

На правах рукописи



ШУМИЛОВА ОЛЬГА ЛЕОНИДОВНА

**ГЕОЛОГО - ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УГЛЕЙ  
(на примере Нерюнгринского угольного месторождения)**

Специальность:

25.00.16. – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология,  
геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2007

Работа выполнена в Техническом институте (филиале) Государственного  
общеобразовательного учреждения высшего и профессионального образования  
Якутского Государственного университета им. М.К. Аммосова

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор  
Гриб Николай Николаевич

Официальные оппоненты: доктор геолого–минералогических наук,  
профессор  
Алексеев Валерий Порфирьевич  
кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент  
Попов Юрий Николаевич

Ведущая организация: ОАО ХК «Якутуголь»

Защита диссертации состоится «16» марта 2007г. в 15 часов на заседании  
диссертационного совета К212.269.01 Томского политехнического университета  
по адресу: Россия, 634050, г.Томск, пр. Ленина 30, корпус №10, ауд. 313.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического  
университета.

Автореферат разослан «14» февраля 2007г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент  /А.А. Поцелуев/

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Показатели качества угольных пластов являются важнейшими характеристиками, определяющими промышленно-экономическую ценность и конкурентоспособность угольных месторождений. Угли Нерюнгринского разреза в основном, экспортируются в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Согласно требованиям угольной промышленности по угольным пластам должны определяться основные показатели качества углей: зольность  $A^d\%$ , выход летучих веществ  $V^{daf}\%$ , влага аналитическая  $W^a\%$ , толщина пластического слоя  $Y_{mm}$  и другие показатели. В настоящее время эти показатели определяются на образцах керна лабораторными методами. Поскольку Нерюнгринское угольное месторождение характеризуется наличием зоны многолетнемерзлых пород, достаточно большой мощностью и сложностью строения угольных пластов, представленных несколькими пачками разного петрографического состава, изменчивостью показателей качества, по площади месторождения и по глубине залегания угольных пластов. В связи с этим возникает необходимость определения показателей качества углей в естественном залегании, т.е. косвенными методами.

Перспективным направлением для решения обозначенных выше проблем при проведении геологоразведочных работ и на стадии эксплуатации является использование методик на основе математического моделирования, что значительно снижает стоимость работ в процессе эксплуатации месторождения.

Диссертационная работа связана с научным направлением лаборатории «Физики мерзлых горных пород» Технического института (филиала) ЯГУ. Работа выполнялась по планам НИР Министерства общего и профессионального образования РФ (область «Горные науки» и «Науки о Земле») в рамках тем: «Разработка методов изучения горно-геологических условий разработки угольных месторождений с использованием геофизических исследований скважин» 552.08; 550.832, «Государственная поддержка региональной научно-технической политики высшей школы и развитие ее научного потенциала» 2001/2002 г.; «Построение геолого-геофизических моделей прогноза состояния и поведения массива горных пород при технологических воздействиях», № госрегистрации 2751499, 2002/2003 г.; «Изучение пространственной изменчивости свойств угленосного массива на основе геолого-геофизической информации в условиях Южно-Якутского бассейна» 550.832:622.333, «Федерально - региональная политика в науке и образовании», 2003/2004 г. и по хоздоговорной тематике с ГУП «Якутуголь»: «Прогноз физико-механических свойств углевмещающих пород и показателей качества углей на Нерюнгринском каменноугольном месторождении по геолого-геофизическим данным», № 9/2000-98.

**Цель работы** - разработать геолого - геофизическую методику определения показателей качества углей в их естественном залегании на основе математического аппарата Марковских процессов.

### **Основные задачи исследований:**

- проанализировать геолого - геофизические методики и математические модели определения показателей качества углей;
- выполнить анализ и установить наиболее значимые факторы, влияющие на степень достоверности определения показателей качества углей в их естественном залегании;
- разработать геолого - геофизическую методику определения показателей качества углей на основе математического аппарата Марковских процессов;
- опробовать разработанную методику на Нерюнгринском угольном месторождении для определения выхода летучих веществ ( $V^{daf}$ ), влаги

аналитической ( $W^a$ ), толщины пластического слоя ( $Y$ ) и по полученным результатам построить карты изменения этих показателей на площади предстоящей добычи;

- доказать достоверность разработанной геолого - геофизической методики определения показателей качества углей Нерюнгринского месторождения на стадии опережающего геологического опробования.

#### **Методы исследования:**

- анализ и обобщение материалов об основных методиках определения показателей качества углей по геолого-геофизическим данным;

- факторный анализ при определении наиболее значимых элементов, влияющих на достоверность оценки показателей качества углей;

- математические методы моделирования для определения показателей качества углей;

- методы математической статистики и корреляционного анализа при обработке экспериментальных данных.

