

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

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)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель: Доктор технических наук  
Сидорова Галина Петровна

Чита, 2020

## **Общая характеристика работы**

### **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 объемов 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 буроугольного 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 буроугольного 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 буроугольного 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 ученных 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.

## **Основное содержание работы**

**В первой главе** приведен аналитический обзор современных представлений и исследований в области обращения углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов. Отмечено, что 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 возникнуть 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 естественных радионуклидов, является Разрезоуправление «Уртуйское» ПАО «ППГХО», ведущее открытые горные работы по добыче угля на Уртуйском буроугольном месторождении.

В главе представлено описание ураноносности и радиационных свойств углей Уртуйского буроугольного месторождения. Приведена классификация углей Уртуйского месторождения по содержанию урана и суммарной эффективной удельной активности естественных радионуклидов (таблица 1).

Таблица 1 – Разделение углей Уртуйского месторождения по содержания урана и суммарной эффективной удельной активности естественных радионуклидов

Сорт углей	C <sub>U</sub> , %	A <sub>эфф</sub> , 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

Рассмотрена существующая технология управления качеством углей по радиационному фактору, разработанная ранее специалистами предприятия (Сидоровой Г.П., Сухановым Р.А., Тирским А.В. и др.), включающая систему приборного контроля и сортировки углей по заданным радиационным параметрам с учетом их сортности. Описана существующая система экологического контроля.

Анализ существующей системы экологического контроля на Уртуйском буроугольном 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.

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 применения современных методов цифрового моделирования качественных показателей угольной продукции.

**Во второй главе** дана оценка существующей техногенной нагрузки в районе проведения исследований, обусловленной наличием урановых провинций юго-восточного Забайкалья и, как следствие, развитием естественной геохимической аномалии. 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.

Проведено научное обоснование системы локального экологического мониторинга окружающей среды, включающее: выбор и обоснование контролируемых объектов окружающей среды, выбор маркерных веществ,

схемы и режимов проведения экологического мониторинга окружающей среды в границах санитарно-защитной зоны предприятия.

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 1).

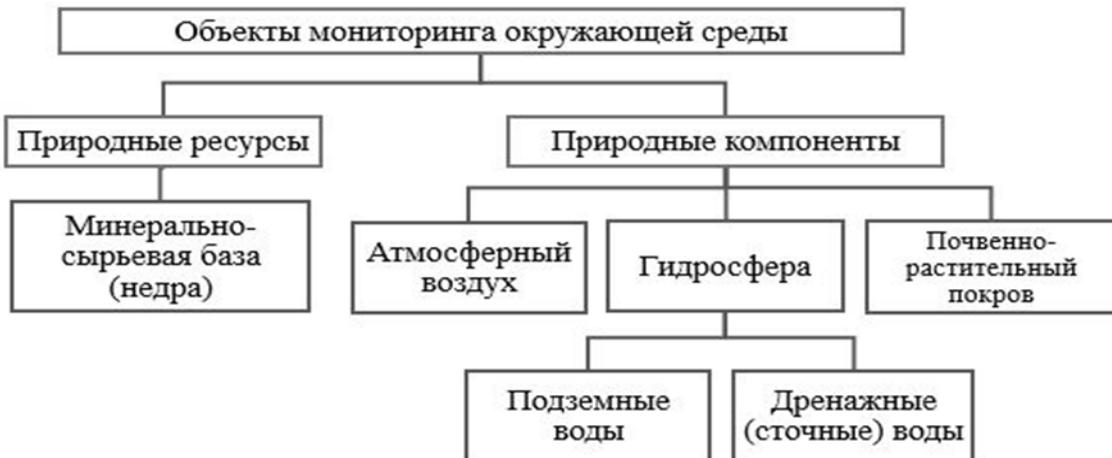


Рисунок 1 – Контролируемые объекты экологического мониторинга окружающей среды

Основным критерием выбора маркерных веществ служит прогноз возможных путей облучения персонала в результате выброса радиоактивных веществ и загрязнение естественными радионуклидами приземного слоя атмосферы и подстилающей поверхности в границах санитарно-защитной зоны предприятия.

В соответствии с требованиями НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010, МУ 2.6.1.1088-02 и МУ 2.6.1.27-2003 для проведения оценки: дозы облучения персонала, удельной активности природных радионуклидов в объектах окружающей среды 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.

