутствия обоснованной схемы и периодичности проведения наблюдений.

4. Анализ существующей системы экологического контроля на Уртуйском бурогольном месторождении свидетельствует о ее эффективности на этапе управления качеством минерального сырья, в связи с необходимостью вовлечения в отработку углей с содержанием естественных радионуклидов более 0,010 % (сорт комплексный), появилась необходимость усовершенствования существующей системы управления качеством и технологии отработки радиоактивных углей на основе применения современных инструментальных методов. Для реализации экологически безопасной, по радиационному фактору технологии добычи угля, необходимо обосновать и разработать систему экологического мониторинга за состоянием окружающей среды в границах санитарно-защитной зоны предприятия.

## **Глава 2. Обоснование системы локального экологического мониторинга окружающей среды при добыче углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов**

### **2.1. Оценка существующей техногенной нагрузки в районе проведения исследования**

Уртуйское бурогольное месторождение, входящее в состав ПАО «ППГХО», расположено на территории Краснокаменского муниципального района Забайкальского края, в 10 км северо-западнее города Краснокаменска (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Обзорная карта-схема района исследования

Район беден природными водными объектами, единственной водной артерией является р. Урулюнгуи (левый приток р. Аргунь) с несколькими мелкими, обычно временными водотоками, протекающая севернее от участка ведения горных работ. Характерными чертами гидрологического режима р. Урулюнгуи являются низкое половодье весной и высокие паводки в летний период. С декабря по март сток отсутствует, так как река полностью замерзает. Непосредственно через участок месторождения проходит русло временного водотока, водосборная площадь

которого составляет 542 км<sup>2</sup>. В сухие периоды ручей пересыхает, в периоды дождей его дебит возрастает до 3 м<sup>3</sup>/с.

В состав ПАО «ППГХО» помимо Уртуйского разреза входят двадцать пять подразделений, включающих урановые рудники, Гидрометаллургический, Сернокислотный и Ремонтно-механический заводы и другие структурные подразделения.

ПАО «ППГХО» является градообразующим предприятием. Общая численность населения города Краснокаменск составляет 52,2 тысячи человек.

Основным потребителем добываемого угля на Уртуйском месторождении является Краснокаменская ТЭЦ, расположенная в 15 км юго-восточнее месторождения и сельское население Краснокаменского района.

Краснокаменская ТЭЦ обеспечивает полный цикл производства и выработки электроэнергии и тепла для собственных нужд и объектов инфраструктуры. Поступающий на ТЭЦ уголь, измельчается в мельницах и вместе с дутьем воздуха через специальные горелочные устройства и далее подается в топки котельных агрегатов для сжигания. Отделение золы от газа осуществляется в золоулавливающих устройствах. Предельное количество урана, выбрасываемого в атмосферу из труб ТЭЦ, ежегодно регламентируется в количестве не более 3,1 т/год, расчетным способом определяется предельное среднегодовое содержание урана в поставляемом угле.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения города и объединения используются подземные воды месторождения «Восточный Урулюнгуй». Техническое водоснабжение осуществляется за счет воды, откачиваемой из разреза «Уртуйский».

Стоит отметить, что Уртуйское месторождение находится в зоне действия естественной гидрогеохимической аномалии [95–97]. При организации и проведении экологического мониторинга качества подземных и поверхностных вод территории месторождения необходимо учитывать следующие факторы:

1. Натуральный радиогидрохимический фон по урану для неоген-четвертичного водоносного горизонта Восточно-Урулюнгуйской впадины

составил 0,012 мг/л, для Аргунского массива – от 0,012-0,017 мг/л (Кормилец Ю.С., 1966г) до 0,031 мг/л (Осмоловский И.С. и Маринов Б.И., 1967 г).

2. Естественное содержание радона в пробах воды изменяется от 1,95 до 9,5 эман (10 эман по Пищеровой П.И.).

3. По данным гамма-каротажа неоген-четвертичные отложения имеют натуральный фон 5 мкР/час, одновозрастные гравийно-галечные отложения – 13 мкР/ч.

4. Содержание урана в воде р. Урулюнгуй изменяется в пределах от 0,032 до 0,062 мг/л, при среднем значении местного фона 0,045 мг/л.

5. Для урановых провинций юго-восточного Забайкалья характерно повышенное содержание в подземных водах фтора, урана, молибдена и свинца.

## **2.2. Выбор и обоснование контролируемых объектов окружающей среды**

В соответствии с действующим законодательством о недрах, организация и ведение экологического мониторинга должно осуществляться недропользователем в границах лицензионного участка [103]. Проведение радиационно-экологических мероприятий на разрезе «Уртуйский» предусматривается в пределах санитарно-защитной зоны предприятия, в которую входят границы горного и земельного отвода месторождения; общая площадь участка составляет 12,5 км<sup>2</sup>.

Мониторинг экологического состояния окружающей среды на месторождении при добыче углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов проводится с целью снижения вредного влияния эксплуатации месторождения на окружающую среду, обеспечения качества товарной угольной продукции, безопасного ведения работ и охраны недр [104–106]. Это означает, что при усовершенствовании существующей технологии отработки месторождения, должны учитываться требования и критерии, позволяющие обеспечить максимальную совместимость данного объекта и окружающей природной среды, сохранив тем самым экологическое равновесие.

Основными задачами радиоэкологического мониторинга состояния окружающей среды на месторождении являются:

- оценка состояния окружающей среды и использования природных ресурсов при эксплуатации месторождения;
- разработка рекомендаций по предотвращению или снижению вредного влияния эксплуатации месторождения на окружающую среду, рациональному использованию ресурсов и охраны недр;
- учет запасов полезных ископаемых и их использование.

Основными факторами, определяющими структуру и содержание экологического мониторинга месторождений, является:

- характер залегания и степень изменчивости состава и свойств полезного ископаемого;
- характер залегания и условия распространения водоносных горизонтов, изменчивость мощностей и фильтрационных свойств водовмещающих пород, величина водопритока в горные выработки;
- технологическая схема отработки месторождения и скорость ведения горных работ.

Исходя из сформулированных целей и задач, характеристик факторов воздействия и зон влияния, условий недропользования, а также нормативно-правовой базы осуществляется выбор контролируемых объектов экологического мониторинга. При выборе объектов экологического мониторинга учитывалась представительность выбранной части каких-либо наблюдений за состоянием данного объекта по отношению ко всей совокупности наблюдений, из которых сделана выборка. Приоритеты в выборе объектов определены исходя из величины воздействия и его последствий. Поэтому к объектам мониторинга окружающей среды отнесены: природные компоненты (атмосферный воздух, подземные и дренажные (сточные) воды, почвы) и природные ресурсы - минерально-сырьевая база (недра) предприятия (рисунок 2.2).

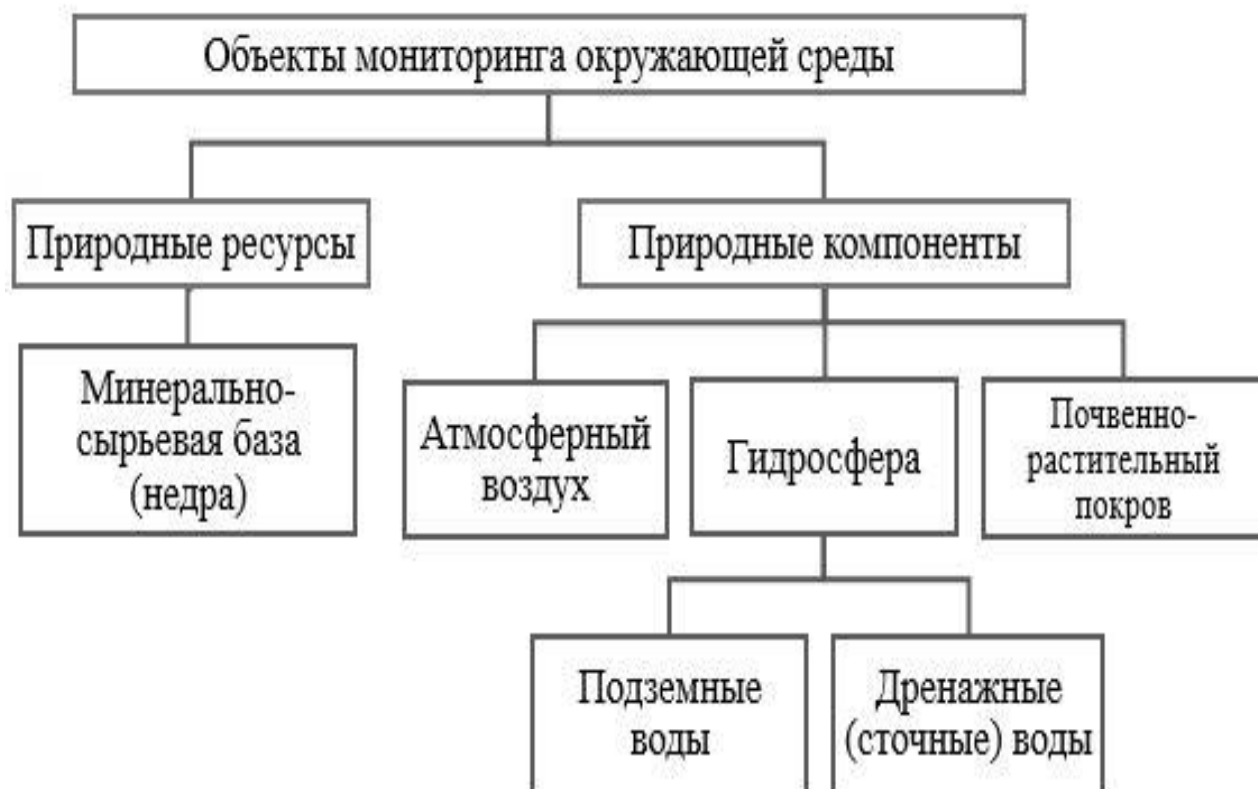


Рисунок 2.2 – Контролируемые объекты экологического мониторинга окружающей среды

В основе экологического мониторинга лежат систематические наблюдения за экологическими эффектами взаимодействия природы и производства на локальной территории предприятия в границах санитарно-защитной зоны. Источником информации о состоянии окружающей среды являются наблюдательные сети. Количество пунктов и их расположение определяются исходя из геолого-технологических и природных факторов.

### **2.3. Обоснование выбора маркерных веществ для экологического мониторинга**

В соответствии с [85] к любым организациям, в которых облучение работников от природных радионуклидов превышает 1 мЗв/год, предъявляются требования по обеспечению радиационной безопасности при воздействии природных источников излучения в производственных условиях.

Контроль радиационной обстановки должен отвечать требованиям всего комплекса принципов обеспечения радиационной безопасности, изложенных в [85], [107] и [108], а именно: обоснованию, оптимизации и нормированию. Поэтому при организации экологического мониторинга за состоянием окружающей среды необходимо произвести выбор показателей, при наблюдении за которыми можно сделать вывод о состоянии экологической ситуации в границах санитарно-защитной зоны и принять необходимые управляющие решения относительно источников воздействия. Такие показатели относятся к базовым (маркерным).

Основным критерием выбора маркерных веществ служит прогноз возможных путей облучения персонала в результате выброса радиоактивных веществ и загрязнения естественными радионуклидами приземного слоя атмосферы и подстилающей поверхности в границах санитарно-защитной зоны предприятия. При этом выделены следующие пути облучения [109]:

1. В результате загрязнения атмосферного воздуха:

- ингаляционный путь облучения, т.е. внутреннее облучение от поступления радионуклидов в организм человека через органы дыхания (П1);

- внешнее облучение фотонами и заряженными частицами (П2);

2. В результате загрязнения подстилающей поверхности:

- внешнее облучение от следа радиоактивных выпадений на поверхность земли (П3);

- ингаляционный путь облучения в результате вторичного подъема выпавших радионуклидов (дефляции) (П4);

- пероральный путь облучения, т.е. внутреннее облучение от поступления радионуклидов при потреблении воды и продуктов питания, загрязненных в данной местности вследствие выбросов (П5).

В таблице 2.1 приведены контролируемые природные компоненты экологического мониторинга окружающей среды и связанные с ними возможные пути облучения, определяемые, контролируемые и наблюдаемые параметры.

Таблица 2.1 – Контролируемые природные компоненты экологического мониторинга окружающей среды, связанные с ними возможные пути облучения, определяемые, контролируемые и наблюдаемые параметры

Объект мониторинга	Определяемый параметр	Пути облучения	Контролируемый (наблюдаемый) параметр
Атмосферный воздух	Радионуклидный состав газовой и аэрозольной фаз воздушной среды	П1, П4	Активность эквивалентная равновесная объемная (ЭРОА) дочерних продуктов изотопов радона
		П1, П4	Индивидуальная эффективная доза внутреннего облучения за счет ингаляции короткоживущих изотопов радона в атмосферном воздухе
		П1, П4	Индивидуальная эффективная доза внутреннего облучения за счет долгоживущих природных радионуклидов в атмосферном воздухе
		П2, П3	Индивидуальная эффективная доза внешнего облучения
Подземные воды	Объемная активность радионуклидов	П5	Концентрация радионуклидов
Дренажные (сточные) воды	Объемная активность радионуклидов	П5	Концентрация радионуклидов
Почвенно-растительный покров	Объемная активность радионуклидов	П5	Эффективная удельная активность природных радионуклидов



Оценка контролируемых (наблюдаемых) параметров атмосферного воздуха и почвенно-растительного покрова производится в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 [85], ОСПОРБ-99/2010 [108], МУ 2.6.1.1088-02 [109] и МУ 2.6.1.27-2003 [110], поэтому в процессе наблюдений необходимо производить определение следующих маркерных веществ:

- радионуклидный состав газовой и аэрозольной фаз воздушной среды для атмосферного воздуха;

- содержание природного урана U (представленного смесью изотопов урана –238, урана – 234 и урана – 235), изотопов радия – 226 и тория – 230 для почвенно-растительного покрова.

Принимая во внимание то, что Уртуйское месторождение находится в зоне действия естественной гидрогеохимической аномалии [95–97], при проведении оценки качества подземных вод, руководствуясь требованиями НРБ – 99/ 2009 [85], МУ 2.6.1.27-2003 [109] и МУ 2.6.1.1981-05 [111], контролируемыми маркерными веществами являются основные дозообразующие радионуклиды: природный уран U (представленного смесью изотопов урана –238, урана – 234 и урана – 235), изотопы радия – 226 и тория – 230. Для оперативности оценки качества дренажных (сточных) вод в процессе наблюдения в достаточном объеме будет производить определение содержания природного урана.

В соответствии с требованиями [109] при введении в действие новых нормативных документов, регламентирующих организацию и проведение экологического мониторинга, необходимо производить пересмотр определения основных маркерных веществ в контролируемых объектах окружающей среды (не реже 1 раз в 3 года). При возникновении риска увеличения дозовой нагрузки на персонал предприятия и окружающую среду, в период отработки углей с содержанием урана более 0,010 %, должен быть произведен внеочередной пересмотр контролируемых маркерных веществ.

## **2.4. Схема и режимы проведения экологического мониторинга окружающей среды**

Наблюдательная сеть экологического мониторинга окружающей среды в границах санитарно-защитной зоны Уртуйского месторождения сформирована с учетом горно-геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий. При разработке структуры экологического мониторинга определен оптимальный комплексный состав метеорологических, гидрологических, гидрогеологических, техногенных наблюдений [80, 104, 106].

Для проведения оценки и получения достоверной информации о состоянии качества окружающей среды подробно описаны схема, периодичность и методики проведения наблюдения. На рисунке 2.3 приведена обобщенная схема проведения экологического мониторинга окружающей среды.

В соответствии с требованиями [109], схемы и режимы проведения экологического мониторинга окружающей среды необходимо уточнять и пересматривать в зависимости от изменений производственных и технологических характеристик предприятия и реально сложившейся экологической обстановки в границах санитарной-защитной зоны не реже 1 раза в 5 лет.

### **2.4.1. Контроль качества атмосферного воздуха**

Как известно, атмосфера является наиболее динамичной средой и характеризуется сложной пространственно-временной динамикой содержания примесей [112]. Основным источником радиационного загрязнения атмосферного воздуха является деятельность предприятия, связанная с добычей и хранением углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов.

В формировании уровня загрязнения атмосферного воздуха важную роль играют метеорологические условия (температура воздуха, скорость ветра, осадки и т.п.). Так, концентрация примесей убывает при очень сильных ветрах (за счет их



Рисунок 2.3 – Схема проведения экологического мониторинга окружающей среды

быстрого уноса) и возрастает при штилевых условиях. Таким образом, на каждый анализируемый момент времени уровень загрязнения может меняться, так как зависит не только от суммарного поступления загрязняющих веществ от источников в пределах рассматриваемой территории, но и их переноса, выноса, осаждения и разрушения [112].

В результате проведенной ранее оценки климатических и метеорологических условий прилегающей территории Уртуйского бурогоугольного месторождения было установлено, что климат района резко-континентальный со значительными контрастами, обусловленными общей циркуляцией атмосферы и орографическими особенностями местности. Зима малоснежная, суровая и короткое жаркое лето. Характерны резкие суточные колебания температуры, заморозки возможны даже летом в июне. Самый холодный месяц - январь, самый жаркий - июль. Среднегодовая температура равна  $-0,3^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум температуры воздуха составляет  $-37,2^{\circ}\text{C}$ , абсолютный максимум  $+36,7^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество осадков достигает 377,8 мм, при колебаниях от 146,1 до 618,6 мм. Максимальное количество осадков выпадает в июле – августе, в период с мая по сентябрь выпадает 88,5% годовой суммы осадков. Наибольшее количество ветреных дней приходится на весну и осень. Преобладают ветры северо-западного, юго-восточного и южного направления с повторяемостью от 15 до 17% (рисунок 2.4).

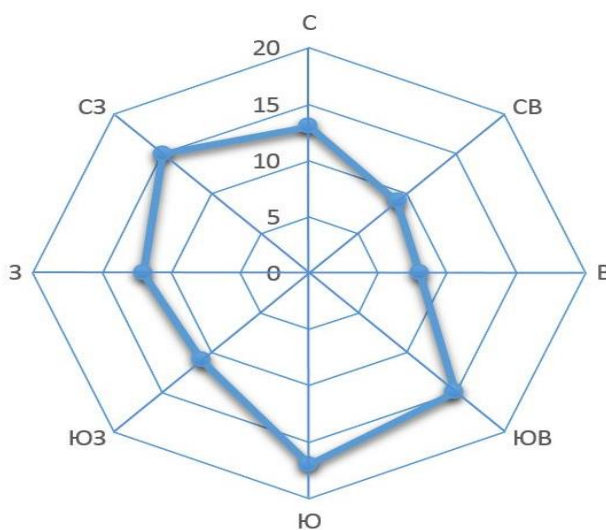


Рисунок 2.4 – Роза ветров

Среднегодовая скорость ветра 2,3 – 3,1 м/с, максимальная до 24 м/с [80].

На основании данных климатических и метеорологических условий прилегающих территорий, определяют наиболее вероятные пути поступления радионуклидов в окружающую среду и выбирают места заложения контрольных точек с последующей их топографической привязкой на местности.

Принимая во внимание все вышеизложенные факторы, состояние атмосферного воздуха контролируется в четырех маршрутных точках по румбам с учетом преобладающих направлений ветра на границе санитарно-защитной зоны предприятия (рисунок 2.5). Для получения достаточного объема информации о качестве атмосферного воздуха наблюдения проводятся не реже 1 раза в квартал [80].

Основной вклад в дозу облучения персонала вносят дочерние продукты распада радона, а также долгоживущие радионуклиды рядов урана и тория, присутствующие в шахтной атмосфере в виде аэрозолей. Контроль маркерных веществ атмосферного воздуха производится с использованием радиометрического метода измерения.