- вероятностно - статистические методы.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

- основными факторами, положенными в основу методики определения показателей качества углей, являются: современная глубина залегания слоя, глубина от устья скважины, зольность исследуемого слоя, литология непосредственной почвы, литология непосредственной кровли;

- моделирование показателей качества углей базируется на математическом аппарате, который описывается Марковской цепью первого порядка, представленной последовательностью элементов отражающих генетические и эпигенетические факторы формирования свойств угольного пласта;

- разработанная геолого - геофизическая методика позволяет строить карты основных показателей качества углей (выход летучих веществ ( $V^{daf}$ ), влагу аналитическую ( $W^a$ ), толщину пластического слоя ( $Y$ ), зольность ( $A^d$ )), что обеспечивает оперативное управление качеством рядового угля в процессе ведения добычных работ.

#### **Достоверность полученных результатов подтверждается:**

- достаточным объемом экспериментального материала (изучено 303 скважины), полученного на Нерюнгринском каменноугольном месторождении Южно - Якутского бассейна;

- высокой достоверностью и сходимостью данных полученных по результатам оценки показателей качества углей разработанной геолого - геофизической методике с данными лабораторных исследований керна;

- удовлетворительными результатами апробации разработанной геолого - геофизической методики определения показателей качества углей на Нерюнгринском месторождении (абсолютная и относительная погрешности составили, соответственно: для влаги аналитической - 0,10 и 10,00%, для выхода летучих веществ - 0,71 и 5,68%, для толщины пластического слоя - 1,31 и 8,80%; для зольности - 1,40 и 8,45%).

#### **Научная новизна работы заключается в следующем:**

- установлены элементы (современная глубина залегания слоя, глубина от устья скважины, зольность исследуемого слоя, литология непосредственной почвы, литология непосредственной кровли) с наибольшей вероятностью влияющие на достоверность оценки показателей качества углей Нерюнгринского угольного месторождения в их естественном залегании;

- разработана геолого - геофизическая методика определения показателей качества углей, включающая моделирование на основе математического аппарата Марковских процессов.

- полученная методика позволяет определять основные показатели качества углей - выход летучих веществ ( $V^{daf}$ ), влагу аналитическую ( $W^a$ ), толщину пластического слоя ( $Y$ ), зольность ( $A^d$ ) в их естественном залегании.

**Личный вклад автора состоит в:**

- установлении ограниченности существующих методик оценки показателей качества углей и определении подходов к построению модели, адекватно отражающей свойства углей в пределах месторождений;

- установлении основных элементов в наибольшей степени влияющих на достоверность оценки показателей качества углей;

- разработке методики определения показателей качества углей по геолого - геофизическим данным;

- апробации геолого - геофизической методики определения показателей качества углей на Нерюнгринском каменноугольном месторождении Южно - Якутского бассейна.

**Практическая ценность работы.** Разработанная геолого - геофизическая методика позволяет оперативно и достоверно определять основные показатели качества углей и строить карты, что позволяет эффективно управлять качеством рядового угля при ведении горных работ.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: IV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Нерюнгри, 2003 г.; VIII международном научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2004 г.; V научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Нерюнгри, 2004 г.; V международной многопрофильной конференции молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы современной науки», Самара, 2004 г.; всероссийской школы - семинара студентов, молодых ученых и специалистов «Математическое моделирование развития северных территорий в условиях рынка», Якутск, 2005г.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано девять печатных работ, отражающих ее основные результаты, в т.ч. одна статья в издании, рекомендованном ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав основного текста, заключения и содержит 131 страниц машинописного текста, 55 рисунков, 16 таблиц, списка литературы из 87 наименований и 2 приложений.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю проф., д.т.н. Н.Н. Грибу за постоянное внимание к работе и поддержку на всех ее этапах подготовки, а также сотрудникам Технического Института (филиала) ГОУ ВПО ЯГУ д.г.-м.н., проф. В.М. Никитину, к.ф.-м.н. С.Н. Зариповой, к.т.н. Ю.Н. Скоморошко, к.т.н. А.А. Сясько, А.В. Качаеву, А.А. Солошенко, Н.А. Ефимовой, Г.В. Гриб и Е.В. Никифоровой за ценные советы и критические замечания.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснованы актуальность, цель и задачи исследований, выбраны методы, сформулированы основные научные положения, указана научная новизна и личный вклад автора, отмечена практическая ценность, реализация и апробация работы.

**В первой главе** рассмотрены различные методики, математические модели определения показателей качества углей и геолого - геофизические особенности Нерюнгринского каменноугольного месторождения.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями определения показателей качественных параметров угольных пластов (зольность, сернистость, влажность, пластометрические показатели, удельная теплота сгорания и др.) занимались В.В. Гречухин, В.В. Попов, А.Г. Черников, А.Н. Макаров, И.И. Мороз, В.И. Уткин, М.И. Воевода, М.И. Логинов, Н.Н. Гриб, А.А. Климов, Сясько А.А., Швец В.Н.