При организации и проведении экологического мониторинга качества подземных и дренажных (сточных) вод территории месторождения был учтен фактор наличия натурального радиогидрохимического фона,

руководствуясь требованиями НРБ – 99/ 2009, МУ 2.6.1.1981-05 и МР 2.6.1.27-2003, контролируемыми маркерными веществами были выбраны основные дозообразующие радионуклиды: содержание природного урана U (представленного смесью изотопов урана –238 , урана – 234 и урана – 235), изотопов радия – 226 и тория – 230 для подземных вод и содержание природного урана для дренажных вод.

Наблюдательная сеть экологического мониторинга окружающей среды в границах санитарно-защитной зоны Уртуйского месторождения сформирована с учетом горно-геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий. На рисунке 2 приведена схема проведения экологического мониторинга окружающей среды.



Рисунок 2 – Схема проведения экологического мониторинга окружающей среды

**В третьей главе** дана геологическая характеристика неотработанных запасов комплексных углей. 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 иметь ограниченное применение, после проведения их предварительной расшифтовки для исключения вредного влияния на окружающую среду.

Использование программно-технологического комплекса MineFrame, состоящего из двух модулей GeoTools и GeoTech-3D, позволило: создать

геологическую базу опробования, основанную на данных, полученных в процессе детальной разведки и эксплуатации месторождения; разработать трехмерную цифровую модель угольных пластов, отражающую пространственное расположение участков угольных пластов с различным содержанием естественных радионуклидов.

Интерпретация результатов 3D моделирования позволила детально оконтурить участки углей различных сортов, произвести анализ площадного и объемного размещения радиоактивных углей. 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 расшифтовки по радиационному фактору.

На основе анализа площадного и объемного размещения радиоактивных углей были построены схемы распределения урана, радия и тория по пластам (рисунок 3).

Анализ распределения радиоактивных элементов показывал, что прослеживается закономерное изменение их содержаний с юго-запада на северо-восток. Максимальные содержания отмечаются непосредственно вблизи бортовой части, по мере удаления от борта происходит снижение содержаний до фоновых.

При проведении автоматизированного подсчета остаточных запасов радиоактивных углей для составления детального прогноза отработки участков локализации уранового оруденения было установлено, что 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 2.

Таблица 2 – Распределение комплексного угля по пластам в контуре разреза по состоянию на 01.01.2016г.

Пласт	Общие запасы угольной массы, тыс. т.	В том числе комплексного угля	
		тыс. т.	%
M	40067,2	357,1	0,89
M1	3912,8	127,2	3,2
M2	2021,7	---	---
M3	6785,5	427,1	6,2
B	836,1	41,9	5,0
Всего:	53623,3	953,2	1,8