Метод измерения основан на концентрировании аэрозолей воздуха или газовой воздушной смеси на аэрофилтре с помощью аспираторного устройства с последующей подготовкой фильтров и сцинтилляционных экранов. Отображение количества импульсов от фильтра на радиометрической установке, пропорционально количеству альфа-частиц и суммарной альфа-активности долгоживущих аэрозолей в пробе. Отбор проб производится на высоте от 1,5 м. до 3,5 м. от поверхности земли в течение 20-30 минут.

Дозиметрический контроль атмосферного воздуха на содержание радионуклидов проводится с использованием дозиметра-радиометра, предназначенного для измерения амбиентной дозы и мощности амбиентной дозы фотонного гамма и рентгеновского излучения (дозы и мощности дозы, соответственно), для измерения плотности потока бета-частиц и оценки плотности потока альфа-частиц.

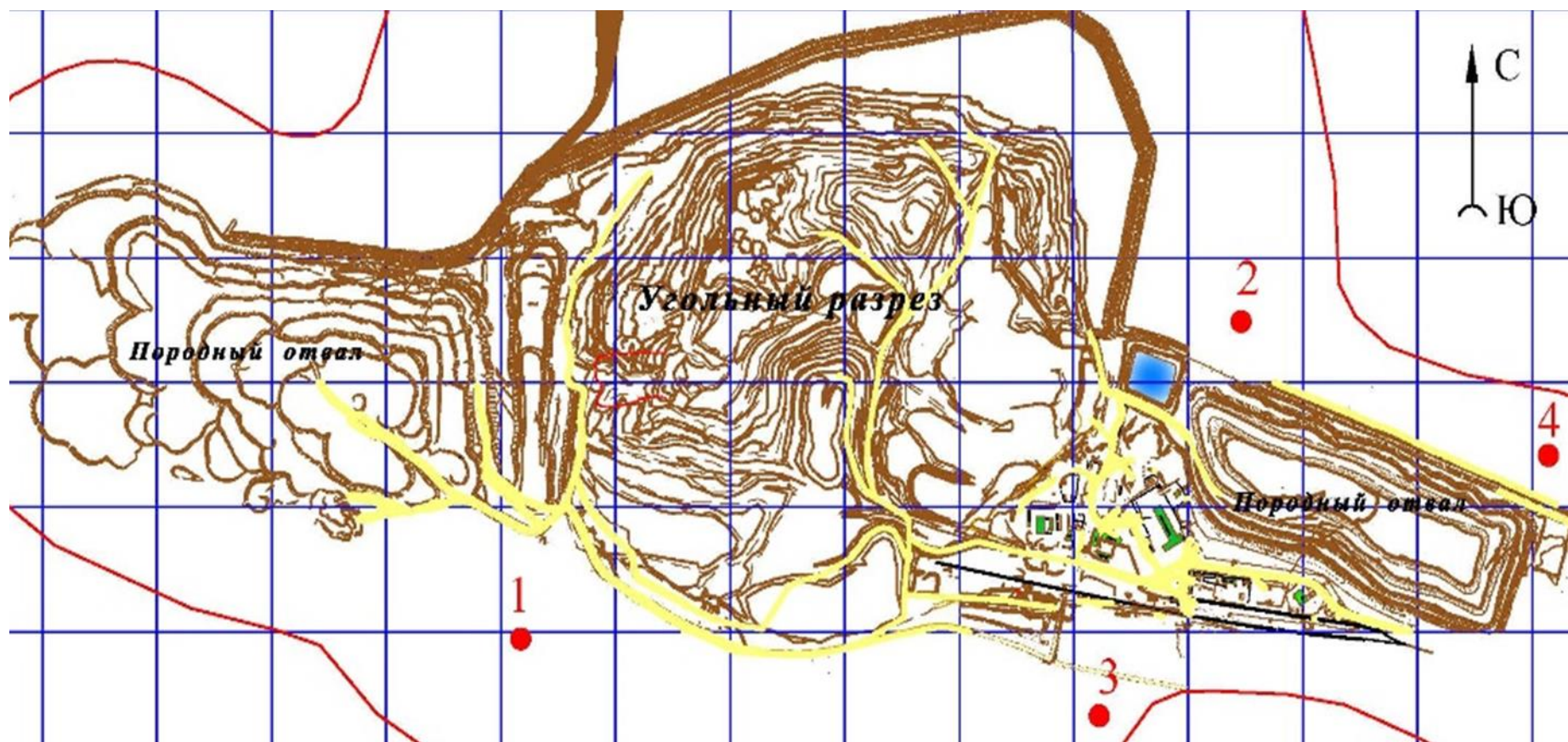


Рисунок 2.5 – Схема расположения точек пробоотбора

Контроль качества атмосферного воздуха производится совместно с группой «Контроля и исследований промышленных отходов и пылегазовых выбросов» в составе ЛРБ ПАО «ППГХО». Группа аттестована Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом». Инструментальное и нормативное обеспечение группы соответствует требованиям МИ 2427-97 «Оценка состояния измерений в испытательных и измерительных лабораториях».

#### **2.4.2. Контроль качества подземных и дренажных (сточных) вод**

Экологический мониторинг контроля качества подземных и дренажных (сточных) вод организуется в соответствии с гидрогеологическим режимом и учётом наличия натурального радиогидрохимического фона.

Контроль содержания маркерных веществ подземных вод осуществляется в створах по специализированной сети режимных скважин, расположенных по контуру разреза (рисунок 2.6). Наблюдения производятся отдельно за режимом четвертичного водоносного комплекса, по скважине Н-2, расположенной на северном борту разреза Уртуйский на пути движения грунтовых вод. Остальные скважины режимной сети, оборудованы как на четвертичный, так и нижнемеловой водоносные комплексы.

Частота наблюдений за уровнем подземных вод, необходимая для оценки различных колебаний уровня воды (эпизодические, годовые и многолетние), связанная с нарушением режима подземных вод различными искусственными факторами, составляет 1 раз в месяц.

Периодичность определения маркерных веществ в подземных водах составляет 2 раз в год — в период низкого и высокого положения уровня (летне-осеннего спада в первом случае и весеннего максимума— во втором). Данная частота считается достаточной и для установления факта загрязнения по площади и по глубине [80, 113].



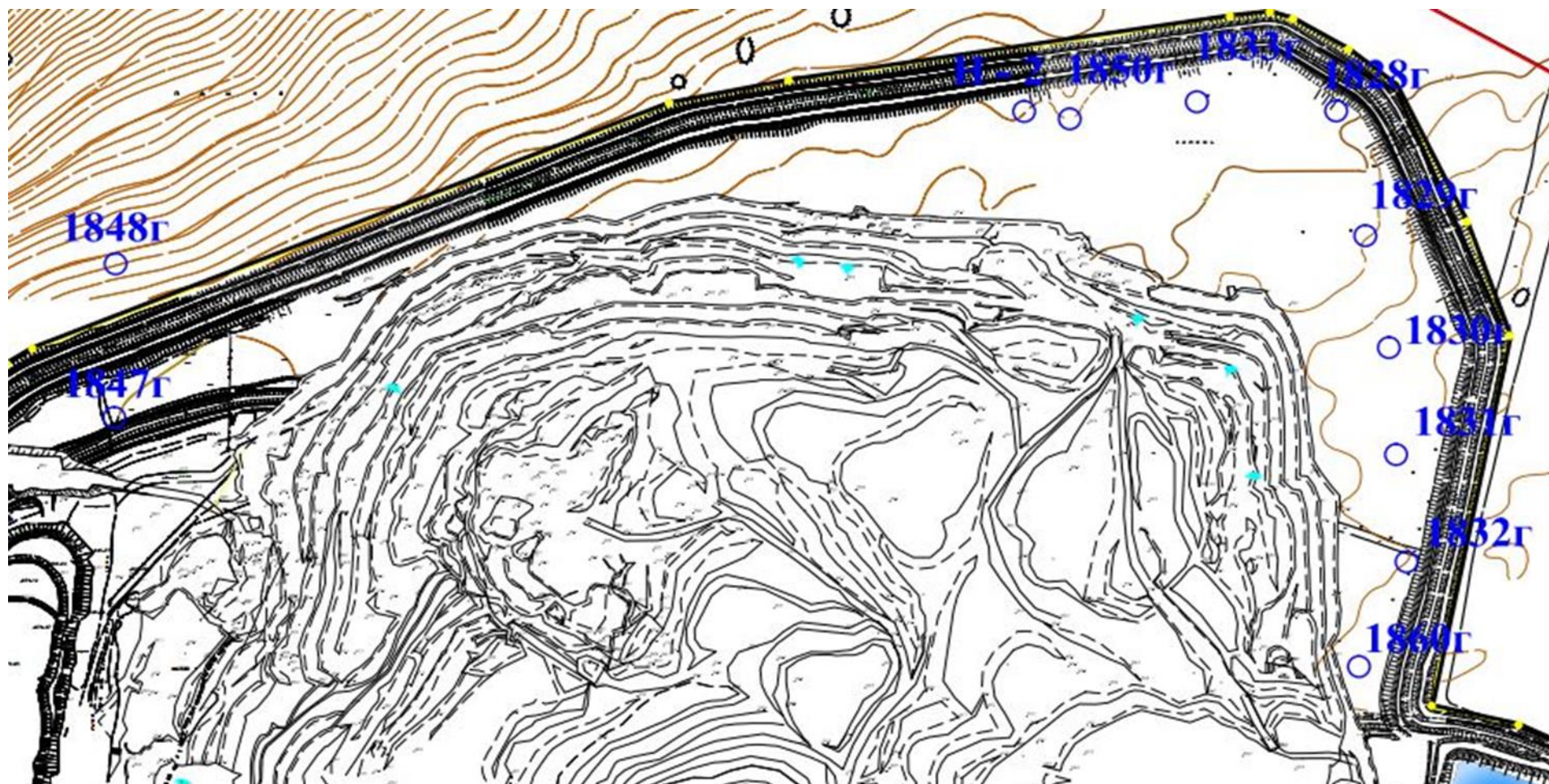


Рисунок 2.6 – Схема расположения режимных скважин по контуру разреза «Уртуйский»



Контроль качества содержания природного урана в дренажных (сточных) вод разреза осуществляется с периодичностью 1 раз в месяц (12 раз в год) на выходе из разреза.

Отбор проб воды производится в соответствии с [114] в полиэтиленовые канистры. Объем пробы должен быть не менее 1 дм<sup>3</sup>. Канистры для отбора, хранения и транспортирования проб предварительно промывают разбавленной 1:1 азотной кислотой и водопроводной водой, далее ополаскивают дистиллированной водой. Если время от отбора проб до начала проведения анализа составляет более четырех часов, допускается проведение консервации пробы азотной кислотой, из расчета 10 см<sup>3</sup> концентрированной кислоты на 1 дм<sup>3</sup> пробы воды. Срок хранения законсервированных проб составляет не более двух суток при температуре от 2 °С до 5 °С.

Лабораторные определения выполняются с использованием методов радиохимического, фотометрического и радиометрического анализа. Перечень методов определения маркерных веществ в подземных и дренажных (сточных) водах приведен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Перечень методов определения маркерных веществ в подземных и дренажных (сточных) водах [80]

Маркерные вещества	Единицы измерения	ПДК (УВ)	Метод определения
Природный уран	мг/л	0,045	Фотометрический
Радий-226	Бк/ дм <sup>3</sup>	0,49	Радиометрический метод измерения $\alpha$ -активности радия
Торий-230	Бк/ дм <sup>3</sup>	0,65	Радиометрический метод определения суммы $\alpha$ -активности изотопов тория

Контроль качеств подземных и дренажных (сточных) вод при проведении экологического мониторинга окружающей среды осуществляется совместно с ведомственными химико-аналитическими лабораториями ПЭ и ТС АО «ОТЭК», ЛРБ и ХФЛ ЦНИЛ ПАО «ППГХО».

### **2.4.3. Контроль состояния почвенно-растительного покрова**

Почвенный покров представляет собой систему менее динамичную и более буферную, чем атмосферный воздух или подземные и поверхностные воды, поэтому методы исследования его состояния существенно отличаются от методов анализа других природных систем.

Одна из особенностей почвы состоит в том, что она накапливает информацию о происходящих процессах и изменениях и поэтому может служить своеобразным свидетелем не только сиюминутного, мгновенного состояния среды, но и отражать прошлые процессы. Кроме того, почвенный покров практически неизменен, его восстановление в естественной природной среде требует сотен и десятков сотен лет, а искусственное возобновление почвы представляет собой весьма дорогую технологию.

В границах санитарно-защитной зоны выделено три почвенные разновидности:

- чернозем мучнисто-карбонатный среднегумусовый, маломощный тяжелосуглинистый;
- лугово-черноземная мучнисто-карбонатная маломощная тяжелосуглинистая;
- намытая гумусированная тяжелосуглинистая.

Разрез «Уртуйский» расположен на землях сельскохозяйственного предприятия «Целинный». Земельный участок под строительство и эксплуатацию разреза предоставляется во временное пользование в установленном порядке Постановлением Главы Администрации Краснокаменского района. По окончании отработки разреза, необходимо произвести рекультивацию нарушенных земель и вернуть собственнику.

При эксплуатации месторождения почвенный покров подвергается технологической деградации (разрушение почвенного покрова и ухудшению его физического состояния) и химическому загрязнению (изменение химического состава почв, вызывающее снижение плодородия и качества).

Земли, используемые при строительстве и эксплуатации месторождения, не относятся к ценным охраняемым землям, как с точки зрения природной ценности, так и с точки зрения использования в сельском хозяйстве.

Экологический мониторинг за состоянием почвенно-растительного покрова в районе угольного разреза осуществляется совместно с ЛРБ ПАО «ППГХО».

Отбор проб почвенно-растительного покрова для определения маркерных веществ осуществляется в тех же маршрутных точках на границе санитарно-защитной зоны предприятия (четыре точки), что и контроль качества атмосферного воздуха (рисунок 2.5). В пунктах мониторингового наблюдения контроль загрязнения проводится 1 раз в год [80].

Точечные пробы отбирают на пробной площадке из одного или нескольких горизонтов методом конверта с таким расчетом, чтобы каждая проба представляла собой часть почвы типичной для генетических горизонтов данного типа почв. Объединенную пробу составляют путем смешивания точечных проб, отобранных на одной площадке. Масса объединенной пробы должна быть не менее 1 кг [115].

Лабораторные определения выполняются методами радиохимического, фотометрического и радиометрического анализа. Перечень методов определения маркерных веществ в почвенно-растительном слое приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Перечень методов определения маркерных веществ в почвенно-растительном слое [80]

Маркерные вещества	Метод определения
Природный уран	Фотометрические методики выполнения измерений содержания урана в твердых пробах
Радий-226	Радиометрический метод измерения $\alpha$ -активности радия в твердых пробах
Торий-230	Радиометрический метод определения суммы $\alpha$ -активности изотопов тория в твердых пробах

#### **2.4.4. Мониторинг состояния минерально–сырьевой базы (недр)**

Экологический мониторинг за состоянием минерально–сырьевой базы (недра) включает в себя:

1. Регулярные наблюдения за элементами окружающей среды, регистрацию наблюдаемых показателей и обработку полученной информации;

2. Создание и ведение информационно-картографических баз данных, включающих в себя весь набор текущей геологической и технологической информации, позволяет осуществлять:

- оценку пространственно-временных изменений состояния окружающей среды на основе полученных в процессе мониторинга данных;
- учет движения запасов полезных ископаемых при добыче;
- прогнозирование изменения состояния объектов горных работ;
- предупреждения о вероятных негативных изменениях состояния окружающей среды и необходимой корректировке технологии добычи запасов полезных ископаемых;
- разработку рекомендаций по ликвидации последствий аварийных ситуаций, связанных с изменениями состояния окружающей среды.

В случае обнаружения высоких уровней содержания маркерных веществ в контролируемых объектах окружающей среды, разрабатывается план мероприятий по уменьшению и предотвращению загрязнения, включающий проведение дополнительных исследований по установлению причин токсичности. Для участков с повышенным уровнем загрязнения почв разрабатываются мероприятия по их рекультивации.

#### **Выводы:**

1. Разработана и обоснована система локального экологического мониторинга окружающей среды в границах санитарно-защитной зоны угледобывающего предприятия, включающая выбор контролируемых объектов окружающей среды и маркерных веществ, а также обоснование схемы и

периодичности проведения наблюдений.

2. Обоснован выбор маркерных веществ при реализации системы мониторинга состояния окружающей среды в зоне отработки месторождения углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов. Показано, что в качестве таких веществ необходимо использовать: для почвы и подземных вод - содержание природного урана U (представленного смесью изотопов урана –238, урана – 234 и урана – 235), изотопов радия – 226 и тория – 230; содержание природного урана для дренажных вод; радионуклидный состав газовой и аэрозольной фаз воздушной среды для атмосферного воздуха.

3. Установлено, что при проведении экологического мониторинга подземных и дренажных (сточных) вод полученное значение содержания природного урана следует сравнивать со средним значением местного фона 0,045 мг/л.

4. Создание и ведение информационно-картографических баз данных, включающих в себя весь набор текущей геологической и технологической информации, позволяет осуществлять: оценку пространственно-временных изменений состояния окружающей среды на основе полученных в процессе мониторинга данных; учет движения запасов полезных ископаемых при добыче; прогнозирование изменения состояния объектов горных работ; предупреждения о вероятных негативных изменениях состояния окружающей среды и необходимой корректировке технологии добычи запасов полезных ископаемых; разработку рекомендаций по ликвидации последствий аварийных ситуаций, связанных с изменениями состояния окружающей среды.

### **Глава 3. Анализ площадного и объемного размещения радиоактивных углей в недрах на основе применения 3D моделирования**

#### **3.1. Геологическая характеристика неотработанных запасов комплексных углей**

В соответствии с дополнением к протоколу ГКЗ СССР № 9796 от 11.09.1985г по результатам детальной разведки Уртуйского бурогоугольного месторождения были утверждены запасы урансодержащих углей в объеме: категории  $C_1$  – 621 тыс. тонн и категории  $C_2$  – 840 тыс. тонн. Эксплуатационная разведка показала более широкое распределение урана, что обусловило необходимость проведение дополнительной разведки. Проведенные в 1990 году дополнительные разведочные работы позволили более детально оценить запасы комплексного угля. Результаты выполненных работ показали значительное увеличение запасов комплексных углей до 3062,2 тыс. тонн, что более чем в 3 раза больше, утвержденных ГКЗ (1060 тыс. тонн).

В процессе отработки месторождения погашено добычей с учетом потерь, заскладировано в отвал и списано 58 % запасов комплексных углей, оценённых по результатам дополнительной разведки [116].

В настоящее время основная доля не отработанных запасов комплексных углей сосредоточена на юго-западном, западном фланге разреза в границах разведочных линий I – VIII (Рисунок 3.1).

Данный участок характеризуется весьма сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки, обусловленными наличием тектонических нарушений, не выдержанностью морфологии угольных пластов, наклонным залеганием пласта (угол падения увеличивается в сторону западной границы месторождения в среднем до  $30^0$ ), наличием участков расщепления основной угольной пачки на пласты М, М1 и М3 с неоднозначной параллелизацией пластов в зонах расщепления и значительной обводненностью подстилающих пород.