Известные направления определения качественных показателей угольных пластов в Южно- Якутском бассейне с использованием многомерных уравнений регрессий (Н.Н. Гриб) не получили широкого признания, т.к. при определении основных свойств углей, на каждую ступень метаморфизма необходимо рассчитать отдельное уравнение, что требует увеличение объема исходных данных. Одновременное влияние большого количества факторов: физических свойств угольных пластов и вмещающих пород, степень метаморфизма углей, состава угля по литотипам, вещественного состава минеральных примесей, мощность пласта и диаметр скважины и т.д., приводит к тому, что между геофизическими параметрами и качественными показателями углей нет устойчивой корреляционной связи. В силу этого, оценка показателей качества углей по отдельным геофизическим методам или комплексу методов носит неоднозначный характер или имеет недостаточную точность.

Новое направление в разработке моделей показателей качества углей было предложено А.Г. Черниковым. Для определения вредных примесей в углях использовалась пакетная Марковская модель, позволяющая учитывать следующий комплекс геолого-геофизических факторов: степень метаморфизма, фациальные условия осадконакопления, петрографический состав углей, содержание в них минеральных примесей, литологию почвы и кровли, физические свойства угольного пласта и вмещающих пород.

Для Южно-Якутского угольного бассейна разработкой геолого-геофизических методов и технологий при изучении угольных пластов занимались Гриб Н.Н., Сясько А.А., Швец В.Н.

Сясько А.А. предложил технологию изучения выходов угольных пластов под рыхлые отложения в криолитозоне на примере Сыллахского месторождения Южно-Якутского каменноугольного месторождения. Впервые в Южно-Якутском бассейне разработана автоматизированная система обработки данных ядерно-физического опробования. Установлены корреляционные связи зольности углей с данными гамма-гамма опробования селективного, плотностного и нейтрон-нейтронного опробования, позволяющие определять зольность угольных пластов в их естественном залегании.

Методика разработанная Швец В.Н. позволяет адаптировать традиционные и создавать новые методы ядерно-физического опробования для изучения морфологии и зольности выходов угольных пластов. Применение данной

методики уменьшает затраты на получение пластопересечения на 22-44% стоимости и сокращает площадь поражения ландшафта примерно в 40 раз.

В таблице 1 описывается применимость существующих моделей используемых в методиках, где описаны геофизические и геологические методы получения первичной информации в сложных геолого-технических условиях.

Таблица 1

Модели используемые в методиках  
определения показателей качества углей

Модели используемые в известных методиках	Условия применения моделей								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Многомерная нелинейная корреляционная	-	-	0	0	+	-	+	+	-
Стохастическая	0	0	+	+	0	+	+	?	?
Марковская	+	+	+	+	0	+	?	?	?

Примечание: 1- повышенная кавернозность; 2 – низкое качество геофизических диаграмм; 3 – неполный комплекс ГИС; 4 – синтетические буровые растворы; 5 – дефицит опорных данных; 6 – низкое качество опорных геологических данных; 7 – пласты большой мощности; 8 – пласты сложного строения; 9 – мощные пласты представленные пачками разного петрографического состава; “+” – эффективна; “-” – не эффективна; “0” – применение ограничено; “?” – вопрос не проработан.

Методика, основанная на использовании многомерной корреляционной модели, базируется на связи показателей качества углей с данными геофизических исследований скважин. Недостатком данной методики является то, что коэффициенты, которые рассчитываются по выборкам для конкретного района, в какой-то мере учитывают распределение качественных характеристик в зависимости от петрографического состава. Но не учтено суммарное воздействие на физические свойства углей таких мощных факторов, как метаморфизм и зольность. Использование многомерной корреляционной модели при определении показателей качества углей так же не учитывает зависимость от скважинных условий (диаметра скважины, бурового раствора, мощности пласта), что вносит дополнительные ограничения ее применения.

Методика, в которой используется стохастическая модель помимо таких характеристик, как зольность, мощность слоя, учитывает и взаимодействие с окружающей обстановкой (литология почвы и кровли). К недостаткам данной методики, следует отнести неспособность учитывать большое количество факторов, которые в той или иной степени влияют на достоверность определения показателей качества углей. Усложнение скважинных условий (кавернозность; синтетические буровые растворы) делают невозможным её применение. При определении показателей качества углей в интервалах высоких значений градиентов метаморфизма необходимо рассчитывать на каждую степень метаморфизма отдельное уравнение, что потребует увеличение объема исходных данных. Недостатком так же является повышенное требование к представительности опорной выборки, что может быть обеспечено только на стадии эксплуатации. В методике, основанной на марковской модели, положен принцип учета системного воздействия условий осадконакопления и преобразования осадков на параметры качества угля.