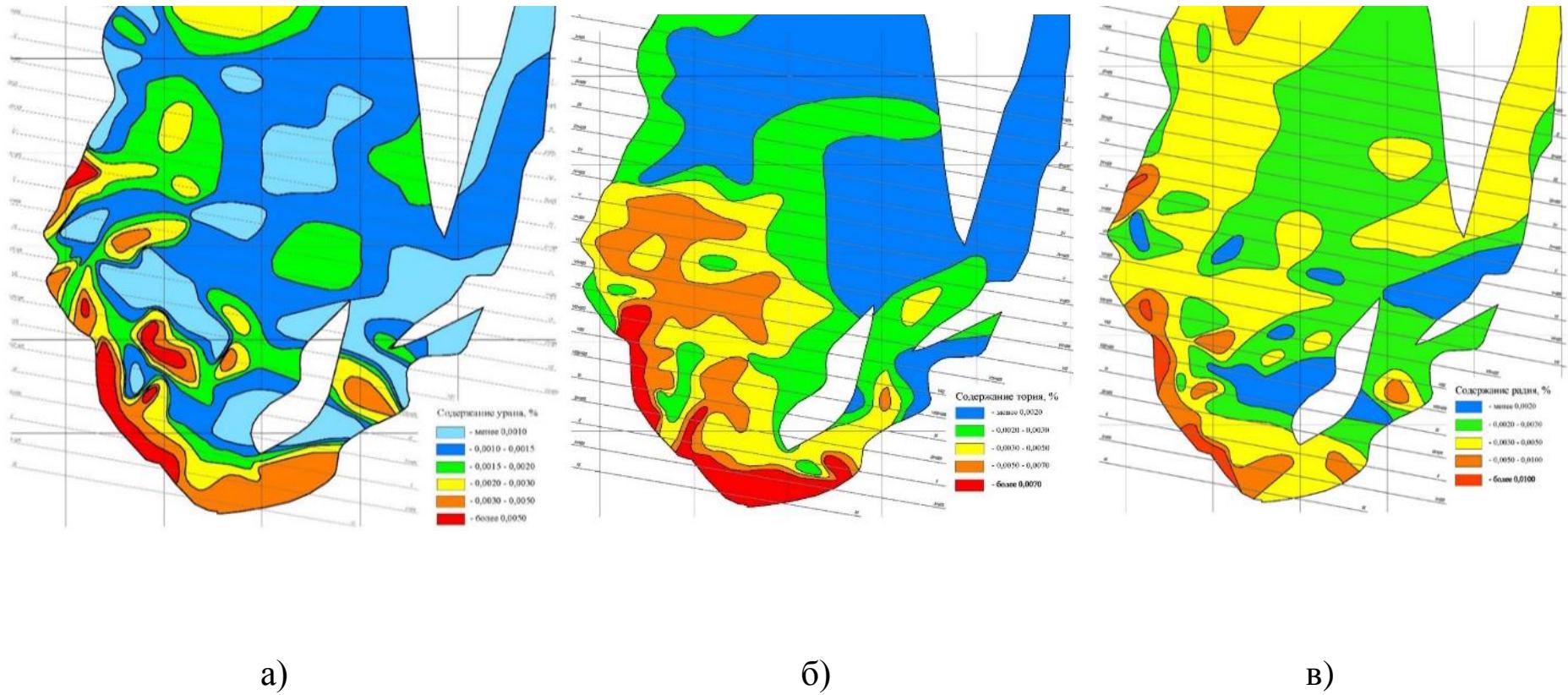


Рисунок 3 – Схема распределения урана (а), тория (б) и радия (в) в угольном пласте М

Таким образом, 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 уртуйских углей. В таблица 3 приведены данные о концентрации радионуклидов.

Таблица 3 – 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	18994,7	0,0006	36,9	64,4
0,001- 0,010	33675,4	0,0030	65,7	410,2
> 0,010	953,2	0,0310	107,5	745,2
среднее		0,0028	56,7	109,6

На основании полученных данных (таблица 3) был произведен расчет коэффициента радиоактивного равновесия между ураном, радием и торием (таблица 4).

Таблица 4 – 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

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.

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 4);
- логарифмическая зависимость содержания урана от тория (рисунок 5).