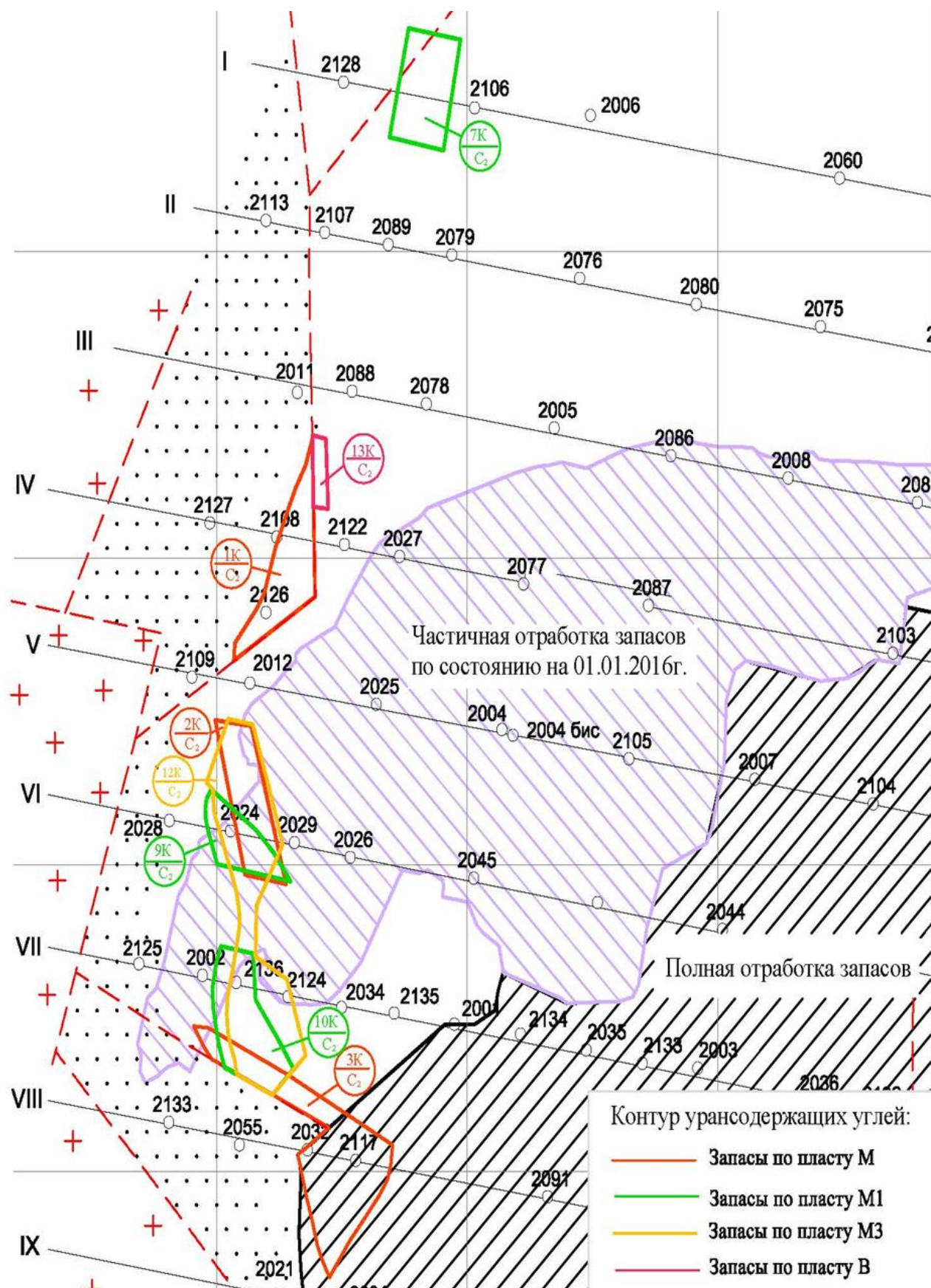


Рисунок 3.1 – Схематический план расположения не отработанных запасов комплексных углей

Всего в пределах месторождения по состоянию на 01.01.2016 г выделено 9 неотработанных или частично отработанных блоков комплексных углей. Характеристика и способы их оконтуривания приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристика подсчетных блоков комплексных углей

№ блока	Тип залежи, система разведки и разведочная сеть	Местоположение блока	Способы оконтуривания, расстояние экстраполяции
1	2	3	4
1К-С1	Сложная залежь, разведанная скважинами по сети 50*125	Расположен в западной части месторождения между разведочными линиями 3и 5. Абсолютные отметки 535-595. Оруденение локализуется в пласте М	Границы блока полностью совпадают с границами подсчетного блока по углю 23-С2, оконтуренного по тектоническим нарушениям
2К-С1	Пастообразная залежь, разведанная с поверхности по сети 50*125	Расположен в западной части месторождения между разведочными линиями 5 и 6+125. Абсолютные отметки 526-532. Оруденение локализуется в кровле пласта М.	Верхняя и нижняя границы блока проведены по крайним пробам. Оконтуривание блока произведено методом интерполяции (половина расстояния между рудной и нерудной скважинами)
3К-С1	Сложная залежь, разведанная с поверхности по сети 50*125	Расположен в западной части месторождения между разведочными линиями 7 и 9. Абсолютные отметки 510-610. Оруденение локализуется в пласте М.	Верхняя и нижняя границы блока совпадают с границей угольного пласта, западная проведена по границе угольного блока 11-С1, восточная определена методом интерполяции (половина расстояния между рудной и нерудной скважинами)



Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
7К-С1	Пастообразная залежь, разведанная с поверхности по сети 50*125	Расположена в северо-западной части месторождения в пределах разведочной линии 1. Абсолютные отметки 529-542. Оруденение локализуется в пласте М1.	Верхняя и нижняя границы блока совпадают с границей угольного пласта М1. Оконтурирование блока в плане проводилось методом интерполяции (половина расстояния между рудной и нерудной скважинами) и экстраполяции (половина разведочной сети)
8К-С1	Пастообразная залежь, разведанная с поверхности по сети 50*125	Расположена в западной части месторождения между разведочными линиями 2 и 3. Абсолютные отметки 515-518. Оруденение локализуется в подошве пласта М1.	Верхняя и нижняя границы блока проведены по крайним пробам, восточная методом интерполяции (половина расстояния между рудной и нерудной скважинами), остальные совпадают с границей угольного блока 25-С1
9К-С1	Пастообразная залежь, разведанная с поверхности по сети 50*125	Расположена в западной части месторождения между разведочными линиями 5+125 и 6+125. Абсолютные отметки 579-582. Оруденение локализуется в кровле пласта М1.	Верхняя и нижняя границы блока проведены по крайним пробам, западная и северо-западная по контуру угольного блока 27-С1, южная методом интерполяции (половина расстояния между рудной и нерудной скважинами)

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
10К-С1	Сложная залежь, разведанная с поверхности по сети 50*125	Расположена в западной части месторождения между разведочными линиями 6+125 и 8. Абсолютные отметки 545-598. Оруденение локализуется в пласте М1.	Верхняя и нижняя границы блока совпадают с границей угольного пласта М1, западная и юго-восточная проведены по контуру угольного блока 27-С1, северная определена методом интерполяции (половина расстояния между рудной и нерудной скважинами)
12К-С1	Сложная залежь, разведанная с поверхности по сети 50*125	Расположена в западной части месторождения между разведочными линиями 3 и 4. Абсолютные отметки 584-596. Оруденение локализуется в кровле пласта В.	Верхняя и нижняя границы блока совпадают с границами угольного пласта, западная и южная проводились по контуру угольного блока 31-С1, северная и восточная методом интерполяции (половина расстояния между рудной и нерудной скважинами)
13К-С1	Пастообразная залежь, разведанная с поверхности по сети 50*125	Расположена в западной части месторождения между разведочными линиями 3и 4. Абсолютные отметки 584-596. Оруденение локализуется в кровле пласта В	Верхняя и нижняя границы блока совпадают с границами угольного пласта, западная и северная проводились по контуру угольного блока 33Б-С1, южная и восточная методом интерполяции (половина расстояния между рудной и нерудной скважинами)

Основная доля запасов комплексных углей сосредоточена в прибортовой части мульды. Урановая минерализация сосредоточена как в кровле, так подошве и центральных частях угольных пластов. Комплексные угли образуют линзы различных размеров, элементы которых как совпадают, так и не совпадают с элементами залегания вмещающих их угольных пластов. Минеральной формой нахождения урана являются черни, образующие тончайшие пленки и оторочки на обломках угля и зернах минералов.

По своему внешнему виду и технологическим свойствам комплексные угли не отличаются от энергетических и потребительских сортов. Границы их распределения по сортам определяются по результатам химического и радиометрического опробования, на основе данных содержания урана и суммарной эффективной удельной активности, в соответствии с принятой классификацией. Угли на таких участках интенсивно трещиноватые не затронутые окислением и не обнаруживают существенного изменения качества. В таблице 3.2. показаны значения зольности угольных пачек в границах локализации блоков комплексных углей.

Таблица 3.2 – Зольность угольных пачек в границах локализации блоков комплексных углей

Объект	Запасы углей, тыс.т	Зольность, %	
		по углю	по горной массе
Пласт М	357,1	11,7	15,0
Пласт М1	127,2	13,9	16,2
Пласт М3	427,1	8,8	13,2
Пласт В	41,9	18,1	22,5
Итого	953,2	11,9	12,2

По результатам оценки, угли с повышенным содержанием естественных радионуклидов в границах выделенных блоков сорта комплексный соответствуют группе 3Б, 2Б. Угли преимущественно малозольные, среднее значение зольности

по углю 11,9 %, по горной массе (с учетом внутренних прослоев) – 12,2 %, а также мало сернистые.

Зола по данным детальной разведки месторождения относится к среднеплавкой (температура плавкости  $< 1350^{\circ}$ ), способность ее к шлакованию и загрязнению поверхности нагрева низкая [117, 118].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что комплексные угли месторождения могут быть использованы для сжигания на Краснокаменской ТЭЦ, в составе шихты, с углями потребительского сорта, в детально рассчитанной дозировке с целью исключения негативного влияния на окружающую среду при их сжигании.

### **3.2. Анализ площадного и объемного размещения радиоактивных углей путём интерпретации результатов 3D моделирования**

Процесс трехмерного цифрового моделирования объектов горной технологии может быть реализован на базе применения современных программных средств горно-геологических информационных систем (ГГИС). Данные системы представляет собой многооконный графический редактор моделирования, предназначенный для решения широкого круга геологических, маркшейдерских и технологических задач, встречающихся в практике работы горнодобывающих предприятий. Для решения необходимого комплекса задач, программное обеспечение содержит обширный набор инструментов, позволяющих создать единую геолого-информационную базу данных предприятия, отобразить пространственное расположение полезного ископаемого, работать с трехмерными моделями: векторными, каркасными и блочными (рисунок 3.2) [119 – 122].

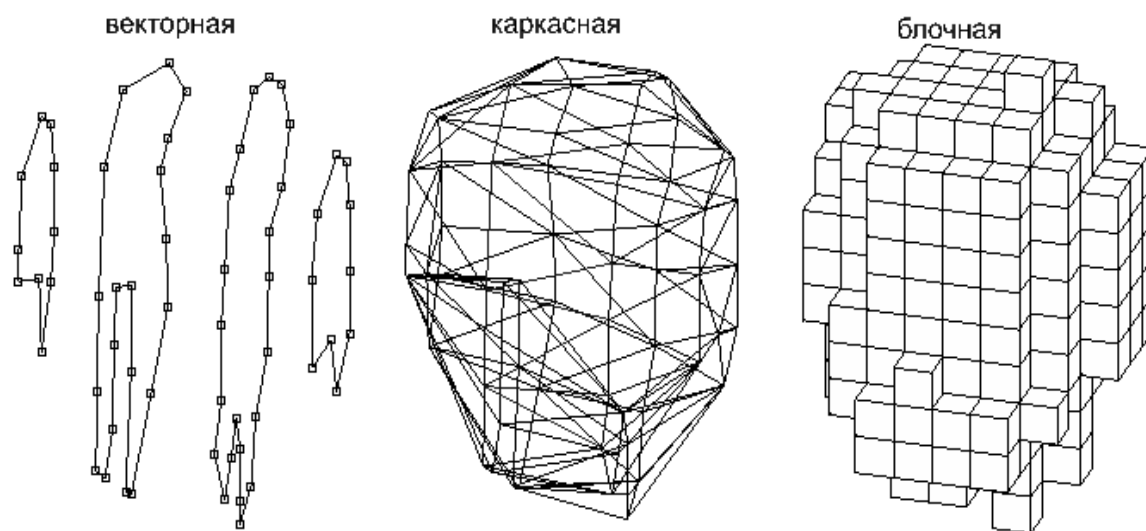


Рисунок 3.2 – Отображение моделей рудных тел

В настоящее время широко используются автоматизированные системы на основе программно-технологических комплексов Micromine, Datamine, MineFrame, ГИС ГЕОМИКС, Mine Advisor и др. В ПАО «ППГХО» применяется отечественная система автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ MineFrame, которая состоит из двух модулей GeoTools и GeoTech-3D [122].

С помощью модуля GeoTools, входящего в программный комплекс MineFrame, автором была создана геологическая база опробования, основанная на данных, полученных в процессе детальной разведки и эксплуатации месторождения, содержащая данные по 1221 скважинам. Работа в данном модуле позволяет выполнять сортировку данных, поиск скважин и проб по названию, делать выборки из базы данных по профилям, блокам и пространственной координате Z, а также в оперативном порядке графически представить колонку скважины со всем перечнем полученных данных результатов опробования (рисунок 3.3).

GeoTools - [Уртуйское] - [Скважины]

База данных Настройка Инструменты Вид Справка

Подключить БД Сохранить БД Скважины Выработки Поиск Геод. координ. Рудничные координ. Вид диаграммы колонки Сохранить диаграмму колонки Справочная система

Скважина	Разведка	Профиль	Глубина	Геод. X	Геод. Y	Ось Z
1721	э.р.	4+120	185.00	88850.000	92930.000	643.600
1730	э.р.	7+100	100.00	88169.000	92669.000	613.100
1734	э.р.	8	71.00	88028.000	92624.000	612.100
1745	э.р.	4+125	85.00	88621.846	94048.897	639.823
1746	э.р.	4+185	84.00	88590.675	94139.147	639.070
1747	э.р.	4+185	86.00	88569.012	94224.869	638.604
1748	э.р.	5	97.00	88510.000	93905.000	639.800
1749	э.р.	5	86.00	88520.000	94006.000	639.600
1750	э.р.	5	86.00	88503.130	94116.955	639.274
1751	э.р.	5	94.00	88481.493	94189.538	638.905
1752	э.р.	5+97	103.00	88455.000	93885.000	639.700
1753	э.р.	5+125	95.00	88390.000	94042.500	637.000
1754	э.р.	5+125	103.00	88385.000	94075.000	637.100
1755	э.р.	5+125	105.00	88365.000	94175.000	637.200
1757	э.р.	5	174.00	88745.000	92750.000	644.000
1757A	э.р.	7+125	112.00	87895.000	94050.000	638.900
1758	э.р.	7+125	106.00	87870.000	94125.000	638.300
1758A	э.р.	7+32	123.00	88000.000	93930.000	638.200
1759	э.р.	7+125	99.00	87855.000	94225.000	636.200

Глубина	Угол (град.ми)	Азимут (град.ми)
0.000	90.000	0.000
185.000	90.000	0.000

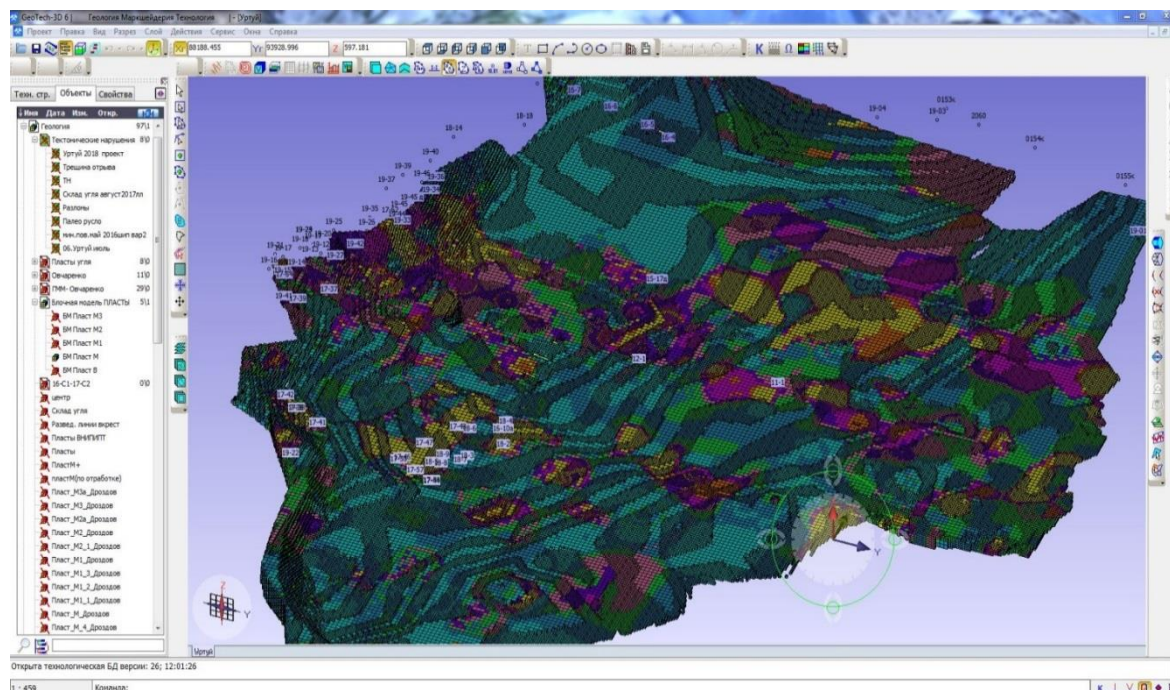
Журнал Рудные интервалы По горизонтали Колонка

№ Проб	От	До	Длина	Выход	Типы	Зольность	Уран	Торий	Радий
			пробы	керна	пород				
1	0.00	18.00	18.00	0.00	Гравийный грунт с песчаным	99.00			
2	18.00	28.00	10.00	0.00	Суглинок гравелистый	99.00			
3	28.00	38.00	10.00	0.00	Глина	99.00			
4	38.00	54.00	16.00	0.00	Супесь гравелистая	99.00			
5	54.00	113.00	59.00	0.00	Алевриты	99.00	70.0000		
6	113.00	123.00	10.00	0.00	Уголь(пласт М3)	16.20	0.0003	3.10	5.07
7	123.00	144.20	21.20	0.00	Алевриты	70.00	70.0000		
8	144.20	156.20	12.00	0.00	Уголь(пласт М)	14.80	0.0006	2.68	6.53
9	156.20	168.20	12.00	0.00	Уголь(пласт М)	19.50	0.0008	4.22	3.65
10	168.20	177.20	9.00	0.00	Уголь(пласт М)	20.70	0.0004	2.69	5.61
11	177.20	185.00	7.80	0.00	Алевриты	99.00			

Сква1221 Уртуйское Сква1721:11 проб Геод. пробы пересекаются имеются пропуски вставленные пробы отсутствуют значения

Рисунок 3.3 – Колонка скважины журнала опробования модуля GeoTools

На базе модуля GeoTech-3D в пределах поля разреза «Уртуйский» смоделированы и построены каркасные и блочные модели всех основных угольных пластов (рисунок 3.4). Модели построены на основе исходной геологической документации по системе вертикальных разрезов.



3.4 – Визуализация блочной модели угольного пласта М



В результате 3D моделирования на базе модуля GeoTech и интерпретации данных опробования модуля GeoTools были построены схемы распределения урана, радия и тория по пластам. Схемы распределения радиоактивных элементов по пласту М представлены на рисунках 3.5, 3.6 и 3.7.