Таблица 2

## Характеристика углей пласта «Мощный» (в %)

Элементный состав углей						
$C^{daf}$	$H^{daf}$	$S_t^d$	$P^d$			
$\frac{90,26 - 91,79}{91,03}$	$\frac{4,70 - 31,9}{4,87}$	$\frac{0,14 - 0,36}{0,25}$	$\frac{0,003 - 0,061}{0,389}$			
Показатели качества						
$W^a$	$A^d$ угля	$A^d$ с прослоем	$V^{daf}$	$Y$ , мм	$R_o$	$\Sigma OK$
$\frac{0,2 - 1,2}{0,7}$	$\frac{10,4 - 31,9}{21,15}$	$\frac{11,5 - 39,0}{25,25}$	$\frac{18,0 - 28,0}{23,0}$	$\frac{9,0 - 28,0}{18,5}$	$\frac{1,50 - 1,63}{1,57}$	14,0

Сформировавшийся под воздействием многочисленных влияющих друг на друга, факторов (генетических и эпигенетических) угольный пласт, с позиции системного анализа, рассматривается как система. Устойчивость системы определяет внутрипластовое давление, тем большее (на равных стадиях углефикации), чем ниже проницаемость боковых пород.

Состояние угольного пласта отражается в его естественных и искусственных физических полях, изучаемых методом селективного гамма-гамма каротажа и гамма каротажа, характеризуется изменением физических свойств углей, вмещающих пород и показателей качества углей в зависимости от степени метаморфизма (по классификации Гречухина В.В.). Использование геофизических методов исследований скважин позволяет изучать качественные и количественные свойства угольного пласта (литологический состав, мощность и глубину залегания, показатели качества углей, физические свойства горных пород).

Изменение физических свойств вмещающих пород так же как и показателей качества углей зависит от максимальной палеоглубины погружения в период максимального метаморфизма углей и эпигенеза пород. Данная глубина в период прогрессивного эпигенеза, когда формировались физические свойства пород и показатели качества углей, составляла 4400-5150 м при температуре 110-130 °С. Для Южно-Якутского бассейна установлено, что с увеличением палеоглубины погружения увеличиваются: удельное электрическое сопротивление вмещающих пород от 100 Ом.м, до 450 Ом.м, скорость распространения продольных волн от 3,5 км/с до 5 км/с, плотность насыщенных водой пород от 2,5 г/см<sup>3</sup> до 2,7 г/см<sup>3</sup>, плотность сухих пород от 2,42 г/см<sup>3</sup> до 2,6 г/см<sup>3</sup>, также возрастает отражательная способность витринита от 80% до 90%, и уменьшаются пористость пород от 8% до 2%, выход летучих веществ от 45% до 15% и снижается влажность рабочая от 0,3% до 0,2% (Гриб, 1994).

Для Южно-Якутского бассейна при определении показателей качества углей использовались многомерные уравнения регрессии, но не получили широкого признания, так как на каждую ступень метаморфизма необходимо рассчитать отдельное уравнение, что требует увеличения объема исходных данных. Одновременное влияние большого количества факторов: физических свойств угольных пластов и вмещающих пород, степень метаморфизма углей, состава угля по литотипам, вещественного состава минеральных примесей, мощность пласта и

диаметр скважины и т.д., приводит к тому, что между данными измеряемыми геофизическими методами и качественными показателями углей нет устойчивой корреляционной связи. В силу этого, определение показателей качества углей по геолого-геофизическим данным носит неоднозначный характер или имеет недостаточную точность.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что несмотря на большой объем исследований, определение основных показателей качества углей по данным геолого-геофизических исследований без применения математического моделирования нецелесообразно. Не существует методик определения показателей качества мощных угольных пластов, а также пластов сложного строения представленных несколькими пачками разного петрографического состава.

Перспективным направлением для решения обозначенных выше проблем при проведении геологоразведочных работ является привлечение методов математического моделирования для разработки методики определения показателей качества углей позволяющих проводить углубленный анализ полученной информации в процессе разведки и эксплуатации месторождения. Поэтому разработка геолого - геофизической методики определения показателей качества углей на основе математического аппарата Марковских процессов является актуальной научной задачей.

**Во второй главе** рассмотрены основные элементы, отражающие эпигенетические и генетические факторы формирования свойства угольных пластов входящих в основу разработки методики определения показателей качества углей. На рисунке 1 приведены координаты скважин на базе геолого-геофизических материалов которых, разрабатывалась методика определения показателей качества углей.