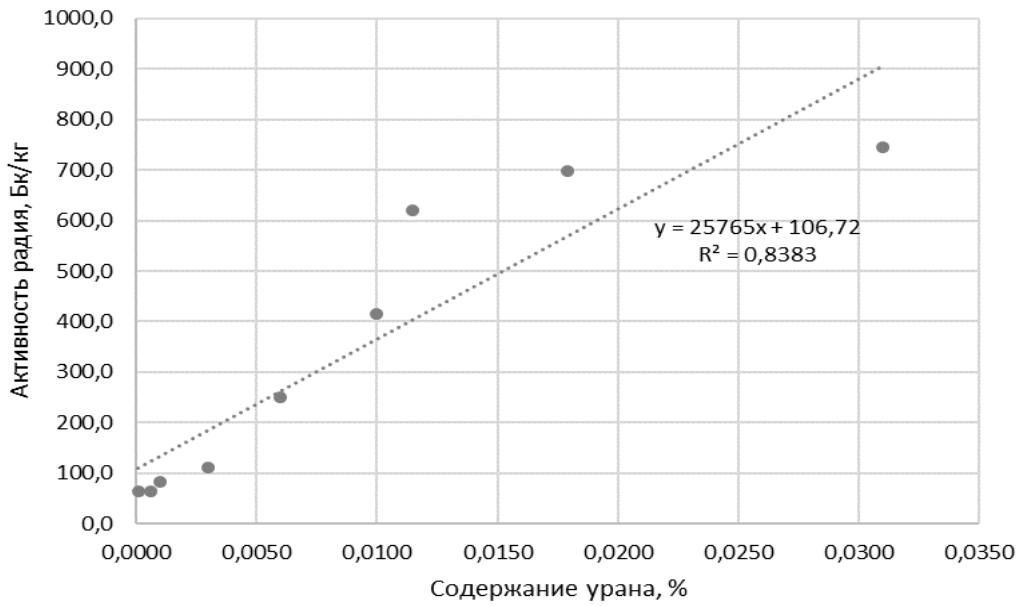


Рисунок 4 – График зависимости содержания урана от радия

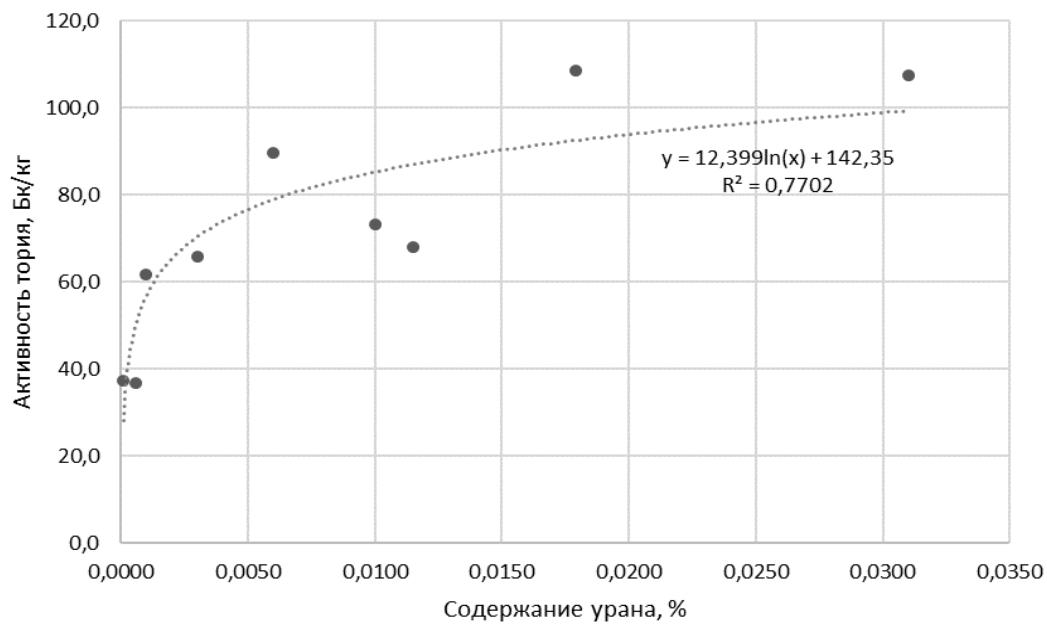


Рисунок 5 – График зависимости содержания урана от тория

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.

**В четвертой главе.** Даны рекомендации по совершенствованию технологических процессов добычи, хранения и отгрузки угольного топлива, включающие планирование способа выемки углей по сортам и усовершенствование технологической схемы подготовки углей заданного радиационного качества. С целью исключения негативного влияния на окружающую природную среду, соблюдения требований НРБ-99/2009 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 расщихтовки, при этом содержание урана в исходном топливе не должно превышать расчетного значения допустимых содержаний урана в углях, поставляемых на Краснокаменскую ТЭЦ.

В основе расчета допустимых содержаний урана в углях, поставляемых на Краснокаменскую ТЭЦ лежит величина утвержденного размера допустимого количества урана в планируемой к выбросу золе 3,1 т/год, степень эффективности улавливания золы – уноса, а также коэффициент обогащения золы к урану. При соблюдении ограничивающих условий (эффективности улавливания золы-унос на Краснокаменской ТЭЦ в 96 %) содержание урана не должно превышать 0,0061 %.

Для формирования штабелей угольного склада заданного энергетического качества при вовлечении в отработку углей сорта комплексный необходимо использовать 4 018 тыс. т. потребительских углей с содержанием урана не более 0,0010 %.

Технологическая схема подготовки углей заданного радиационно-гигиенического качества представлена на рисунке 6.