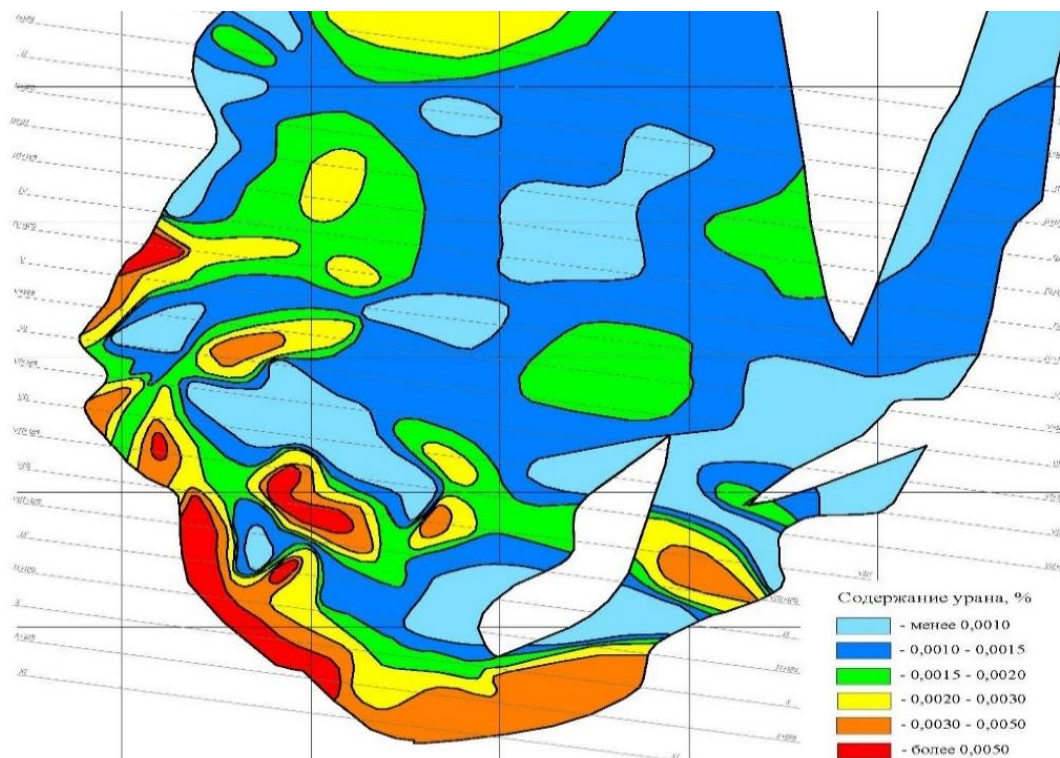


Рисунок 3.5 – Схема распределения урана в угольном пласте М

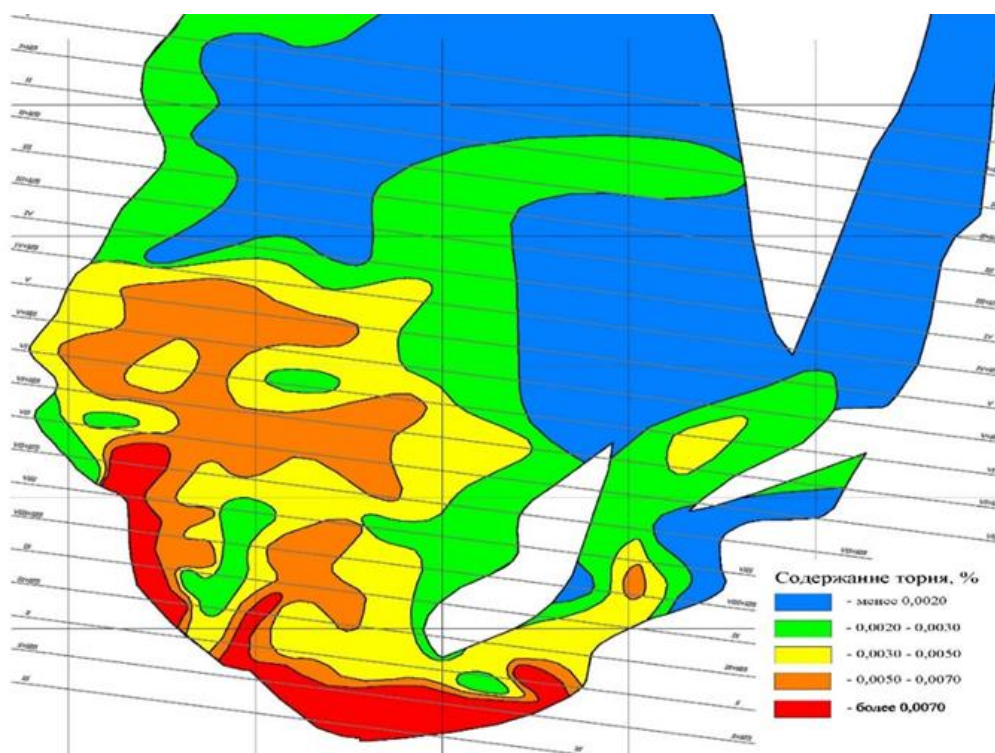


Рисунок 3.6 – Схема распределения тория в угольном пласте М

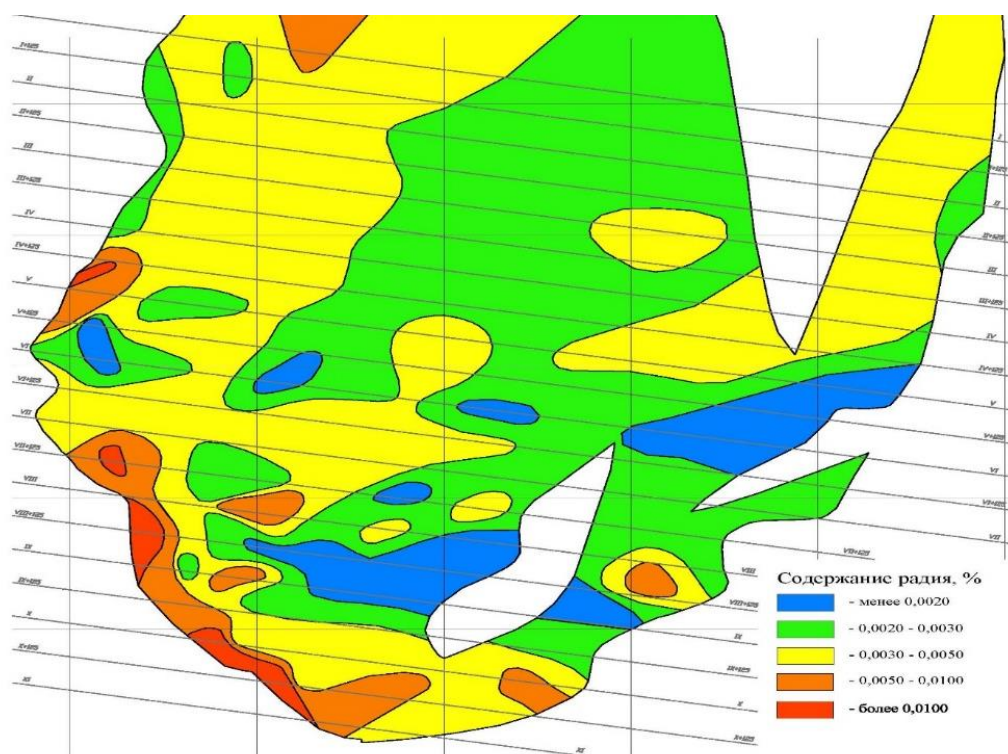


Рисунок 3.7 – Схема распределения радия в угольном пласте М

Анализ распределения радиоактивных элементов показывает, что прослеживается закономерное изменение содержаний урана, радия и тория с юго-запада на северо-восток. Максимальные содержания радионуклидов отмечаются непосредственно вблизи бортовой части. По мере удаления от борта происходит снижение содержаний урана, радия и тория до фоновых. Интерпретация данных содержания тория в угольном пласте М показывает, что торий, в сравнении с ураном, распределяется практически равномерно на всю мощность пласта.

Созданная геологическая база данных в программном комплексе MineFrame позволила произвести автоматизированный подсчет остаточных запасов радиоактивных углей для составления детального прогноза отработки участков локализации уранового оруденения.

Оценка запасов производилась по наиболее достоверно выделенным участкам, в пределах площадей с наиболее сгущенной разведочной сетью, на которых были проведены доразведка, детальная и эксплуатационная разведка. Оконтуривание подсчетных блоков производилось с учетом кондиций,



утвержденных Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых [90].

Для отнесения запасов к сорту комплексный использовали следующие критерии:

- бортовое содержание урана– 0,01%;
- мощность сечений не ограничивается;
- минимальная мощность комплексных и потребительских углей, выделенных среди энергетических, равна 2 метрам;
- максимальная мощность энергетических углей, включаемых в комплексные и потребительские, не должна превышать 3 метра [123, 124].

В основе методики расчета остаточных запасов радиоактивных углей лежит традиционный способ подсчета запасов методом геологических разрезов. Разрезы могут быть как вертикальные, так и горизонтальные. Геологические разрезы разделяют объект (модель угольного пласта) на отдельные участки. Запасы полезного ископаемого определяются суммой запасов, вычисленных по каждому блоку. Запасы отдельных блоков рассчитываются в зависимости от их формы: по формуле призмы, усеченной пирамиды, клина или конуса. Результаты подсчета приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты подсчета запасов комплексных углей по состоянию на 01.01.2016г.

Блок	Пласт	S, тыс.м <sup>2</sup>	m <sub>ср</sub> , м	V, тыс.м <sup>3</sup>	γ, т/м <sup>3</sup>	Q, тыс.т.	K	Запасы комплекс- ного угля, тыс.т.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Всего по месторождению								
1К-С1	М	23,5	33,7	792,4	1,28	1014,3	0,3	273,9
2К-С1		20,0	3,1	62,0	1,3	80,6	1,0	80,6
3К-С1		3,6	3,1	11,2	1,25	14,0	0,2	2,7
7К-С1	М1	18,9	13,1	247,6	1,38	341,7	1,0	341,7
8К-С1		4,5	3,3	14,9	1,24	18,5	1,0	18,5

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9К-С1	М1	12,5	2,3	29,0	1,24	36,0	1,0	36,0
10К-С1		22,5	8,7	195,5	1,24	242,5	0,3	72,7
12К-С1	М3	53,4	6,5	344,4	1,24	427,1	1,0	427,1
13К-С1	В	2,8	11,3	31,0	1,35	41,9	1,0	41,9
Итого						2216,4		1294,9
В том числе в контуре разреза								
1К-С1	М	23,5	33,7	792,4	1,28	1014,3	0,3	273,9
2К-С1		20,0	3,1	62,0	1,3	80,6	1,0	80,6
3К-С1		3,6	3,1	11,2	1,25	14,0	0,2	2,7
8К-С1	М1	4,5	3,3	14,9	1,24	18,5	1,0	18,5
9К-С1		12,5	2,3	29,0	1,24	36,0	1,0	36,0
10К-С1		22,5	8,7	195,5	1,24	242,5	0,3	72,7
12К-С1	М3	53,4	6,5	344,4	1,24	427,1	1,0	427,1
13К-С1	В	2,8	11,3	31,0	1,35	41,9	1,0	41,9
Итого						1874,7		953,6
Вне технических границ разреза								
7К-С1	М1	18,9	13,1	247,6	1,38	341,7	1,0	341,7
Итого						341,7		341,7

*Примечание:*  $S$  – площадь подсчётного блока;  $m_{\text{ср}}$  – средняя мощность угольного пласта;  $V$  – объем подсчётного блока;  $\gamma$  – объемный вес угля;  $Q$  – объем запасов угля.

По данным расчета объем остаточных запасов углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов составил 1294,9 тыс. тонн, в том числе в контуре разреза 953,2 тыс. тонн и вне технических границ отработки 341,7 тыс. тонн.

Соотношение доли распределения комплексных углей по пластам от суммарных запасов месторождения в контуре разреза по состоянию на 01.01.2016 г приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Распределение комплексного угля по пластам по состоянию на 01.01.2016 г

Пласт	Общие запасы угольной массы, тыс. т	В том числе комплексного угля	
		тыс. т	%
М	40067,2	357,1	0,89
М1	3912,8	127,2	3,2
М2	2021,7	---	---
М3	6785,5	427,1	6,2
В	836,1	41,9	5,0
Всего:	53623,3	953,2	1,8

Следовательно, доля запасов урансодержащих углей в контуре разреза составляет 1,8 % от суммарных запасов месторождения.

Для изучения корреляции контрастности урана и продуктов его распада были проведены исследования изменчивости радиоактивного равновесия остаточных запасов. В таблице 3.5 приведены данные средних содержаний радионуклидов.

Таблица 3.5 – Концентрация радионуклидов в остаточных запасах углей месторождения

Классы содержаний, %	Объем запасов, тыс. т.	Среднее содержание U, %	Активность радионуклидов, Бк/кг	
			Th-232	Ra-226
< 0,001	18653,0	0,0006	36,9	64,4
0,001- 0,010	33675,4	0,0030	65,7	110,2
> 0,010	1294,9	0,0310	107,5	745,2
среднее		0,0028	56,7	109,6

На основании полученных данных (таблица 3.5) был произведен расчет коэффициента радиоактивного равновесия между ураном, радием и торием (таблица 3.6). Было установлено, что в среднем коэффициент радиоактивного равновесия не превышает 1,0. Следовательно, при проведении контроля качества добываемых углей, для получения наиболее достоверных данных о содержании естественных радионуклидов в добываемых углях, можно продолжать

использовать гамма – метод опробования, как базовый.

Таблица 3.6 – Коэффициенты радиоактивного равновесия между ураном и продуктами его распада

Классы содержаний урана в сортах угля, %	Коэффициенты радиоактивного равновесия между ураном и продуктами его распада	
	Th-230	Ra-226
Потребительский (менее 0,001)	1,88	1,07
Энергетический (0,001–0,01)	1,46	0,83
Комплексный (более 0,01)	3,7	0,54
Среднее	1,6	1,0

На базе программы Microsoft Excel был проведен корреляционный анализ зависимости содержания урана от радия и урана от тория. По предложенным линиям тренда были установлены следующие зависимости:

- линейная зависимость содержания урана от радия (рисунок 3.8);
- логарифмическая зависимость содержания урана от тория (рисунок 3.9).

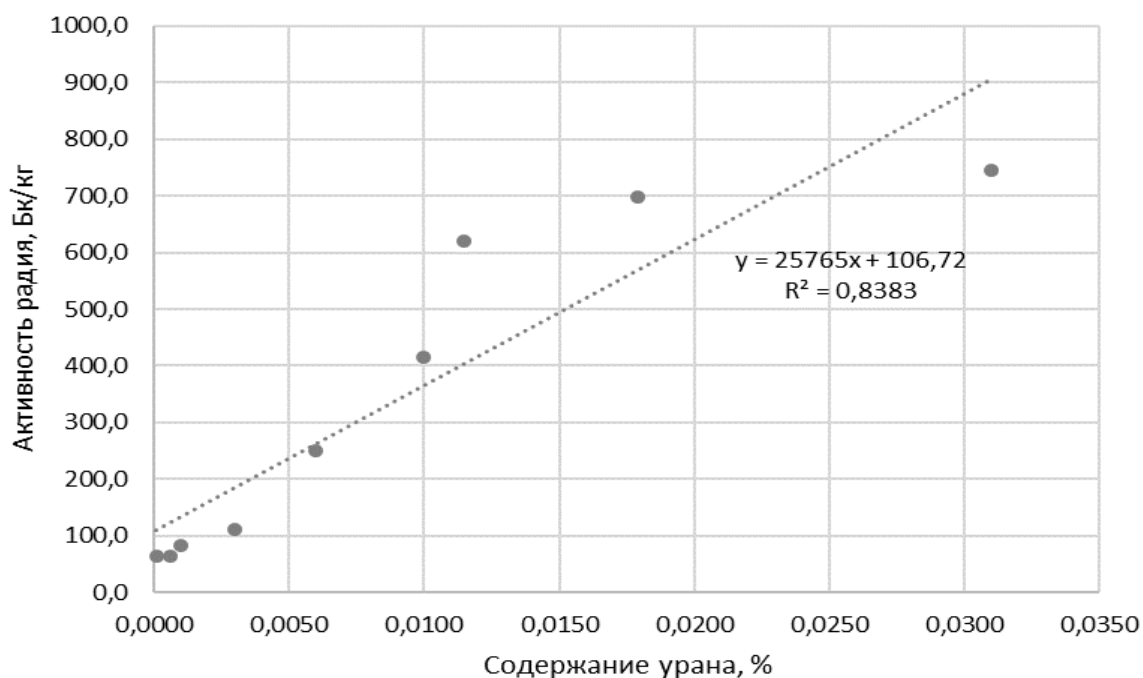


Рисунок 3.8 – График зависимости содержания урана от радия

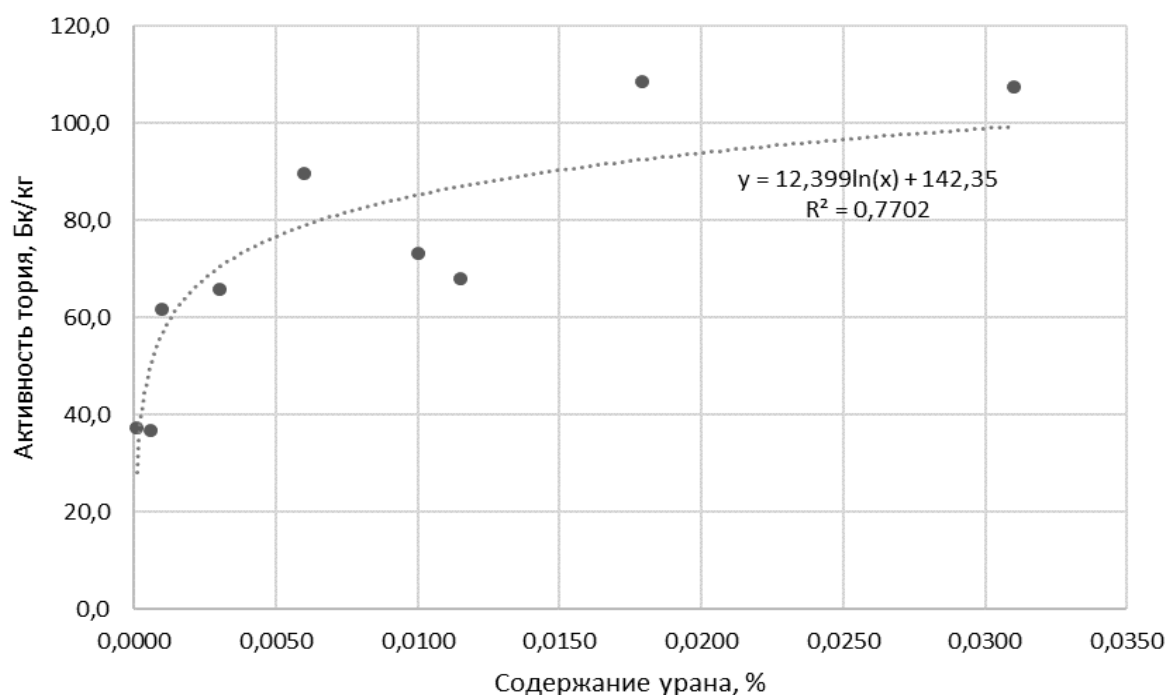


Рисунок 3.9 – График зависимости содержания урана от тория

При проведении регрессионного анализа зависимости содержания урана от радия было установлено, что параметры модели на 83,8 % зависимы между собой, при этом четко прослеживается весомость радия над ураном (коэффициент - 0,0020). Результаты статистической обработки приведены на рисунке 3.10.

Регрессионная статистика						
Множественный R	0,915579535					
R-квадрат	0,838285885					
Нормированный R-квадрат	0,815183869					
Стандартная ошибка	0,004376855					
Наблюдения	9					
Дисперсионный анализ						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
Регрессия	1	0,000695131	0,000695131	36,286265	0,000529553	
Остаток	7	0,000134098	1,91569E-05			
Итого	8	0,000829229				
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
Y-пересечение	-0,002015135	0,002340741	-0,860896451	0,4178044	-0,007550108	0,003519837
Переменная X 1	3,25365E-05	5,40131E-06	6,023808165	0,0005296	1,97644E-05	4,53085E-05

Рисунок 3.10 - Результаты статистической обработки зависимости содержания урана от радия

Опираясь на полученные данные можно сделать вывод о том, что в углях потребительского и энергетического качества прослеживается незначительное содержание урана. С другой стороны, для комплексных углей Уртуйского месторождения характерно наличие избытка урана по отношению к продуктам его распада, что свидетельствует о вторичном генезисе уранового оруденения.