Показатели качества углей сформировались в результате воздействия двух групп факторов - первичных (генетических) и вторичных (эпигенетических). К первичным факторам следует отнести следующие: интенсивность тектонических движений, исходный органический материал, условия накопления органической и минеральной массы обусловленные палеорельефом, гидрогеологической обстановкой и палеоклиматическими условиями, химический состав среды, вещественный состав подстилающих и перекрывающих пород, а так же другие факторы. Совокупность этих факторов можно определить как фациальные условия осадконакопления.

К вторичным относятся - температура и давление на глубине максимального погружения, а так же и геологическое время.

Таким образом, совместное воздействие перечисленных факторов формирует угольный пласт, его характеристики, выражающиеся через морфологию, петрографический состав, восстановленность, степень метаморфизма, окисленность, нарушенность, показатели качества и физические свойства.

Важнейшим этапом в разработке методики определения показателей качества углей является выбор значимых геологических факторов и оценка их влияния на достоверность определения показателей качества углей в их естественном залегании.

В качестве наблюдаемых элементов системы, отражающих *генетические* факторы, можно принять: литотипы в кровле и почве угольного пласта, зольность угольного пласта (рис. 2, 3, 4). Литотипы в кровле и почве определяют герметичность, а следовательно энерго- и массообмен в системе уголь-вмещающие породы. Зольность пласта отражают фациальные условия углеобразования.

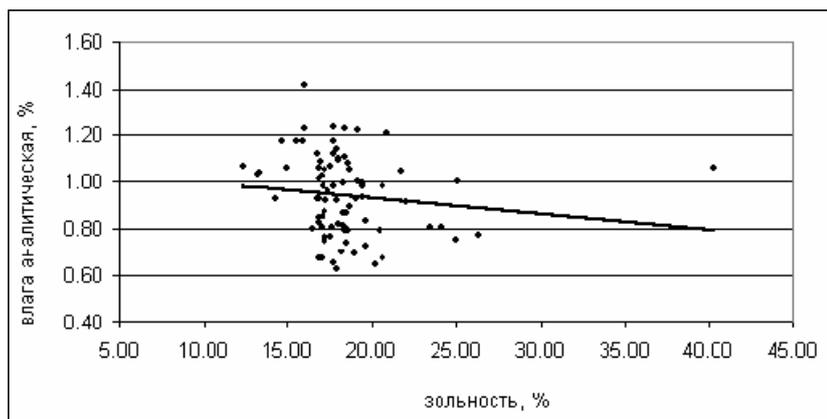


Рис. 2. Поле корреляции и график зависимости  $W^a$ , % от  $A^d$ , %  
 $W^a = 1,06 - 0,01A^d$   $R=0,63$

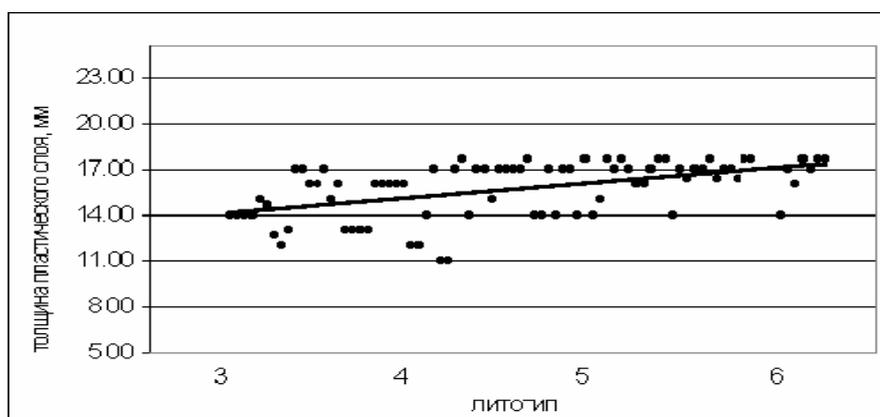


Рис. 3. Связь значений  $Y$ , мм с литологическим составом кровли  
 $Y = 15,35 - 0,16L_k$   $R = 0,65$

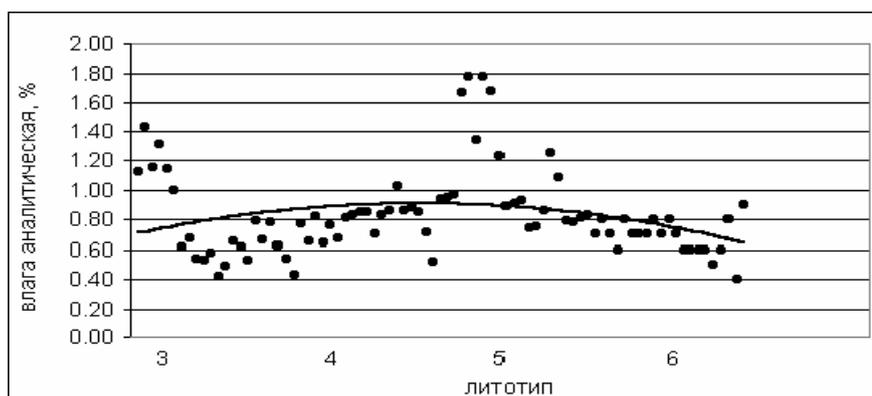


Рис. 4. Связь значений  $W_a$ , % с литологическим составом почвы  
 $W^a = 0,70 + 0,01L_{II} - 0,01 L_{II}^2$   $R = 0,63$