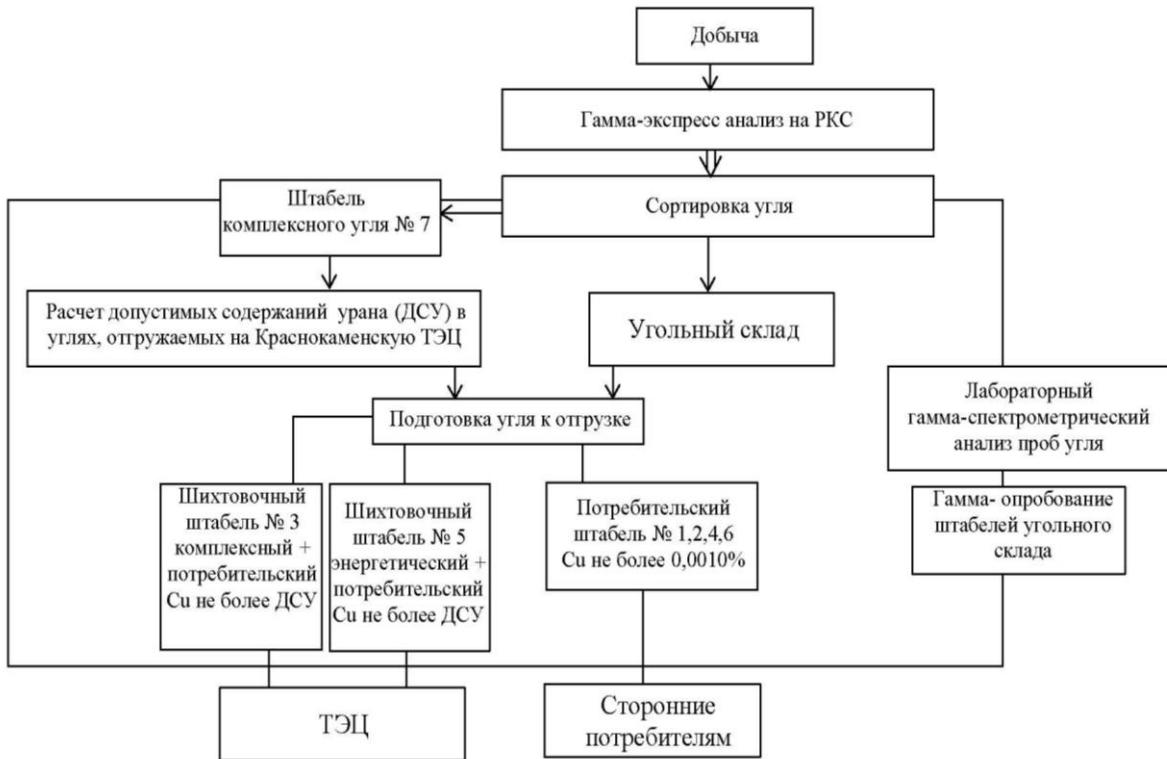


Рисунок 6 – Технологическая схема подготовки углей заданного радиационно-гигиенического качества

При добыче угля и проведении гамма-экспресс анализа оператором РКС на склад готовой продукции поставляются угли 1, 2 и 3 сорта, где они складируются в отдельные угольные штабели (рисунок 7).

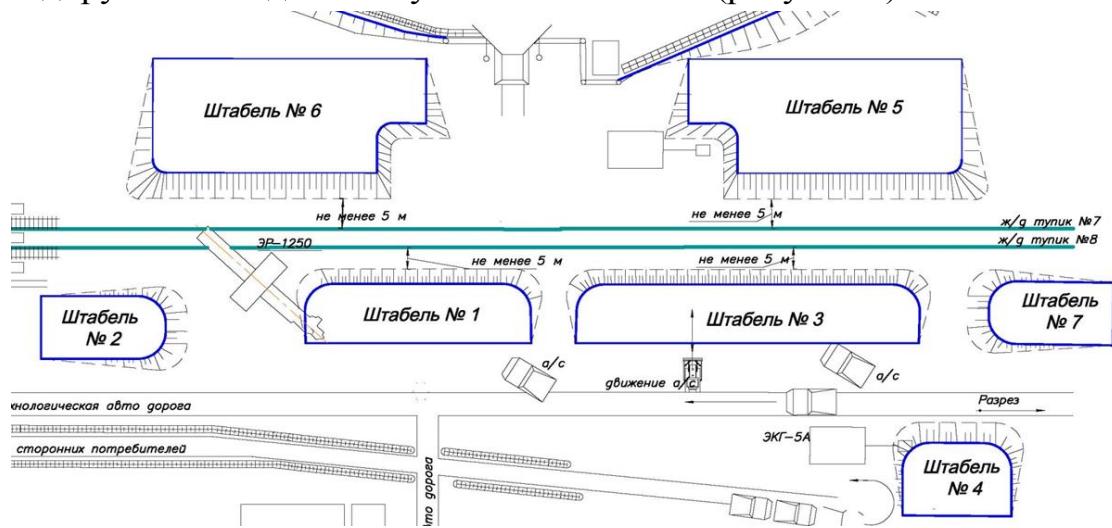


Рисунок 7 – Схема расположения штабелей угольного склада

По принятой системе сортировки углеми 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 складируется на штабеле № 7 для хранения с возможностью его использования в дальнейшем.