Применение процесса трехмерного цифрового моделирования, на базе программного комплекса MineFrame, позволило с высокой долей вероятности произвести оценку остаточных запасов углей сорта комплексный (содержание урана более 0,010 %) и площадного размещения радиоактивных углей, на основе новых данных, полученных в процессе анализа результатов разведки и эксплуатации. Полученные трехмерные каркасные и блочные модели угольных пластов могут быть использованы при проведении планирования горных работ, выбора способа отработки комплексных углей для проведения их качественной расщипки [122].

### **Выводы:**

1. Разработанная трехмерная цифровая модель угольных пластов, отражающая пространственное расположение участков угольных пластов с различным содержанием естественных радионуклидов, позволяет детально оконтурить участки углей различных сортов, произвести анализ площадного и объемного размещения радиоактивных углей и уже на этапе планирования горных работ определить варианты выемки углей.

2. Проведены исследования изменчивости радиоактивного равновесия остаточных запасов Уртуйского бурогоугольного месторождения. На основании полученных данных была установлена корреляционная связь между основными источниками радиоактивного излучения (ураном, радием и торием), позволяющая определить суммарную активность углей в пересчете на условный уран.

3. По результатам оценки качественных характеристик неотработанных запасов комплексных углей, были сделаны выводы, что по своему внешнему виду и техническим свойствам комплексные угли не отличаются от энергетических и

потребительских сортов, границы их распределения определяются только по результатам химического и радиометрического опробования. Следовательно, комплексные угли месторождения могут быть использованы для сжигания на Краснокаменской ТЭЦ, после проведения их предварительной расшихтовки для исключения вредного влияния на окружающую среду.

## **Глава 4. Рекомендации по совершенствованию технологических процессов добычи, хранения и отгрузки угольной продукции Уртуйского бурогоугольного месторождения на основе данных экологического мониторинга по радиационному фактору**

### **4.1. Планирование способа выемки углей по сортам**

В соответствии с планом развития горных работ Разрезууправления «Уртуйское» на перспективу до 2023 года, календарным планом отработки угля и вскрыши подлежит отработка всех остаточных запасов ураносодержащих углей блоков: 1К-С1, 2К-С1, 8К-С1, 9К-С1, 10-К-С1, 12К-С1 и 13К-С1, попадающих в контур ведения горных работ.

Поэтому процесс планирования горных работ при вовлечении в отработку углей сорта комплексный – это одна из наиболее важных и сложных задач, требующая многовариантного расчета количественных и качественных показателей угольной продукции в процессе реализации производственной программы горнодобывающего предприятия. При комплексном подходе к данному вопросу можно произвести более качественную отработку месторождения (в полном объеме использовать минеральное сырье) и избежать заражение окружающей среды радионуклидами [122].

Использование результатов трехмерного цифрового моделирования при проведении планирования выемки угольных пластов, подробно описанных в главе 3, позволяет решить данные вопросы, внести необходимые изменения или рекомендации, выбрать оптимальные параметры в технологии ведения горных работ на всех этапах добычи углей.

В таблице 4.1 приведен календарный график отработки ураноносных углей с учетом погашения. Данная информация получена после проведения долгосрочного планирования ведения горных работ, с помощью применения специальных инструментов программного комплекса MineFrame с использованием трехмерной цифровой модели угольных пластов.



Таблица 4.1– Календарный график отработки ураноносных углей с учетом погашения, тыс. тонн

Блок	Запасы комплексного угля	Фактические данные			Планируемые данные				
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1К-С1	273,8								
2К-С1	80,6					4	76,6		
3К-С1	2,7		2,2						
8К-С1	18,5								18,5
9К-С1	36,0			15,3	20,7				
10К-С1	72,6	51,1	1,7	19,8					
12К-С1	427,1	107,8	3,3	100	216				
13К-С1	41,9							6,4	35,5
ИТОГО	953,2	159,4	7,2	135,1	256,9	207,7	108,8	9,9	68,2

На основе полученных данных можно проследить, что основная доля запасов ураноносных углей будет подлежать выемке в период с 2016 по 2021 год. Стоит отметить, что всего в период с 2016 по 2023 год, при ежегодном объеме добычи угля от 3 000 тыс. тонн до 3 500 тыс. тонн, суммарно будет добыто 25 000 тыс. тонн угля, что составляет 47% остаточных балансовых запасов месторождения, при этом доля комплексных углей составит 3,8 %.

На первом этапе планирования способа выемки угля по сортам производится оценка качественных характеристик добываемых углей с составлением шихты. Проведение оценки на базе применения трехмерной цифровой модели угольных пластов в программном комплексе MineFrame, возможно с использованием двух способов расчета:

1. По блочной модели, в основе которого лежит метод дистанционного взвешивания.

2. Через метро-проценты, в основе которого лежит геометрический (средневзвешенный) метод подсчета.

Если расчет производится по блочным моделям геологических тел, то формируется временная блочная модель выемочной единицы, параметры которой обеспечивают создание блочной модели с числом мини блоков не менее 1000 штук.

Расчет объема ( $V_k$ ) и средних значений значение содержания полезного компонента ( $P_k$ ) по каждой группе блоков, осуществляется по формулам 4.1 и 4.2.

$$V_k = \sum_{i=1}^N v^b, \quad (4.1)$$

$$P_k = \sum_{i=1}^N \frac{p_i^b \times v^b}{V_k}, \quad (4.2)$$

где  $v^b$  – объем мини блока (так как все блоки имеют равные размеры, их объемы одинаковы);

$N$  – число мини блоков данной группы;

$p_i^b$  – содержание полезного компонента в мини блоке.

При использовании расчета методом «Метро-проценты», подсчет сводится к учету всех проб, попавших в границы выемочной единицы. Для каждого рудного тела среднее содержание определяется по формуле 4.3.

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \times L_i}{\sum_{i=1}^N L_i}, \quad (4.3)$$

где  $p_i$  – содержание полезного компонента в  $i$ -ой пробе;

$L_i$  – длина  $i$ -ой пробы;

$N$  – число проб, участвующих в расчете.

Результаты расчетов сводятся в таблицу, которая прилагается к плану горных работ.

Пример расчета шихты угля приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Пример расчета шихты угля

Гор.	Угольный блок	Объем угля, тыс. т.	$A^d$ , %	$Q_t^r$ , ккал/кг	$C_u$ , %	в т. ч. по сортам					
						П.	$C_u$ , %	Э.	$C_u$ , %	К.	$C_u$ , %
600	31-C1	18,7	25,5	3327	0,0196			7,1	0,0043	11,6	0,0289
576	27-C1	28,1	19,5	3473	0,0024			28,1	0,0024		
	31-C1	83,2	16,0	3696	0,0072	49,8	0,0009	17,2	0,0052	16,2	0,0285
564	11-C1	36,1	17,9	3608	0,0016	18,2	0,0008	17,9	0,0024		
	27-C1	53,8	14,2	3844	0,0009	53,8	0,0009				
	31-C1	25,4	12,3	3933	0,0005	25,4	0,0005				
552	11-C1	41,3	18,6	3576	0,0011	20,3	0,0006	21	0,0015		
492	6-B	73,4	11,9	3820	0,0004	73,4	0,0004				
		360,0	15,9	3701	0,0034	240,9	0,0007	91,3	0,0029	27,8	0,0287

*Примечание:*  $A^d$  – зольность в пересчете на сухое состояние;  $Q_t^r$  – низшая теплота сгорания на рабочее состояние;  $C_u$  – содержание урана в угле; П., Э., К. – распределение угля по сортам потребительский, энергетический и комплексный соответственно.

На основе представленных данных о шихте углей (таблица 4.1), можно произвести расстановку горного оборудования с учетом проведения валовой и селективной выемки углей по сортам в разрезе [122].

Валовая выемка углей – это способ добычи на такую мощность пласта, которую обеспечивают параметры горнотранспортного оборудования, без выделения породных пропластков, включений и т.д. Применяется при отработке пластов, когда нет необходимости в проведении сортировки, так как угли соответствуют одному сорту.

Селективная выемка предопределяет особый порядок ведения горных работ. На основе которого производится раздельное извлечение из недр каждой разновидности (сорта) полезных ископаемых или полезных ископаемых и пустых пород.

Наиболее сложными участками отработки являются угольные блоки на горизонтах, где фиксируется наличие смешанных сортов углей, резкий переход от одного сорта к другому, а именно: +600 м, +576м, + 564м, +552м. На данных участках будет произведена селективная выемка угольной массы. На рисунке 4.1. представлена технологическая схема селективной выемки углей по блокам с учетом сортности.

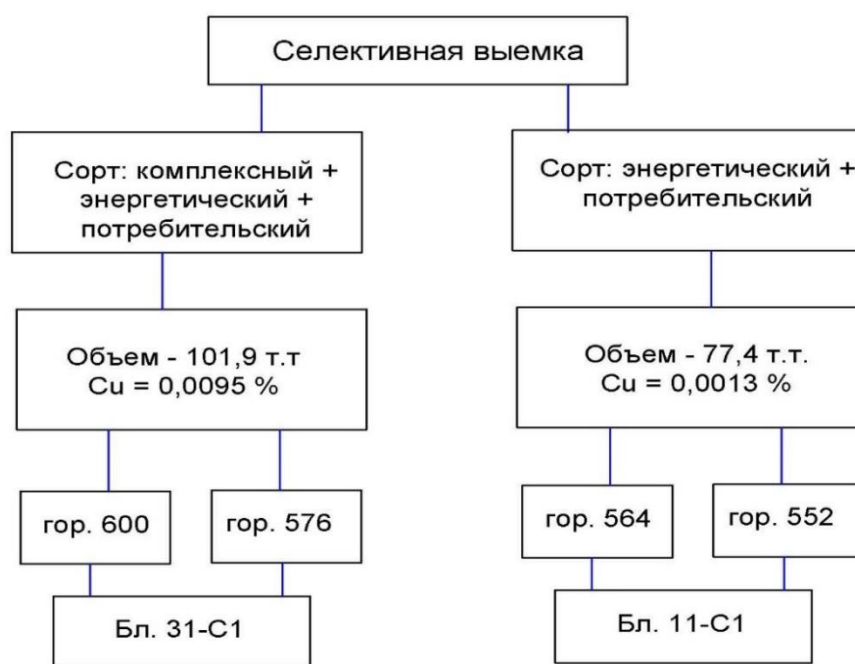


Рисунок 4.1 – Технологическая схема селективной выемки

При селективной выемке угля производится отработка с последующей сортировкой угля на радиометрической станции и подготовкой шихты на штабелях угольного склада. Схема распределения грузопотоков по сортам подробно рассмотрена в Главе 1.

Валовая выемка, согласно представленным расчетам шихты угля, может быть применена на горизонтах +576м, +564м, +492м. Технологическая схема валовой выемки углей по блокам с учетом сортности представлена на рисунке 4.2.

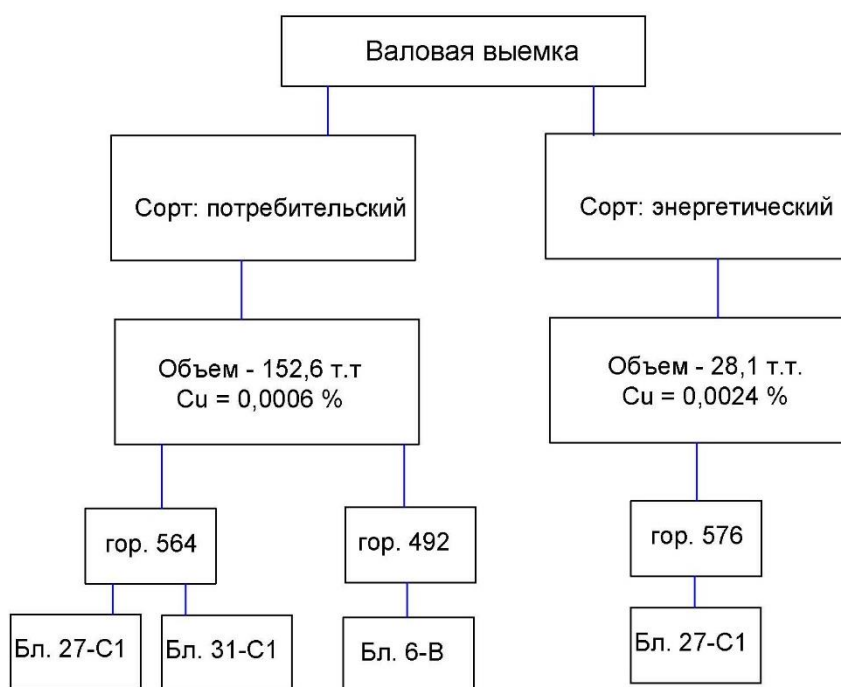


Рисунок 4.2 – Технологическая схема валовой выемки

Такой вариант планирования способов отработки разных сортов угля может применяться при разработке месторождений любой мощности с различными углами падения при условии выдержанности распространения отдельных сортов углей по простиранию и падению.

#### **4.2. Усовершенствование технологической схемы подготовки углей заданного радиационно-гигиенического качества**

Технологическая цепочка отработки углей включает несколько этапов:

1) Оценка запасов угля с повышенным содержанием естественных радионуклидов.

2) Качественное планирование очистных работ с разделением добываемых углей по сортам: потребительский, энергетический и комплексный.

3) Выбор наиболее приемлемых способов выемки углей по сортам с учетом характера залегания угольных пластов.

4) Разделение угольной массы на сорта с использованием радиометрических методов контроля качества и сортировки.

5) Формирование штабелей угольного склада с учетом радиационно-гигиенических показателей.

На рисунке 4.3 представлена усовершенствованная схема технологии отработки углей с повышенным содержанием радионуклидов.

Как видно из приведенной выше схемы, основой успешного вовлечения в отработку комплексных углей является:

- применение достоверных сведений о характере залегания и качестве угля при проведении планирования горных работ;
- применение радиометрического контроля на всех технологических этапах ведения горных работ от очистной выемки до отгрузки товарного топлива;
- подготовка шихты углей заданного радиационно-гигиенического качества на штабелях угольного склада.

С целью исключения негативного влияния на окружающую природную среду, соблюдения требований [85] при использовании комплексных углей на всех этапах технологической цепочки от добычи до реализации должны выполняться следующие мероприятия:

1. Отдельное извлечение и складирование комплексных углей на штабеле угольного склада, для исключения случайного попадания углей с повышенным значением естественных радионуклидов и заражения товарного угольного топлива, отправляемого на реализацию сторонним потребителям.

2. В зависимости от содержания урана в комплексном угле, производить контроль объемов, используемых для расшихтовки, при этом содержание урана в исходном топливе не должно превышать расчетного значения допустимых содержаний урана в углях, поставляемых на Краснокаменскую ТЭЦ.

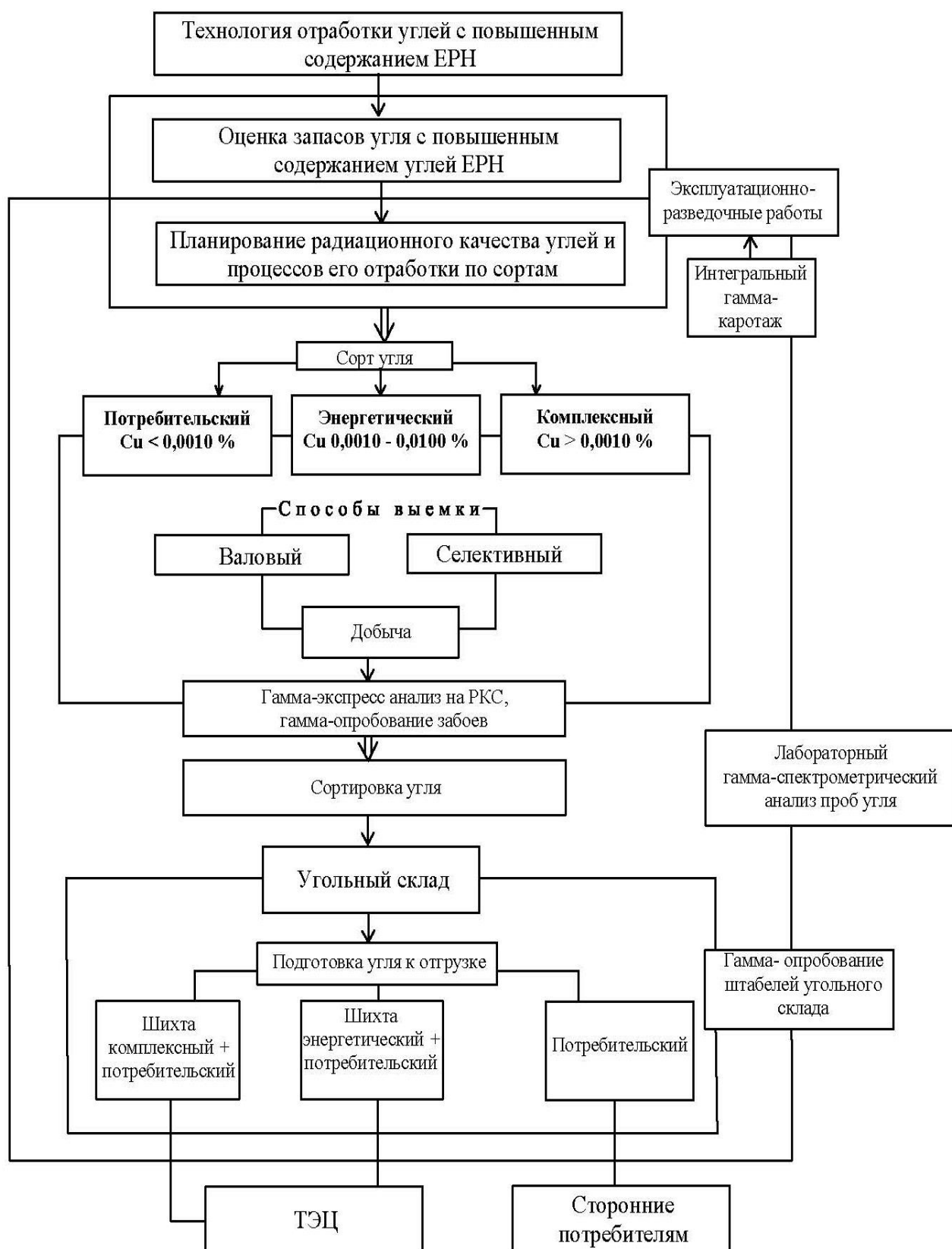


Рисунок 4.3 – Технологии отработки углей с повышенным содержанием ЕРН

В основе расчета допустимых содержаний урана в углях, поставляемых на Краснокаменскую ТЭЦ лежит величина утвержденного ПДВ размера допустимого количества урана в планируемой к выбросу золе 3,1 т/год, степень эффективности улавливания золы – унос, а также коэффициент обогащения золы к урану. Пример укрупненного расчета допустимого содержания урана в добываемых углях, поставляемых для сжигания на ТЭЦ, при полной производительности разреза приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Расчет допустимого содержания урана в добываемых углях при полной производительности разреза

№ п/п	Параметр	Ед. изм.	Значение параметра	Обоснование
1	2	3	4	5
1	Планируемый объем сжигаемого угля	т	1380000	Данные среднесрочного планирования
2	Планируемая рабочая зольность угля	%	15,0	Среднее значение шихты угля на 2016-2023г.г.
3	Средний коэффициент образования золы	-	0,835	По итогам 2018 года
4	Среднее содержание горючих в уносе	%	5	Данные ТЭЦ
5	Планируемая эффективность электрофильтров	-	0,96	По итогам 2018 года
6	Планируемый выброс золы в атмосферу	т	7277,7	$1380000 \cdot (15,0 \cdot 0,835) \cdot (1 - 0,95) / (100 - 5)$
7	Допустимое количество урана в планируемой к выбросу золе	т	3,1	ПДВ
8	Среднее содержание урана в планируемой к выбросу золе	%	0,0426	$3,1 / 7277,7$
9	Коэффициент обогащения золы к урану	-	7	Среднее значение за 2010-2017г.г.
10	Среднее содержание урана в планируемом объеме сжигаемого угля	%	0,0061	$0,0426 / 7$

При соблюдении ограничивающих условий, в части эффективности улавливания золы-унос на Краснокаменской ТЭЦ в 96 %, содержание урана на заданный расчетный период, исходя из качественных характеристик угля, не должно превышать 0,0061 %.