По оси абсцисс отложены номера литотипов в почве слоя: 1 - уголь, 2 - углистый аргиллит, 3 - алевролит, 4 – песчаник м/з, 5 - песчаник с/з, 6 - песчаник к/з и конгломерат.

Анализ влияние *эпигенетических* факторов выполнялся путем рассмотрения изменения показателей качества от абсолютной глубины залегания пласта и глубины от устья скважины. На рисунках 5 и 6 представлена зависимость выхода летучих веществ с абсолютной глубиной и влаги аналитической с глубиной от устья скважины.

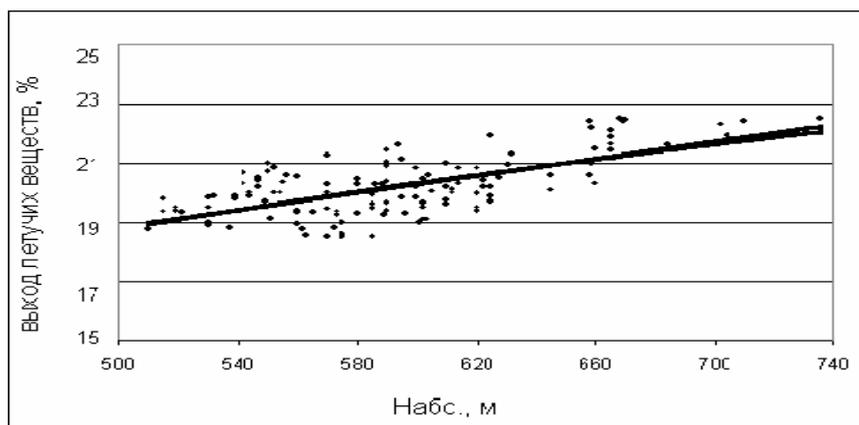


Рис. 5. Поле корреляции и график зависимости  $V^{daf},\%$  от  $Набс., м$   
 $V^{daf} = 0,01N_{абс} + 20,65 \quad R=0,86$

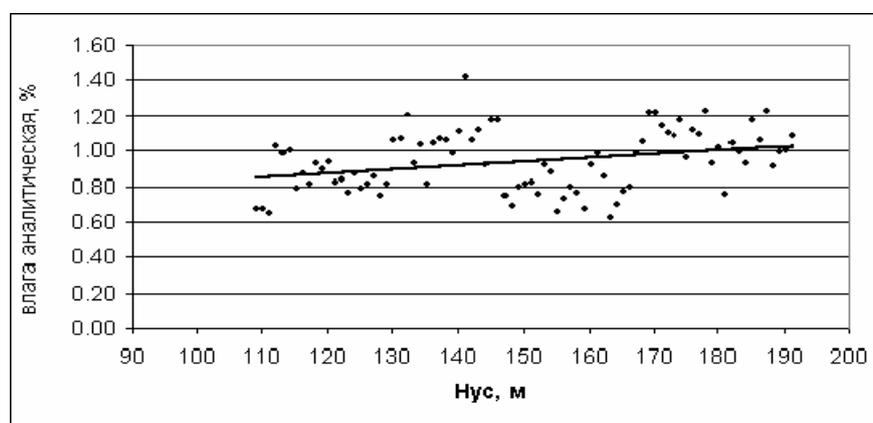


Рис. 6. Поле корреляции и график зависимости  $W^a, \%$  от  $Н_{ус}, м$   
 $W^a = 0,03 N_{ус} - 0,97 \quad R= 0,64$

Так же рассматривалось изменение значений показателей качества в зависимости от расположения изучаемого слоя от границы мерзлоты. Нижней границе мерзлоты соответствует значение 0. Глубины ниже границы обозначены положительными числами, выше - отрицательными. На рис. 7 представлен график зависимости выхода летучих веществ от границы мерзлоты. Очевидно выход летучих веществ с приближением к этой зоне уменьшается.