Оценкой эффективности применения предложенных системы контроля и экологического мониторинга служит обработка и анализ данных полученных при ведении горных работ. Сопоставление результатов планирования и фактического ведения горных работ свидетельствует о высокой эффективности использования результатов трехмерного цифрового моделирования при проведении планирования выемки угольных пластов, способа сортировки углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов (рисунок 8)

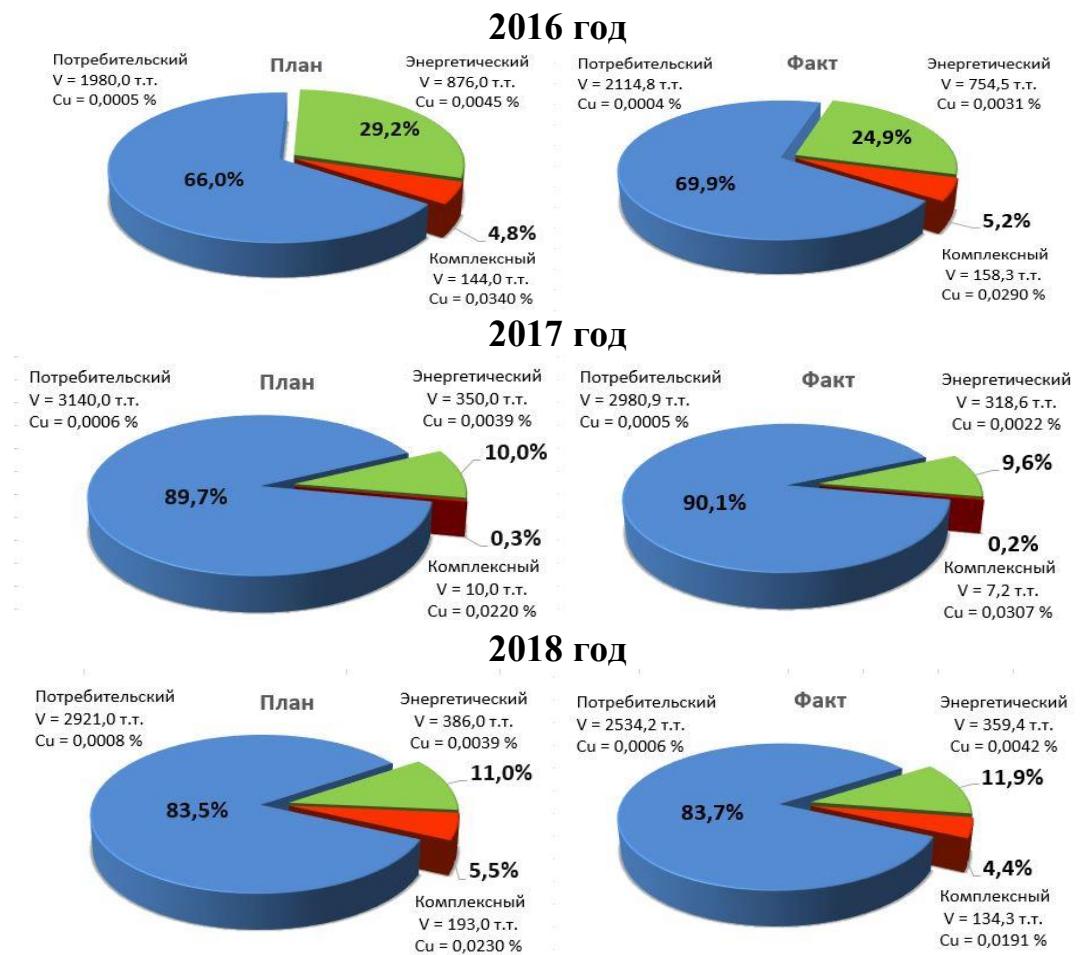


Рисунок 8 – План-факторный анализ добычи угля

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, показал, что 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 (Аэфф) –175,5 Бк/кг., удельная эффективная активность шлака (Аз.ш.) не превышала 620 Бк/кг и в среднем составила – 500 Бк/кг, что соответствует 2 классу материалов по радиационной опасности (таблица 5).

Таблица 5 – Данные мониторинга качества отгружаемой угольной продукции на Краснокаменскую ТЭЦ

Год	Уран, %	$^{226}\text{Ra}$ , Бк/кг	$^{232}\text{Th}$ , Бк/кг	Аэфф, Бк/кг угля	Доза облучения, мЗв/год	Аз.ш , Бк/кг
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

Таким образом, можно сделать вывод о том, что основные контролируемые параметры не превыщены, это свидетельствует о высокой эффективности применяемых методов сортировки углей по радиационным параметрам, следовательно, дает возможность получения нового сорта энергетического угля методом расщихтовки потребительского и комплексного сортов.