Для формирования штабелей угольного склада заданного энергетического



качества (с содержанием урана до 0,0061 %) при вовлечении в отработку углей сорта комплексный был произведен корреляционный анализ, помогающий определить зависимость необходимого объема шихты угля сорта потребительский от содержания урана в исходном угле сорта комплексный. Результаты статистической обработки представлены на рисунке 4.4.

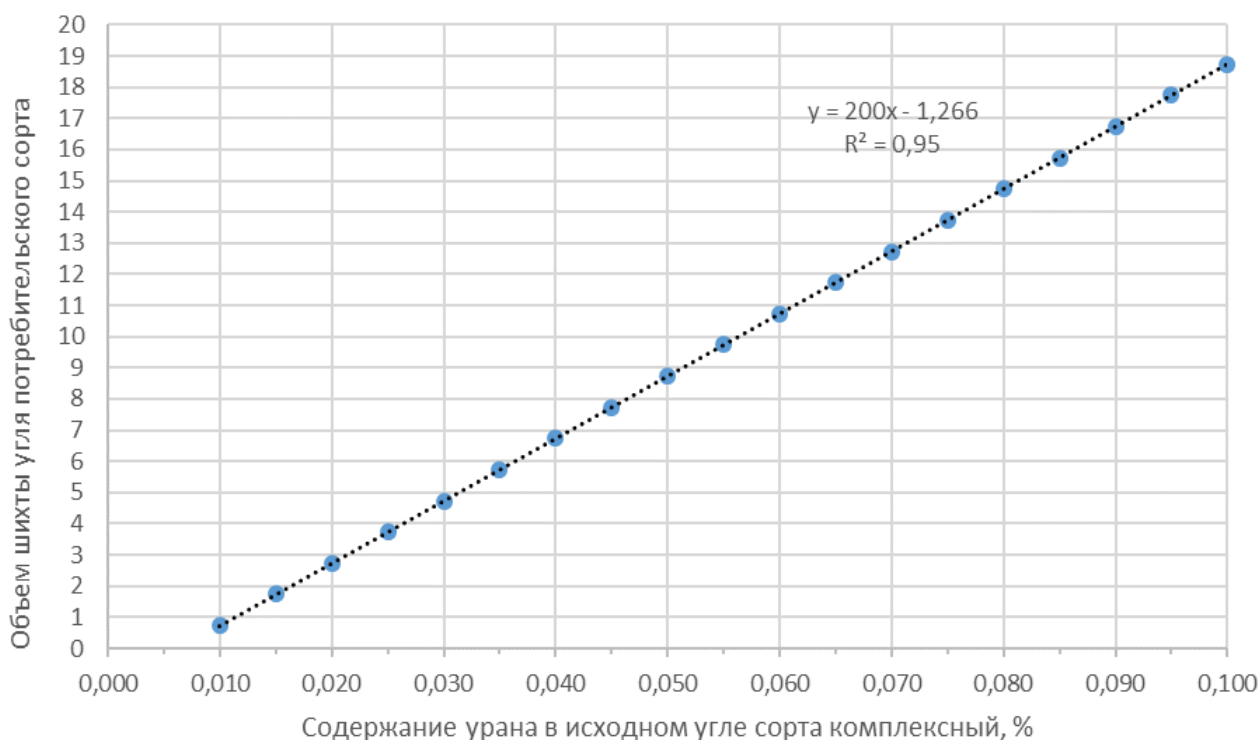


Рисунок 4.4 – График зависимости содержания урана в исходном угле сорта комплексный от необходимых объемов шихты угля потребительского сорта

Коэффициент корреляции составляет 0,95, что указывает о линейной зависимости между содержанием урана в исходном угле сорта комплексный и необходимыми объемами шихты угля сорта потребительский.

Укрупненный расчет необходимых объемов потребительских углей с содержанием урана до 0,0010 % для проведения расшихтовки неотработанных запасов комплексных углей до состояния энергетических с содержанием урана не более 0,0061 % приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Шихта комплексных углей до состояния энергетических

Запасы комп. угля, тыс. т.	Содержание урана, %	Необходимый объем потребительского угля с содержанием урана до 0,0009 %	Объем энергетического угля, тыс. т.
273,9	0,0198	741,0	1014,9
80,6	0,0219	251,3	331,9
2,7	0,0167	5,6	8,2
18,5	0,0251	69,2	87,6
36,0	0,0117	40,2	76,2
72,7	0,0133	104,1	176,8
427,1	0,0349	2420,2	2847,3
41,9	0,0531	386,7	428,6
953,2	0,0275	4018,3	4971,5

Технологическая схема подготовки углей заданного радиационно-гигиенического качества представлена на рисунке 4.5.

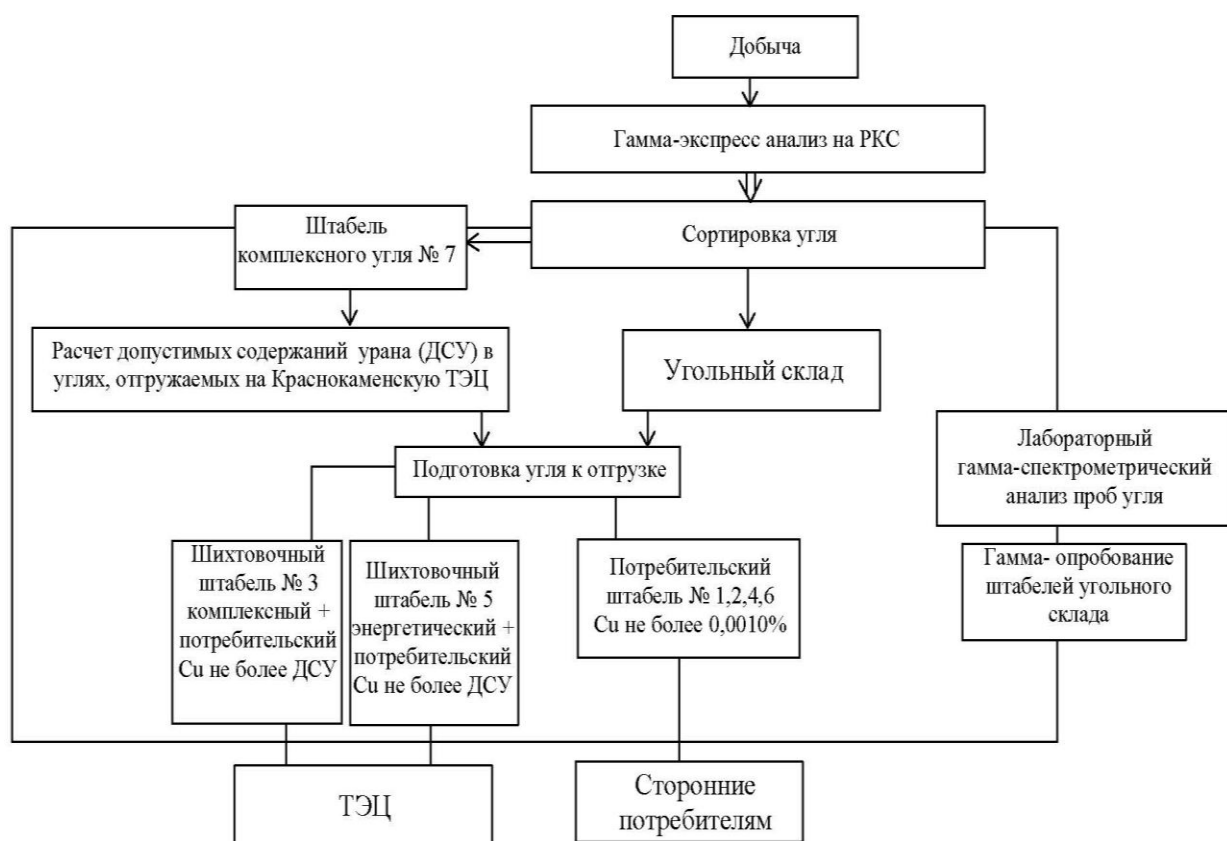


Рисунок 4.5 – Технологическая схема подготовки углей заданного радиационно-гигиенического качества

В настоящее время на угольном складе Разрезууправления «Уртуйское» в постоянной эксплуатации находятся 7 штабелей угольного склада (рисунок 4.6).

Объем накопления угля на штабелях угольного склада определяется исходя из потребности реализации товарного топлива, но не более чем определенный паспортный объем штабеля. В таблице 4.5 отражены паспортные объёмы штабелей угольного склада.

Таблица 4.5 – Паспортные объёмы штабелей угольного склада

Номер штабеля	Фракция	Назначение	Максимальная вместимость, тыс. т.
Штабель №1	0-300	Потребительский	26,1
Штабель №2	0-50 (0-300)	Потребительский	12,7
Штабель №3	0-300	Шихтовочный (комплексный+потребительский)	36,2
Штабель №4	0-300	Потребительский	9,1
Штабель №5	0-300	Шихтовочный (энергетический+потребительский)	27,3
Штабель №6	0-50	Потребительский	19,7
Штабель №7	0-300	Комплексный	18,9
Итого			150,0

При добыче угля и проведении гамма-экспресс анализа оператором РКС на склад готовой продукции поставляются угли 1, 2 и 3 сорта, где они складываются в отдельные угольные штабели.

По принятой системе сортировки углями 1 сорта формируются штабели № 1,2,4,6. Данный уголь реализуется населению и частным организациям для сжигания в печах и котельных без ограничений.

Угли 2 сорта отгружаются на штабель № 5 угольного склада, при необходимости, уголь расшихтовывается с потребительским углем. Далее реализуется для сжигания на Краснокаменскую ТЭЦ.



Уголь 3 сорта расшихтовывается на штабеле № 3. Для этого на штабеле производится смешивание комплексных и потребительских углей, добываемых с различных забоев, с помощью оператора радиометрической контрольной станции. При невозможности проведения расшихтовки (отсутствии готовых к выемке потребительских углей) углем заданного качества, комплексный уголь складировается на штабеле № 7 для хранения с возможностью его использования в дальнейшем.

На рисунке 4.7 представлена схема формирования шихты на штабеле.

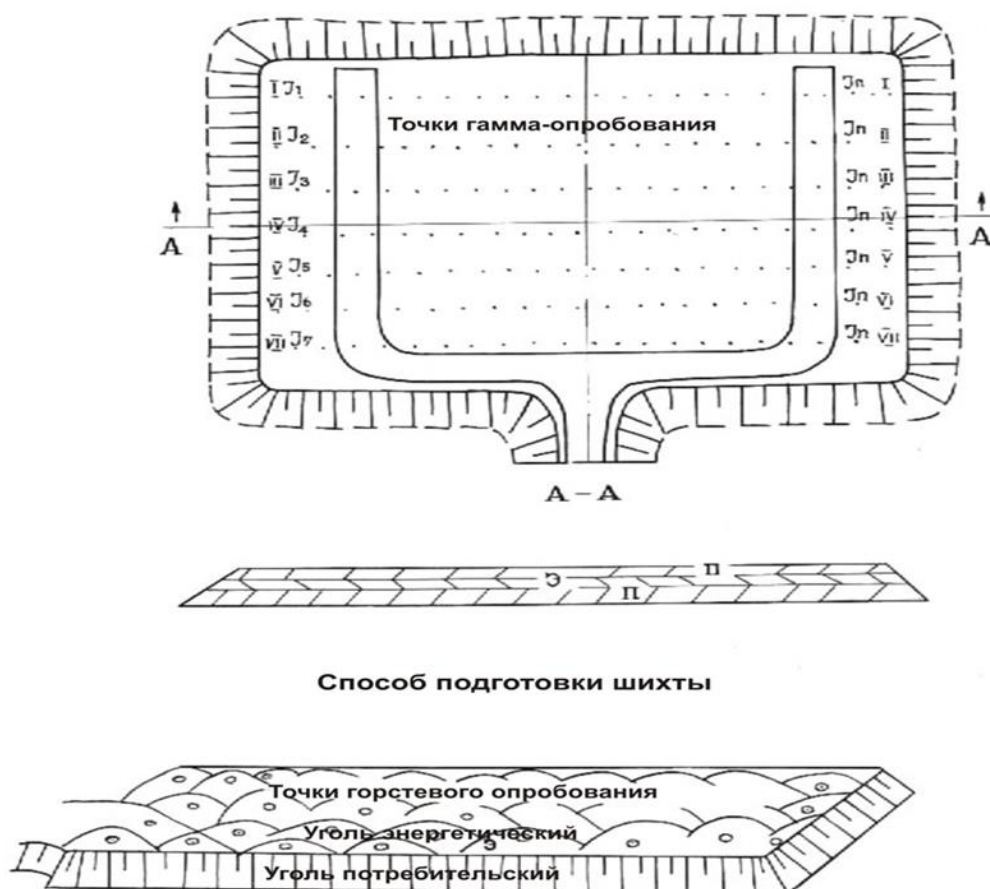


Рисунок 4.7 – Формирование шихты угля на штабелях по радиационным параметрам

Формирование шихты на штабелях производится по следующей схеме:

- сортировка угля при транспортировке с добычного забоя по радиационному качеству на РКС;

- расчёт соотношения объемов, необходимых для смешивания угля разных сортов на штабеле для соблюдения показателей допустимого содержания урана в добываемых углях (таблица 4.3);
- послойное формирование штабеля (рисунок 4.7);
- контроль радиационного качества угля при формировании штабеля для отгрузки. Методика проведения гамма-опробования на штабелях угольного склада подробно описана в главе 1;
- проведение контрольного горстегового опробования для проведения лабораторных исследований качественных и радиационных характеристик отгружаемой партии угля;
- подготовка паспорта качества отгружаемой партии угля с указанием санитарно – гигиенических характеристик (содержание радиоактивных элементов в Бк/кг).

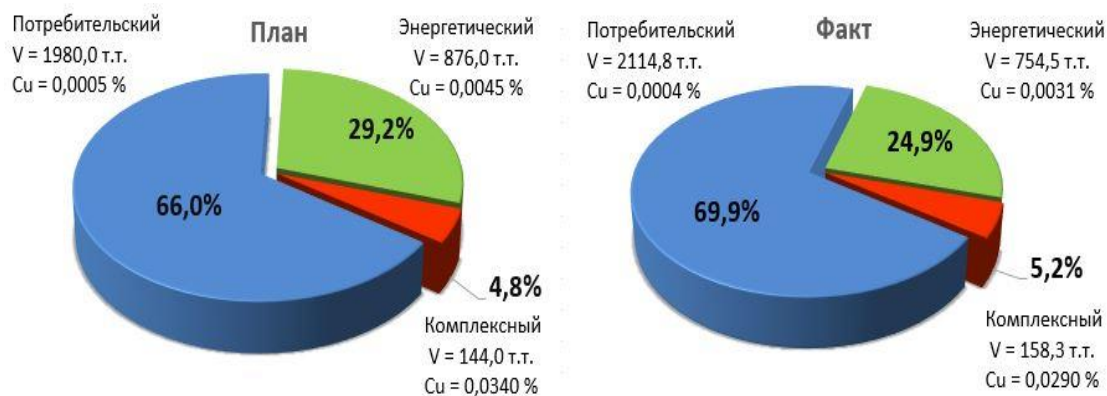
Соблюдение технологических этапов подготовки углей к реализации позволит не допустить отгрузку товарного топлива с превышением содержания урана по заданным направлениям.

#### **4.3. Оценка эффективности применения системы контроля и экологического мониторинга окружающей среды по радиационному фактору**

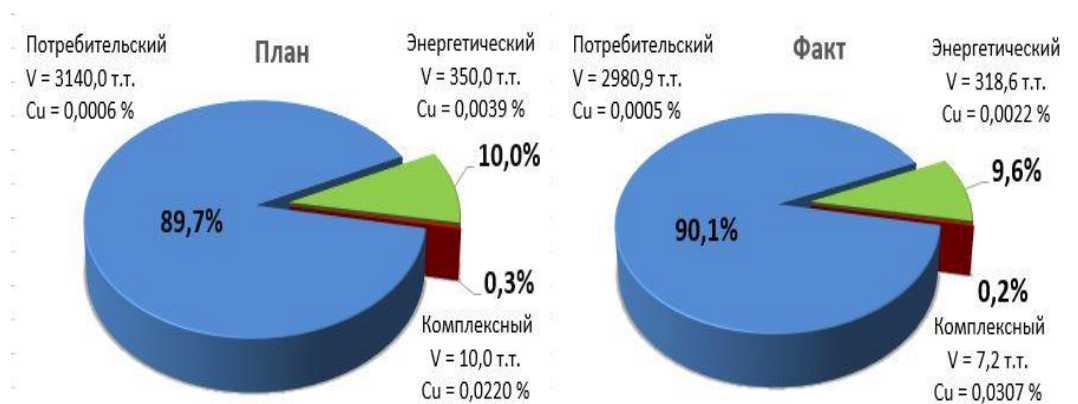
Оценкой эффективности применения предложенных системы контроля и экологического мониторинга служит обработка и анализ данных полученных при ведении горных работ [122].

Для оценки эффективности использования результатов трехмерного цифрового моделирования при проведении планирования выемки угольных пластов, способа сортировки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов произведен план-факторный анализ добычи угля за период отработки ураноносных углей с 2016 по 2018 год. Основные показатели распределения угольной массы на сорта представлены на рисунке 4.8.

## 2016 год



## 2017 год



## 2018 год

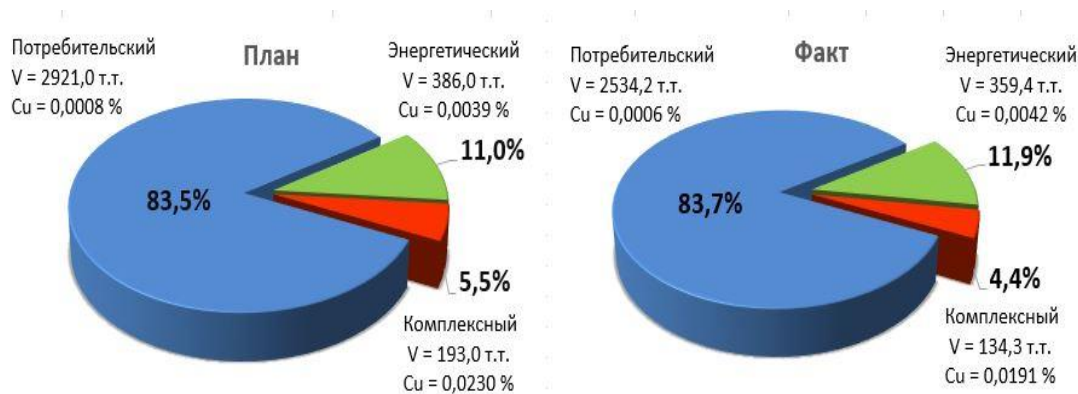


Рисунок 4.8 – План-факторный анализ добычи угля за период отработки ураноносных углей с 2016 по 2018 год

Анализ сопоставления результатов планирования и фактического ведения горных работ свидетельствует о высокой доли вероятности обеспечения процессов управления добычей минерального сырья.