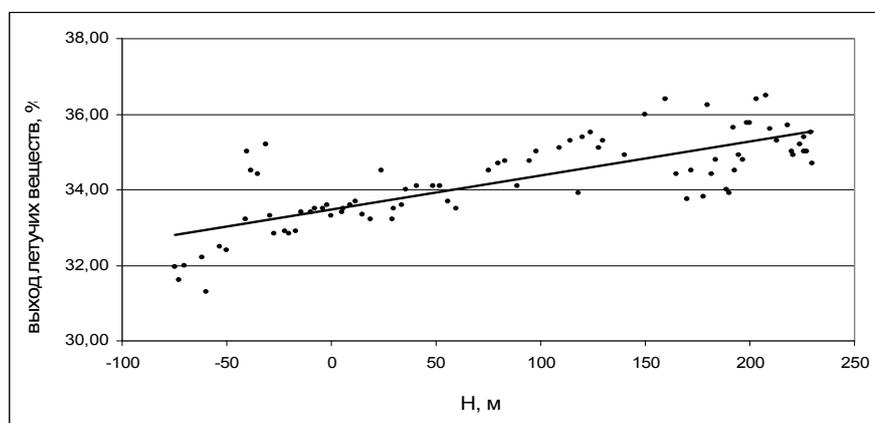


Рис. 7. Поле корреляции и график зависимости  $V^{daf}, \%$  от границы мерзлоты  
 $V^{daf} = 0,0089N + 33,48 \quad R=0,77$

В результате выполненного анализа были установлены основные элементы, отражающие эпигенетические и генетические факторы формирования свойства угольных пластов входящих в основу методики определения показателей качества углей. К ним относятся:

1. Современная глубина залегания слоя.
2. Глубина от устья скважины.
3. Зольность исследуемого слоя.
4. Литология почвы.
5. Литология кровли.

**В третьей главе** представлена разработка геолого - геофизической методики на основе математического аппарата Марковских процессов, позволяющая определять основные показатели качества углей.

На первом этапе разработки геолого-геофизической методики был выполнен расчет многомерного уравнения регрессии для зависимости  $V^{daf}$  от перечисленных элементов.

$$V^{daf} = -37,209 - 0,004N_{yc} + 0,101N_{abc} - 1,122 L_k - 0,438L_n - 0,597A^d$$

Однако полученная связь характеризуется низким значением коэффициента множественной корреляции ( $R=0.575$ ), что делает проблематичным корреляционный подход к решению поставленной задачи.

Предложенная методика определения показателей качества углей основана на математическом аппарате Марковских процессов. Математическая постановка задачи заключается в следующем.

Пусть в каждый момент времени некоторая система  $X_1, X_2, \dots, X_n$  может находиться в одном из *состояний*  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$  (число состояний конечно или счетно). Если система случайно переходит из одного состояния, например  $x_i$ , в другое, например  $x_j$ , то говорят, что в системе происходит случайный процесс. Если при этом вероятность перехода из состояния  $x_i$  в состояние  $x_j$  зависит только от состояния  $x_i$  и не зависит от того, когда и как система пришла в это состояние, то случайный процесс  $X_n$  называют *Марковским*.

Частным случаем Марковского процесса является цепь Маркова, для которой вероятность перехода из одного состояния в заданное за последующий шаг зависит только от предшествующего состояния.

Основная задача состоит в прогнозировании состояния процесса для будущего момента времени  $n' > n$  на основании зарегистрированной траектории  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$  до момента  $n$ .

Вектор  $G_{ij}$  перехода системы из состояния  $x_{in}$  в состояние  $x_{jn-1}$  назовем вектором переходных состояний.

Накапливая все возможные состояния  $G_{ij}$  системы получаем матрицу накопленных частот  $G = \|G_{ij}\|$ .

Элементы матрицы  $ij$  равны числу пар  $(x_n, x_{n-1})$  таких, что  $x_n = i, x_{n-1} = j$ . Строка  $i$  частотной матрицы показывает число переходов из  $i$ -го состояния в любое из возможное, а  $j$ -ый столбец число переходов из любого возможного состояния в состояние  $i-1$ .

Полученная матрица частот преобразуется в матрицу переходных вероятностей

$$P = \|P_{ij}\|,$$

где  $P_{ij} = P\{X_{n+1} = j \mid X_n = i\}, i, j = 1, 2, \dots$

Элементы матрицы определяются следующим образом:

$$P_{ij} = \frac{G_{ij}}{\sum_{i=1}^n G_{ij}}$$

В качестве решения задачи распознавания неизвестного параметра по набору матриц накопленных частот  $\|G_{ij}\|$  принимаются вероятности с наибольшими значениями.

Методика определения показателей качества углей по геолого-геофизическим данным включает в себя: моделирование и распознавание искомого показателя качества.

1) Моделирование, заключающееся в создании обобщенного образа структурированной совокупности геологических факторов, выраженных посредством порожденной ими совокупности геолого-геофизических проявлений, наблюдаемых и интерпретированных в процессе геолого-геофизических исследований.