На основании информации, полученной при проведении экологического мониторинга окружающей среды по радиационному фактору, дана оценка техногенной нагрузки на участок ведения горных работ в границах санитарно-защитной зоны предприятия.

Дозиметрический контроль качества атмосферного воздуха, проводимый в контрольных точках санитарно-защитной зоны территории разреза «Уртуйский» показал, что среднее содержание радионуклидов уранового ряда находится в пределах фоновых значений. Превышения выбросов естественных радионуклидов в атмосферу относительно разрешенных норм нет.

Результаты оценки индивидуальных эффективных доз облучения персонала предприятия за счет природных источников ионизирующего излучения отражены на рисунке 9.

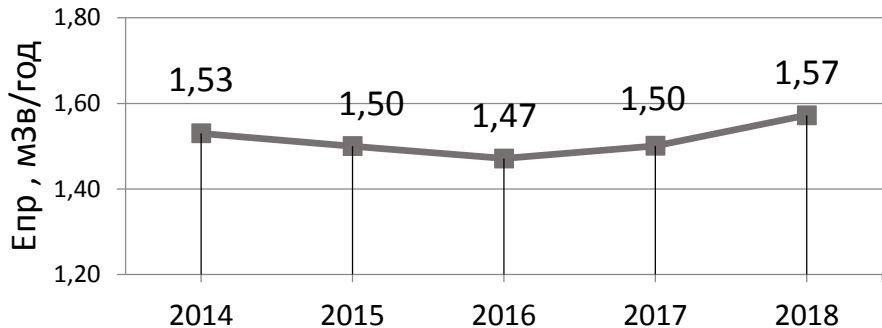


Рисунок 9 – График оценки индивидуальных эффективных доз облучения персонала предприятия за счет природных источников ионизирующего излучения

Средние значения доз облучения персонала группы Б по радиационным факторам в течение года, соответствующие приmonoфакторном 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 НРБ–99/2009.

На рисунке 10 представлены результаты контроля изменения содержания природного урана по годам в пробах дренажных (сточных) вод от добычи углей сорта комплексный.

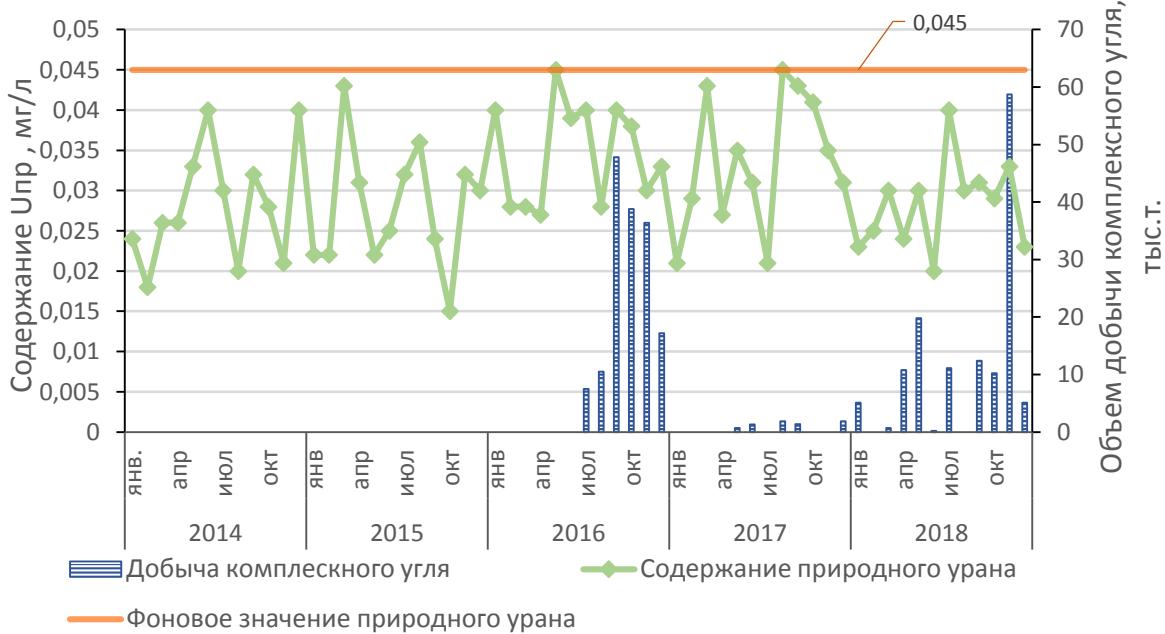


Рисунок 10 – Результаты исследований содержания урана в пробах дренажных вод

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

Результаты наблюдений по годам за содержанием основных маркерных веществ в подземных водах представлены на рисунках 11-13.