Анализ данных мониторинга качества отгружаемой угольной продукции на Краснокаменскую ТЭЦ за период отработки месторождения с 2014 по 2018 годы, с учетом шихты из комплексных углей, приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Данные мониторинга качества отгружаемой угольной продукции на Краснокаменскую ТЭЦ за период отработки с 2014 по 2018 годы

Год	Уран, % (гамма экспресс- анализ)	$^{226}\text{Ra}$ , Бк/кг (проба)	$^{232}\text{Th}$ , Бк/кг (проба)	$A_{\text{эфф}}$ , Бк/кг угля	Доза облучения, мЗв/год (расчет)	$A_{\text{з.ш.}}$ , Бк/кг (проба)
2014	0,0007	81,5	24,6	125,5	480,4	341,8
2015	0,0006	69,79	35,77	128,3	430,3	311,7
2016	0,0007	73,64	36,33	132,9	452,2	327,1
2017	0,0008	144,47	52,56	224,8	862,9	617,3
2018	0,0015	159,8	72,53	266,1	973,2	701,5
Среднее значение	0,0009	105,8	44,3	175,5	639,8	459,9

Показатели гамма-экспресс анализа по урану за этот период в среднем составили 0,0009 %, радия ( $^{226}\text{Ra}$ ) -105,8 Бк/кг, тория ( $^{232}\text{Th}$ ) - 44,3 Бк/кг, а удельная эффективная активность угля ( $A_{\text{эфф}}$ ) –175,5 Бк/кг., удельная эффективная активность шлака ( $A_{\text{з.ш.}}$ ) не превышала 620 Бк/кг и в среднем составила – 500 Бк/кг, что соответствует 2 классу материалов по радиационной опасности [77]. По данным результатов исследования отмечено, основные контролируемые параметры не превышены, что свидетельствует о высокой эффективности применяемых методов сортировки углей по радиационным параметрам.

В процессе проведения исследования, была разработана система экологического мониторинга окружающей среды по радиационному фактору,



позволяющая на основе применяемой технологии обработки, дать оценку техногенной нагрузки на участок ведения горных работ в границах санитарно-защитной зоны предприятия. В зоне влияния источников эмиссии производились систематические наблюдения за следующими объектами окружающей природной среды: атмосферный воздух, подземные и дренажные (сточные) воды, почвенно-растительный покров, недра [122].

В таблице 4.7 сведены данные дозиметрического контроля качества атмосферного воздуха, проводимого в контрольных точках санитарно-защитной зоны территории разреза «Уртуйский» с 2014 по 2018 гг.

Таблица 4.7 – Результаты дозиметрического контроля качества атмосферного воздуха

Год	Место контроля	МЭД,мкЗв/ч		$\alpha$ -част/см <sup>2</sup> ×мин		$\beta$ -част/см <sup>2</sup> ×мин	
		результаты	среднее	результаты	среднее	результаты	среднее
2014	точка № 1	0,15 – 0,23	0,18	0,2 – 0,9	0,5	3,5 – 6,3	4,6
	точка № 2	0,16 – 0,23	0,19	0,2 – 1,0	0,6	3,2 – 7,4	5,0
	точка № 3	0,16 – 0,26	0,21	0,2 – 1,2	0,7	2,9 – 5,7	4,8
	точка № 4	0,16 – 0,24	0,20	0,2 – 1,1	0,6	3,2 – 6,3	4,6
2015	точка № 1	0,16 – 0,24	0,22	0,2 – 0,9	0,5	1,3 – 2,9	2,4
	точка № 2	0,13 – 0,32	0,19	0,2 – 0,9	0,6	2,8 – 6,1	4,2
	точка № 3	0,12 – 0,35	0,22	0,2 – 1,4	0,6	2,1 – 5,2	3,7
	точка № 4	0,09 – 0,32	0,20	0,2 – 1,4	0,7	2,1 – 4,2	3,1
2016	точка № 1	0,13 – 0,20	0,16	0,2 – 0,8	0,4	2,1 – 5,3	4,2
	точка № 2	0,15 – 0,19	0,16	0,3 – 0,9	0,7	3,6 – 7,8	4,8
	точка № 3	0,17 – 0,21	0,19	0,3 – 0,8	0,6	2,5 – 6,0	3,8
	точка № 4	0,16 – 0,20	0,18	0,4 – 1,1	0,8	3,9 – 6,6	4,6
2017	точка № 1	0,14 – 0,20	0,17	0,4 – 0,8	0,6	2,6 – 5,1	4,4
	точка № 2	0,13 – 0,21	0,19	0,5 – 0,9	0,7	3,1 – 6,3	5,1
	точка № 3	0,15 – 0,20	0,17	0,3 – 0,6	0,5	2,7 – 6,9	4,8
	точка № 4	0,13 – 0,22	0,18	0,3 – 0,8	0,6	2,9 – 7,2	5,6
2018	точка № 1	0,11 – 0,21	0,18	0,6 – 0,9	0,7	3,1 – 5,8	4,6
	точка № 2	0,18 – 0,27	0,24	0,4 – 1,2	0,9	4,4 – 6,9	6,2
	точка № 3	0,14 – 0,26	0,21	0,5 – 1,0	0,7	3,7 – 5,9	5,5
	точка № 4	0,16 – 0,23	0,19	0,3 – 1,1	0,8	3,8 – 6,5	5,7

Контроль атмосферного воздуха на содержание радионуклидов уранового ряда по суммарной альфа-активности показал, что среднее содержание радионуклидов уранового ряда в контрольных точках находится в пределах фоновых значений. Превышения выбросов естественных радионуклидов в атмосферу относительно разрешенных норм нет.

На основе полученных результатов замера, произведены расчеты и построены графики: закономерности изменения среднего значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона на открытой территории (рисунок 4.9), оценки индивидуальных годовых эффективных доз внешнего облучения ( $E_{\text{внешн.}}$ ) для персонала группы Б (рисунок 4.10), оценки индивидуальных годовых эффективных доз внутреннего облучения за счет изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов в атмосферном воздухе ( $E_{\text{вн.Рп}}$ ) для персонала группы Б (рисунок 4.11) и оценки эффективных доз внутреннего облучения за счет долгоживущих природных радионуклидов в атмосферном воздухе ( $E_{\text{вн.,инг.}}$ ) для персонала группы Б (рисунок 4.12) [110, 125].

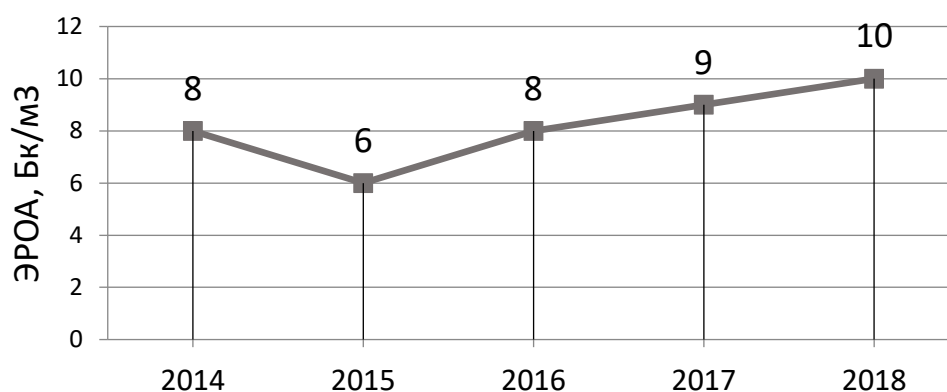


Рисунок 4.9 – График распределения среднего значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона

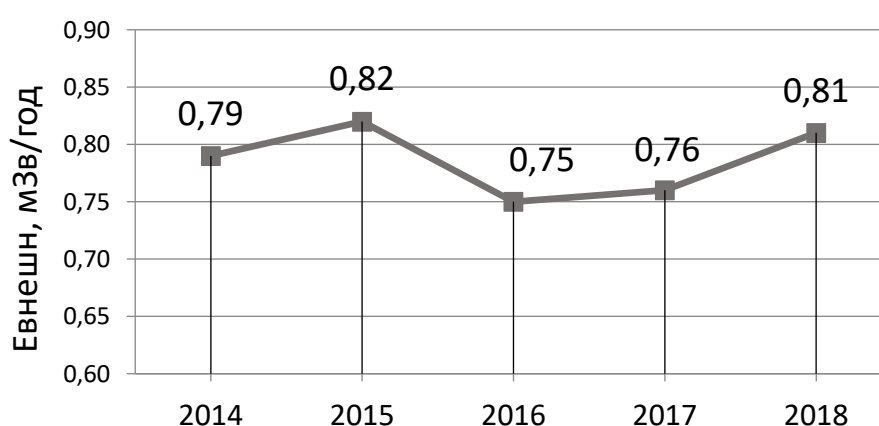


Рисунок 4.10 – График оценки индивидуальных годовых эффективных доз внешнего облучения ( $E_{\text{внешн.}}$ ) для персонала группы Б

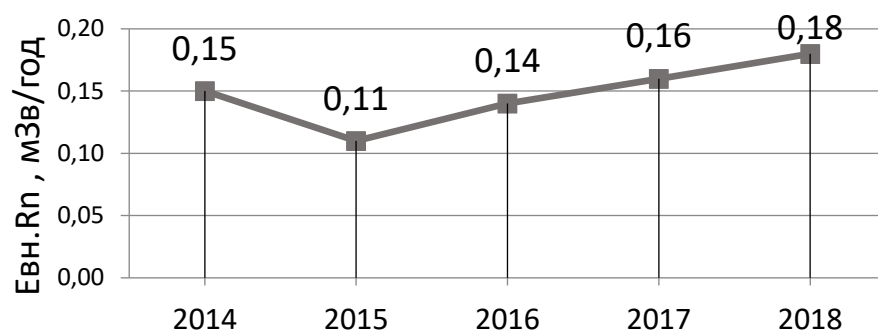


Рисунок 4.11 – График оценки индивидуальных годовых эффективных доз внутреннего облучения за счет изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов в атмосферном воздухе (Евн. Rn) для персонала группы Б

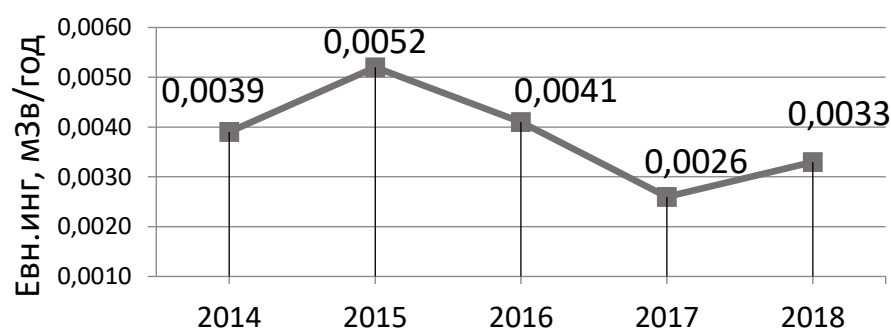


Рисунок 4.12 – График оценки эффективных доз внутреннего облучения за счет долгоживущих природных радионуклидов в атмосферном воздухе (Евн. инг.) для персонала группы Б

На основе данных расчетов, выполнена оценка индивидуальных эффективных доз облучения персонала предприятия за счет природных источников ионизирующего излучения (рисунок 4.13).

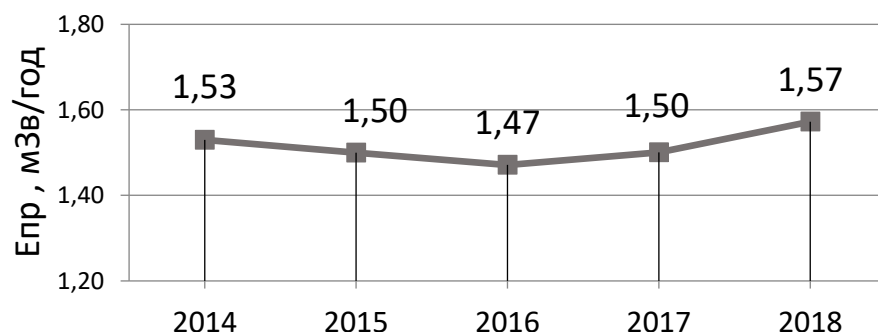


Рисунок 4.13 – График оценки индивидуальных эффективных доз облучения персонала предприятия за счет природных источников ионизирующего излучения

Средние значения доз облучения персонала группы Б по радиационным факторам в течение года, соответствующие при монофакторном воздействии эффективной дозе 5 мЗв за год при продолжительности работы 2000 ч/год, средней скорости дыхания 1,2 м<sup>3</sup>/ч и радиоактивном равновесии радионуклидов уранового и ториевого рядов, не превышают предел дозы, установленной [85, 108].

В период проведения наблюдений (2014-2018г.г.) при эксплуатации зумпфового карьерного водоотлива откачено 23,4 млн. м<sup>3</sup> воды. Порядка 5 % от общего объема откаченных дренажных вод, были использованы на собственные нужды предприятия, отстоявшаяся часть использовалась в системе технического водоснабжения ПАО «ППГХО». В данный период, было произведено существенное понижение уровня дренажных вод (рисунок 4.14).



Рисунок 4.14 – График производительности откачки и снижения уровня дренажных вод на разрезе «Уртуйский»

На рисунке 4. 15 отображены результаты контроля изменения содержания природного урана в пробах дренажных (сточных) вод от добычи углей сорта комплексный.

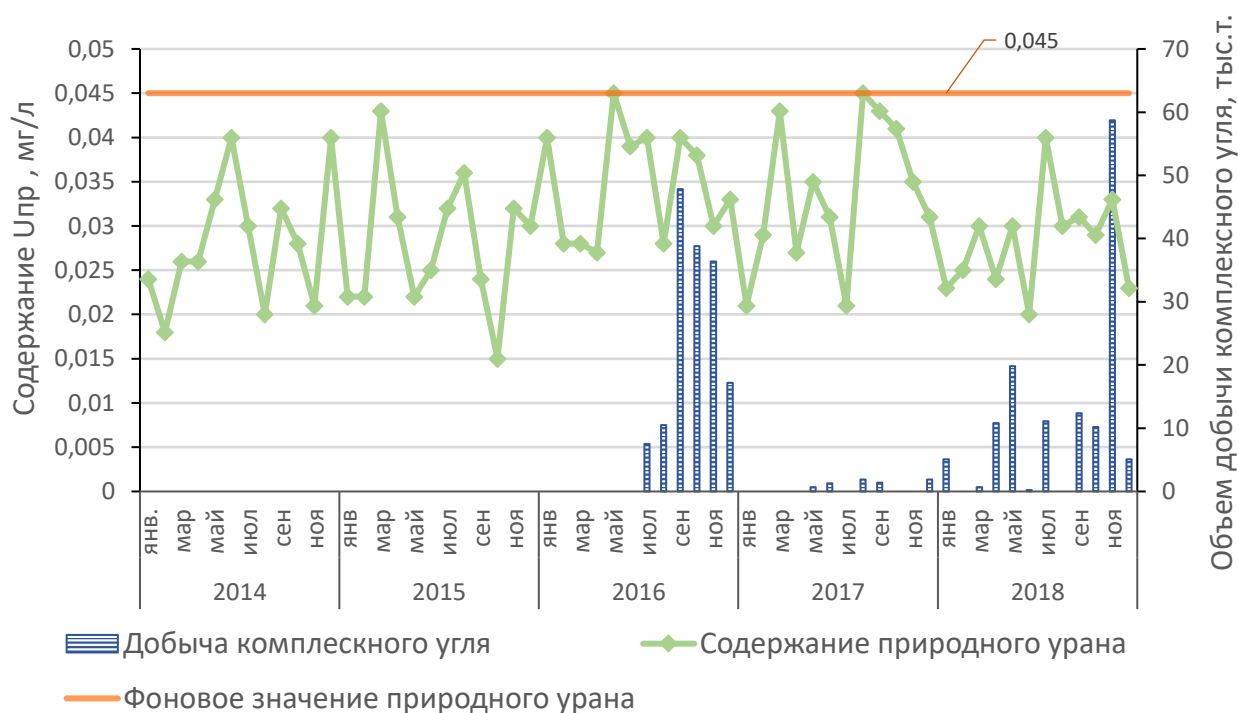


Рисунок 4.15 – Результаты исследований содержания природного урана в пробах дренажные воды и распределения объема добычи углей сорта комплексный

По приведенным данным, регистрируются содержания урана до 0,045 мг/л, что характерно для района в целом и обусловлено развитием естественной гидрогеохимической аномалии [95–97]. Зависимости увеличения фоновых концентраций урана от добычи углей сорта комплексный не прослеживается.

Экологический мониторинг подземных вод проводился по скважинам, расположенным на бортах разреза «Уртуйский». Результаты наблюдений представлены на рисунках 4.16 - 4.18.

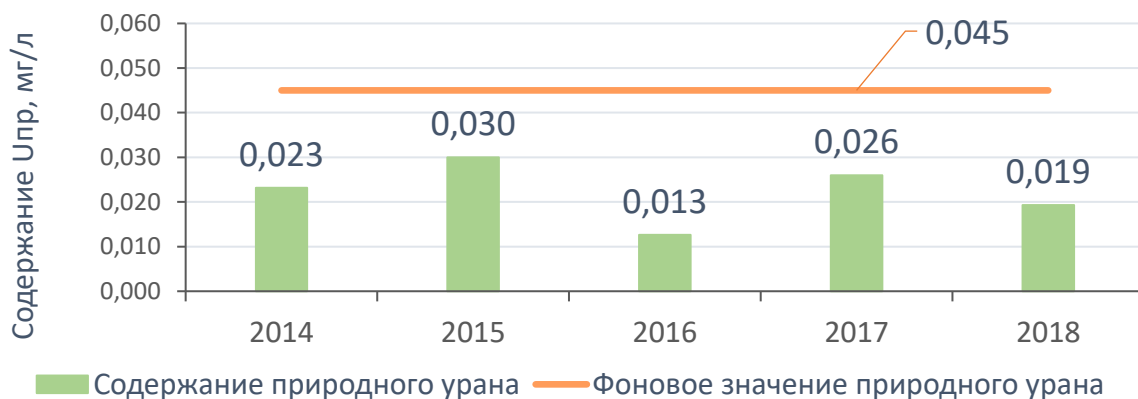


Рисунок 4.16 – Результаты исследования содержания природного урана



Рисунок 4.17 – Результаты исследования активности радия-226

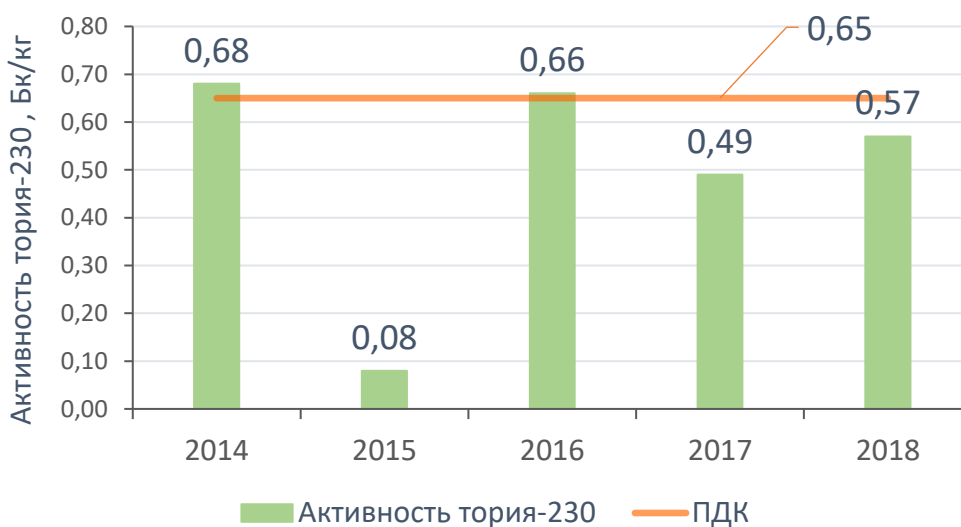


Рисунок 4.18 – Результаты исследования активности тория-230

На основании данных исследования отмечено, содержание изотопа Th -230 не значительно выше, установленного НРБ-99/2009 уровня вмешательства. Закономерности увеличения концентраций естественных радионуклидов в пробах воды от добычи углей сорта комплексный не прослеживается [85, 108, 126]

В рамках проведения радиоэкологического мониторинга проводится определение удельной активности нуклидов в пробах почв. В таблице отражены результаты контроля качества почвенного покрова (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Результаты контроля качества почвенного покрова

Год	Место отбора	Содержание, %	Активность, Бк/кг		A <sub>эфф</sub> , Бк/кг
		U пр.	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>230</sup>	
2014	т.-1	0,0005	180	345	632
	т.-2	0,0009	130	270	484
	т.-3	0,0012	418,0	358,0	887
	т.-4	0,0009	218	467	830
2015	т.1	0,0004	189	293	573
	т.2	0,0009	118	198	377
	т.3	0,0010	214,9	328,0	645
	т.4	0,0008	198	307	600
2016	т.1	0,0006	178	365	656
	т.2	0,0009	106	208	378
	т.3	0,0013	233,0	398,0	754
	т.4	0,001	206	283	577
2017	т.1	0,0005	175	301	569
	т.2	0,0008	125	193	378
	т.3	0,0009	403,0	301,0	797
	т.4	0,0007	139	243	457
2018	т.1	0,0008	181	327	609
	т.2	0,001	158	201	421
	т.3	0,0016	488	384	991
	т.4	0,0009	143	269	495

По результатам исследования почв 2014-2018 гг.: удельные активности радионуклидов в пробах приповерхностных слоев почвы, отобранных в установленных точках мониторинга, не превышают 1000 Бк/кг (значение, установленное Руководством МАГАТЭ «Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля. Руководство по безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. № RS-G-1.7. Вена, МАГАТЭ, 2006»), что допускает неограниченное использование почвы [85, 127].