Рисунок 11 – Результаты исследования содержания природного урана



Рисунок 12 – Результаты исследования активности радия-226

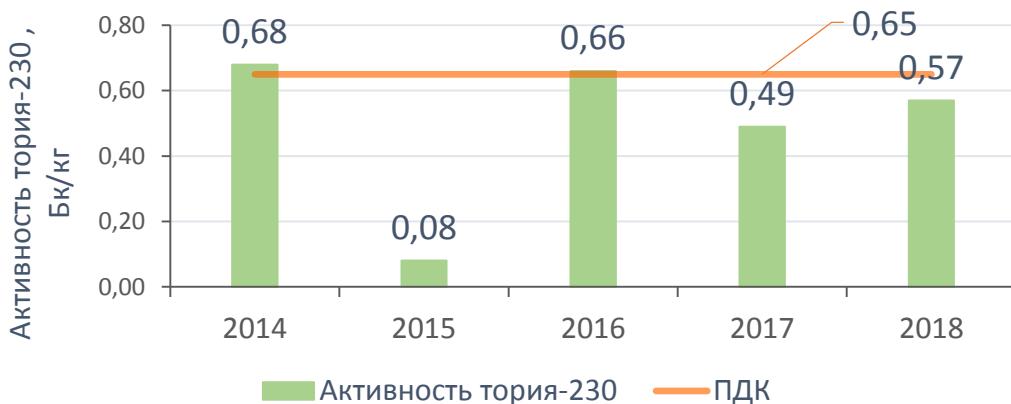


Рисунок 13 – Результаты исследования активности тория-230

На основании данных исследования отмечено, что 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 прослеживаются.

В рамках проведения экологического мониторинга определено значение удельной активности нуклидов в пробах почв. В таблице отражены результаты контроля качества почвенного покрова (таблица 6).

Таблица 6 – 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

Удельные активности радионуклидов в пробах приповерхностных слоев почвы, не превышают 1000 Бк/кг, что допускает неограниченное использование почвы.

Таким образом установлено, что вовлечение в добычу углей с содержанием урана более 0,010 % (сорт комплексный) не приводит к ухудшению состояния окружающей среды по содержанию основных маркерных веществ.

### 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 буроугольного 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 буроугольного месторождения, обеспечивающую качество товарной угольной продукции по радиационному фактору.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

*В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:*

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

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

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

4. Г.П. Сидорова, П.Б. Авдеев, А.А. Якимов, Н.В. Овчаренко, П.М. Маниковский. 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.

5. Г.П. Сидорова, Д.А. Крылов, Н.В. Овчаренко. Радиационная обстановка в районах расположения угольных ТЭС России // Журнал «Вестник Забайкальского государственного университета». – 2017. – Том 23. – № 5. – С. 36–44.

6. 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.

*В прочих изданиях:*

7. 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.

8. 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 научно-практическая конференция. – В 3 ч. – 2016. – С. 187-191.

9. 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.

10. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Радиоэкологические проблемы угольной энергетики // В сборнике: Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов XVII международная научно-практическая конференция. – 2017. – С. 107-111.

11. Сидорова Г.П., Овчаренко Н.В. Влияние отработки Уртуйского буроугольного месторождения на экологическое состояние подземных вод // В сборнике: III Всероссийской научной конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». Ответственные редакторы Л.В. Замана, С.Л. Шварцев. – 2017. – С. 375-378. DOI: 10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-375-378.

12. 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.

13. 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.

14. Сидорова Г.П., Якимов А.А., Овчаренко Н.В., Гущина Т.О. Микроэлементный состав бурых углей Забайкалья // 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. – 45-51.

15. Сидорова Г.П., Якимов А.А., Овчаренко Н.В., Гущина Т.О. Прогнозные исследования по решению проблемы снижения дозовой нагрузки на окружающую среду при отработке угольных месторождений, имеющих угли с повышенным содержанием естественных радионуклидов // В сборнике: Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Вопросы теории и практики в строительном и горном деле». – 2018. – С.73-79.

16. 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.

17. 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.