Таким образом, использование 3D модели угольных пластов в процессе планирования выемки угля и ведения горных работ позволяет с высокой долей эффективности применить методы сортировки углей по радиационным параметрам, благодаря чему, основные контролируемые параметры окружающей природной среды, полученные при проведении экологического мониторинга не превышены [122].

Включение в отработку углей сорта комплексный в объеме 953,2 тыс. тонн в составе шихты с углями потребительского сорта, в детально рассчитанной дозировке с целью исключения негативного влияния на окружающую среду при их сжигании, позволяет повысить объем, отгружаемого энергетического топлива на Краснокаменскую ТЭЦ на 24 %. Выручка при реализации отгрузки всего объема расшихтованного угля заданного радиометрического качества составит 438 446 тыс. руб., валовая прибыль – 73 074 тыс. руб.

### **Выводы:**

1. Усовершенствована методика управления качеством добываемого угля, позволяющая расширить сырьевую базу предприятия, за счет вовлечения в добычу углей с содержанием урана более 0,010 % (сорт комплексный), отработка которых не приводит к ухудшению состояния окружающей среды по содержанию основных маркерных веществ.

2. Предложены схемы формирования и расположения штабелей различных сортов угля на угольных складах.

3. Разработана методика формирования нового технологического сорта энергетических углей методом шихтовки потребительского и комплексного сортов.

4. Для формирования штабелей угольного склада заданного энергетического качества (содержание урана до 0,0061 %) при вовлечении в отработку углей сорта комплексный был произведен корреляционный анализ, помогающий определить зависимость необходимого объема шихты угля сорта потребительский от содержания урана в исходном угле сорта комплексный.

5. По результатам оценки эффективности применения системы контроля и экологического мониторинга окружающей среды, было установлено, что в результате внедренных мероприятий индивидуальные эффективные дозы облучения персонала предприятия, за счет природных источников ионизирующего излучения в границах санитарной защитной зоны, не превышают предел дозы в 5 мЗв за год.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, на основании проведенных автором экспериментальных и теоретических исследований, решена актуальная научная задача обоснования и разработки системы локального экологического мониторинга при отработке месторождений углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов для управления качеством товарной продукции и снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

**Основные научные результаты, выводы и рекомендации работы** заключаются в следующем:

1. Разработана и обоснована система локального экологического мониторинга окружающей среды в границах санитарной защитной зоны угледобывающего предприятия, включающая выбор контролируемых объектов окружающей среды и маркерных веществ, обоснование схемы и периодичности проведения наблюдений.

2. Обоснован выбор маркерных веществ при реализации системы мониторинга состояния окружающей среды в зоне отработки месторождения углей с повышенным содержанием ЕРН. Показано, что в качестве таких веществ необходимо использовать: содержание природного урана U (представленного смесью изотопов урана – 238, урана – 234 и урана – 235), изотопов радия – 226 и тория – 230 для почвы и подземных вод; содержание природного урана для дренажных вод; радионуклидный состав газовой и аэрозольной фаз воздушной среды для атмосферного воздуха.

3. Разработана трехмерная цифровая модель, отражающая пространственное расположение участков угольных пластов с различным содержанием естественных радионуклидов, позволяющая детально оконтурить участки углей различных сортов, произвести анализ площадного и объемного размещения радиоактивных углей и уже на этапе планирования горных работ определить варианты выемки углей.

4. Проведены исследования изменчивости радиоактивного равновесия остаточных запасов Уртуйского бурогоугольного месторождения. На основании полученных данных установлена корреляционная связь между основными источниками радиоактивного излучения (ураном, радием и торием), позволяющая определить суммарную активность углей в пересчете на условный уран.

5. По результатам оценки качественных характеристик неотработанных запасов комплексных углей сделаны выводы, что по своему внешнему виду и техническим свойствам комплексные угли не отличаются от энергетических и потребительских сортов, границы их распределения определяются только по результатам химического и радиометрического опробования. Следовательно, комплексные угли месторождения являются удовлетворительным топливом, и они могут иметь ограниченное применение при исключении вредного влияния на окружающую среду.

6. Усовершенствована методика управления качеством добываемого угля, позволяющая расширить сырьевую базу предприятия, за счет вовлечения в добычу углей с содержанием урана более 0,010 % (сорт комплексный), отработка которых не приводит к ухудшению состояния окружающей среды по содержанию основных маркерных веществ.

7. Разработана методика формирования нового технологического сорта энергетических углей методом шихтовки потребительского и комплексного сортов.

8. Установлено, что в результате внедрения разработанной системы экологического контроля и мониторинга, индивидуальные эффективные дозы облучения персонала предприятия, за счет природных источников ионизирующего излучения в границах санитарной защитной зоны, не превышают установленного значения 5 мЗв за год.

9. Применение полученных в работе результатов позволит реализовать технологию отработки Уртуйского бурогоугольного месторождения, обеспечивающую качество товарной угольной продукции по радиационному фактору.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабазин Г. С. О месторождениях радиоактивных минеральных образований в Хакасском округе бывшей Енисейской губернии // М.-Л.: Геол. Изд-во. Гл. Геол. Управл., 1930. – 56 с.
2. Бурксер Е. С., Кондогури В. В., Капустин Н. П., Потапов П. П. Радиоактивность каменных углей Кузнецкого бассейна // Украинский химический журнал. Техн. Часть. – 1932. – Т. 9. – Кн. 3–4. – С. 441–445.
3. Бурксер Е. С., Шапиро Я. М., Бронштейн К. Г. Радиоактивность каменных углей и антрацитов Донецкого бассейна // Украинский химический журнал. Техн. Часть. – 1929. – Т. 4 – Кн. 2. – С. 95.
4. Макелви В. И. Обзор гипотез о генезисе урановых месторождений / Геология атомных сырьевых материалов. – М.: Госгеолитизат, 1956. – 508 с.
5. Якжин А.А. Поиск и разведка урановых месторождений. – М.: Госгеолтехизтат, 1991. – 480 с.
6. L. A. Breger, M. Deul, R. Meyrowitz. Geochemistry and mineralogy of a uraniferous subbituminous coal // Economic Geology. 1955. Vol. 50. no 6. pp. 610–624.
7. L. A. Breger, M. Deul, S. Rubinstein. Geochemistry and mineralogy of a uraniferous lignite// Economic Geology. 1955(2). Vol. 50. no2. pp. 206–226.
8. Denson N. M., Gill J. R. Uranium-bearing lignite and its relation to Volcanic tuffs in eastern Montana and North and South Dakota // Proc. Intern. Conf. Peaceful Uses Atom. Energy. 1956. Vol. 6. pp. 464 - 467.
9. Vine J. D., Swenson V., Bell K. The role of humic acids in uranium geochemistry // Geology of Atomic Raw Materials. -M.: Publisher of the General Directorate of Atomic Energy. 1959. pp. 64 - 71.
10. Vine J. D. Uranium-bearing coal in the United States // U.S. Geol. Surv. Profess. Pap. 1956. N 300. pp. 405 - 441.
11. Foldvari A. The geochemistry of radioactive substances in the Mescsek Mountains // Acta Geol. Acad. Sci. Hungary. 1952. -1. - Fasc. 1-4.

12. Ristic M. Uranium and thorium deposits in Yugoslavia // Proc. Intern. Conf. Peaceful Uses Atom. Energy. 1955. Vol. 6. pp. 634 - 640.

13. Керр П.Ф. Околорудные изменения боковых пород как критерий при поисках месторождений урана // Геология атомных сырьевых материалов. – М.: Госгеолиздат, 1956

14. Гипш А. А., Капатурич Г. Г., Юдович Я. Э. Некоторые вопросы распределения и генезиса радиоактивности в углях Печорского бассейна // Изв. высш. учебн. завед. Геол. и разведка. – 1971. – № 6. – С. 61-70.

15. Гипш А. А., Капатурич Г. Г. О некоторых результатах исследований связи естественной радиоактивности и зольности углей воркутского месторождения // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1970. – № 10. – С. 145-149.

16. А. А. Смыслов, Ю. Н. Малышев, Б. Б. Голубев и др. Карта угленосности, сланценосности и геохимической специализации углей и горючих сланцев России. Масштаб 1:10 000 000. Объяснительная записка – Москва: СПб, 1996. – С. 27–47.

17. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре – Л.: Недра, 1974. – 232 с.

18. Некрасова З.А. К вопросу о генезисе уранового оруденения в углях // Вопросы геологии урана. Атомиздат, 1957.

19. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Мерц А. В. Элементы-примеси в ископаемых углях – Л.: Наука, 1985. – 239 с.

20. Лопаткина А.П. Условия накопления урана торфами // Геохимия.- 1967.- №6. – С. 708-719.

21. Манская С. М., Дроздова Т. В Геохимия органического вещества – М.: Наука, 1964. – 315 с.

22. Кизильштейн Л. Я. Влияние состава и свойств органических веществ на образование водородных месторождений урана // Химия твердого топлива. 1999. – № 1. – С. 72-80.

23. Кизильштейн Л. Я., Левченко С. В. Геохимия тория в углях: Экологический аспект // Геохимия. 1995. – № 6. – С. 874-880.

24. Кизильштейн Л. Я., Перетятко 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.
25. Кизильштейн Л. Я., Черников Б. А. Роль органического вещества земной коры в образовании месторождений урана – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов, ун-та, 1999. – 146 с.
26. Кизильштейн Л. Я. Уголь и радиоактивность // Химия и жизнь. – 2006. – № 2 – С. 24–29.
27. Юдович Я. Э. Грамм дороже тонны – М.: Наука, 1989. – 160 с.
28. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Уран в углях – Сыктывкар, 2001. – 84 с.
29. 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.
30. Шпирт М. Я. Формы соединений микроэлементов и их превращение при переработке твердых горючих ископаемых // Химия твердого топлива. – 2004. – № 6. – С. 62–84.
31. Шпирт М. Я. Минеральные компоненты углей // Химия твердого топлива. – 1982. – № 3. – С. 35–43.
32. Салаи А. Значение гумуса в геохимическом обогащении угля // Геология атомного сырья. – 1959. – С. 72-80.
33. Tadmore J. Radioactivity from coal-fired power plants: A review //Journal of Environmental Radioactivity. 1986. Vol. 4. pp. 177–204.
34. Swaine D. J. Trace Elements in Coal. London: Butterworth&Co, 1990. 278p.
35. Swaine D. J. and Goodarzi, F. Environmental Aspects of Trace Elements in Coal: Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1997. 312 p.
36. Goodarzi F. Elemental concentrations in Canadian coals. 2. Byron Creek collieries, British Columbia // Fuel. 1987. Vol. 66. no 2. pp. 250 -254.

37. 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.

38. 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.

39. Исхаков Х. А., Счастливец Е. Л., Кондратенко Ю. А., Лесина М. Л. Радиоактивность углей и золы // Кокс и химия. – 2010. – №5. – С. 41–45.

40. 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.

41. 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.

42. Xin Wang, Qiyang Feng, Ruoyu Sun and Guijian Liu. Radioactivity of Natural Nuclides ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) in Coals from Eastern Yunnan, China // Minerals. 2015. Vol. 5. pp. 637–646

43. G.P. Sidorova, A.A. Yakimov, N.V. Ovcharenko. Content of Microelements in Brown Coals of Transbaikalian Region. // International science and technology conference "Earth science". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 272 (2019) 032042.

44. 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.

45. 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.

46. 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.

47. Арбузов С. И., Волостнов А. В. Формы концентрирования тория в углях // Известия Томск. политех. ин-та. – 2003. – № 6. – С. 12-17.
48. Рихванов Л. П., Рихванова М. М. Введение в радиоэкологию – Томск: Изд-во ТПУ, 1994. – 120 с.
49. Рихванов Л. П., Ершов В. В., Арбузов С. И. Комплексное эколого-геохимическое исследование углей // Уголь. – 1998. – № 2. – С. 54-57.
50. 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.
51. 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.
52. Волостнов А. В. Уран и торий в углях Центральной Сибири: Автореф. дис. канд. геол-мин. наук. – Томск, 2004. – 24 с.
53. 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.
54. 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.
55. UNSCEAR, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000.
56. Бойко С. М., Сутурин А. Н. Геохимия промышленных зол углей Азейского месторождения и проблем их утилизации // Геология и геофизика. – 1994. – №2. – С. 100-108.
57. Титаева Н. А. Геохимия изотопов радиоактивных элементов (U, Th, Ra): Дис. д-ра геол.-мин. Наук – Москва, 2002. – 91 с.

58. 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.

59. В. А. Овсейчук, Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова. Естественные радионуклиды в углях и золе угольных электростанций // Уголь. – 2012. – № 9. – С. 96–97.

60. В. А. Овсейчук, Ю. М. Овешников, В. М. Лизункин. Охрана окружающей среды при добыче твердых полезных ископаемых – Чита: изд-во ЗабГУ, 2006. – 298 с.

61. В. А. Овсейчук, Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова. Радиационные выбросы от угольных ТЭС // Вестник ЗабГУ. – 2012. – № 10. – С. 24–29.

62. В. А. Овейчук, Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова. Радиоактивные элементы в углях и продуктах их сжигания // Атомная стратегия. – Март 2013. – С. 12-14.

63. В. А. Овсейчук В.А. Г.П. Сидорова. Ураноносность бурых углей Забайкалья: Монография - Чита: Из-во ЗабГУ. – 2013. – 192 с.

64. 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.

65. 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.

66. 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.

67. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Радиоэкологические проблемы угольной энергетики // В сборнике: Кулагинские чтения: техника и технологии



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

68. Amin Y.M. et al. Radionuclide emissions from a coal-fired power plant // Applied Radiation and Isotopes 80. 2013. pp. 109–116.

69. 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.

70. 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.

71. 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.

72. 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.

73. 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.

75. 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.

76. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Оценка радиационного состояния территории Уртуйского бурогоугольного разреза // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 1. – С. 92-100.

77. В. С. Рогалис, М. В. Павленко, А. А. Шилов. Сочетание воздействия угольной пыли и радиации на здоровье шахтеров // ГИАБ. – 2016. – №3. – С. 109-120.

78. Шрамченко А. Д. Радиационная обстановка на предприятиях угольной промышленности // ТЭК. – 2000. – № 3. – С. 75.

79. Израэль Ю. А. Радиоактивное загрязнение земной поверхности // Вестник Российской Академии наук. Том 68, 1998. - С. 898-909.

80. 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.

81. 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.

82. 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.

83. 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.

84. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Влияние отработки Уртуйского бурогоугольного 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.Л. Шварцев. – 2017. – С. 375-378.

85. СанПиН 2.6.1.2523. Нормы радиационной безопасности. НРБ – 99/2009. – Москва: Изд-во стандартов, 2009. – 55 с.
86. ГОСТ Р 56059-2014. Производственный экологический мониторинг. Общие положения. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 5 с.
87. Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых (утв. МПР России 04.08.2000) – Москва, 2000. – 30с.
88. Железнова Е. И., Шумилин И. П., Юфа Б. Я. Радиометрические методы анализа естественных радиоактивных элементов - Москва: Недра, 1968. – 460 с.
89. Дозиметрические и радиометрические методики: сборник / ред. Н. Г. Гусев [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Атомиздат, 1966. – 444 с.
90. 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.
92. 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.
94. 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.
95. В. Н. Бавлов, А. М. Батеха, С. И. Кретов и др. Отчет по геологическому заданию № 7. Поиски промышленных месторождений урана в пределах Восточно-Урулюнгуевской впадины и ее обрамления за 1973–1979гг. – Иркутск, 1979 г. – 88 с. Фонды ПАО «ППГХО».
96. 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 Урулюнгуевской структурно-формационной зоны за 1973-1977гг. – Иркутск, 1979. – 128 с. Фонды ПАО «ППГХО».

97. 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».

98. Шлейдер В. А., Шеметов Ю. М., Гаученова З. К. и др. Уртуйское бурогольное 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».

99. В. А. Вахрушев, А. В. Тирский, В. А. Толстобров. Отчет о результатах дополнительной разведки на Уртуйском бурогольном месторождении в 1989–1992 годах – Краснокаменск, 1992. Фонды ПАО «ППГХО».

100. ОСП 72/87. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений. – Москва: Минздрав СССР, 1987.

101. А. В. Тирский, А. А. Яновский, Р. А. Суханов. Геофизический контроль радиационно-гигиенического качества угля // Горный вестник. – 1998. – № 3. – С. 43–49.

102. 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.

103. Закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. №2395-І «О недрах» (ред. от 03.08.2018).

104. Щукин С. И., Сидорова Г. П., Овчаренко Н. В. Радиоэкологический мониторинг территории Уртуйского бурогольного месторождения // Горный журнал. – 2018. – № 7. – С.97-99.

105. 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.

106. 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.

107. Федеральный закон Российской Федерации. О радиационной безопасности населения: № 3-ФЗ от 09.01.1996. – Москва, 1996.

108. ОСПОРБ – 99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. – Москва: Минздрав России, 2011.

109. Методические рекомендации МР 2.6.1.27-2003. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды – Москва: Министерство РФ по атомной энергии, 2003.

110. Методические указания МУ 2.6.1.1088-02. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. – Москва: Минздрав России, 2002.

111. 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.

112. Трубина Л.К. Геоэкологический мониторинг [Электронный ресурс]: конспект лекций: 020804 "Геоэкология". - 2012, рег. Номер 0321200465. - Режим доступа - [lib.ssga.ru](http://lib.ssga.ru)

113. Калинин В. М. Мониторинг природных сред / Учебное пособие. – Тюмень: Издат-во Тюменского государственного ун-та, 2007. – 208 с.

114. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб – Москва: Стандартинформ, 2008. – 45 с.

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.
116. Рабочий проект «Разработка «Уртуйского» бурогоугольного месторождения» - ОАО ВНИПИпромтехнологии, г. Москва, 2014 г. Фонды ПАО «ППГХО».
117. Исследование физико-химических и теплотехнических свойств углей Уртуйского бурогоугольного месторождения. Отчет о НИР Уральского ВТИ. – Челябинск, 1984. – 136 с. Фонды ПАО «ППГХО».
118. Исследование углей Уртуйского месторождения Читинской области. Отчет. Институт нефте- и углехимического синтеза при Иркутском госуниверситете (ИНУС). – 1984. – 92 с. Фонды ПАО «ППГХО».
119. 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.
120. Сидиков Ф. У. Трехмерное моделирование геологической среды на основе топогеодезических карт // Молодой ученый. – 2015. – №22. – С. 79-82.
121. 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.
122. 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.
123. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев – Москва: Наука, 1987. – 136 с.

124. 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.

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

127. СП 2.6.1.798-99. «Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов» – Москва: Минздрав России, 2000. – 18 с.