Формирование модели показателей качества углей на участке исследования начинается с конкретизации переменных, входящих в вектор марковской модели. Вектор переменных состоит из 2-х групп числовых последовательностей, отражающих факторы формирования показателей качества углей — генетические и эпигенетические. Слияние двух векторов позволяет получить составной вектор состояний, представляющий собой Марковскую последовательность событий, сформировавших свойства угольного пласта.

Вектор переменных имеет следующую структуру:

$$X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow h \rightarrow L_k \rightarrow L_n \rightarrow S \rightarrow n \rightarrow m(p) \rightarrow m(y) \rightarrow I_{ггкс} \rightarrow I_{гк} \rightarrow A^d, \quad (3)$$

где  $X, Y, Z, h$  – координаты интервала;

$L_k, L_n$  – литотип кровли и почвы;

$n$  – индекс пачки пласта;

$S$  – индекс среды (1-вода, 2 –воздух);

$m(p), m(y)$  – мощность угля и пласта;

$I_{ггкс}, I_{гк}$  – геофизический параметр методов мГГК-с и ГК;

$A^d$  – зольность рассчитанная методом корреляционно-регрессионного анализа.

Кроме основных геологических факторов для учета влияния петрографического состава углей и содержания в них минеральных примесей в структурный вектор так же включены индекс пачки пласта ( $n$ ), геофизический параметр, измеряемый методами мГГК-с и ГК и координаты рассматриваемого интервала  $X, Y$ . Мощности пачек и угля (без породных и углистых прослоев) взяты в качестве системообразующих элементов, так как от них зависит степень постоянства показателей качества углей. Необходимо включить индекс среды  $S$ , так как на геофизические параметры влияет среда (воздух, вода), тем более, что верхняя граница уровня воды, как правило, контролируется мощностью многолетних мерзлых пород.

Модель рассчитывалась отдельно для каждого показателя качества углей.

2) Распознавание, заключающееся в том, что по структурированной совокупности наблюдаемых и интерпретированных геолого-геофизических проявлений дается вероятностный расчет искомым параметров, для которых прямое наблюдение или интерпретация являются невозможными или нецелесообразными по технологическим или экономическим соображениям.

3) Оценки достоверности.

На этом этапе выполняется статистическая оценка достоверности рассчитанных показателей, а также сопоставление расчетных и наблюдаемых значений исследуемых параметров.

**В четвертой главе** рассмотрена апробация разработанной методики определения показателей качества углей пласта «Мощный» Нерюнгринского угольного месторождения

С целью управления качеством угольной продукции в регламент работ разреза «Нерюнгринский» включено опережающее геологическое опробование показателей качества углей: перспективное опережающее опробование (ПОО) с сетью скважин  $50 \times 50$  м и оперативное опережающее опробование с сетью скважин  $14 \times 14$  м.

Задачей перспективного опережающего опробования является геологическое обеспечение перспективного планирования добычи угля с заданным качеством. ПОО входит как составная часть в эксплуатационную разведку месторождения, которая ведется с целью уточнения морфологии угольного пласта, тектоники карьерного поля, технологических свойств угля и для решения других геологических вопросов, возникающих в процессе разработки месторождения.

Для оперативного управления качеством угольной продукции, на стадии перспективного опережающего опробования необходима информация об основных показателях качества угольного пласта.

Зольность угольных пластов рассчитывалась методом регрессионного анализа. Особенности фациальных условий осадконакопления отображаются в значениях и изменчивости зольности, в связи с чем, зольность должна присутствовать в структурном векторе. На Нерюнгринском месторождении использовались различные геофизические методы определения зольности угля, основным является метод определения зольности по данным мГГК-с (селективного микро гамма - гамма каротажа). Этот метод позволяет получить достоверные определения зольности, в тех случаях, когда геологическое опробование не кондиционно.

Пласт «Мощный» Нерюнгринского угольного месторождения представлен большим различием минерального состава золы в разных пачках угля. В связи с этим, был использован метод литологического расчленения разрезов углеразведочных скважин по геофизическим данным. Пласт «Мощный» был разделен на пять угольных пачек и один безугольный (породный прослой).

Устанавливалась корреляционная зависимость между параметром  $I_{отн.}$  (относительной интенсивностью гамма – излучения измеряемой методом мГГК-с) и показателем зольности.

Было доказано, что связь параметра  $I_{отн.}$  с зольностью  $A^d$  достаточно тесная (Рис.8). По установленным регрессионным зависимостям  $A^d = f(I_{отн.})$  рассчитана зольность углей пласта «Мощный» по составляющим его пачкам. Уравнения регрессии приведены в таблице 3.

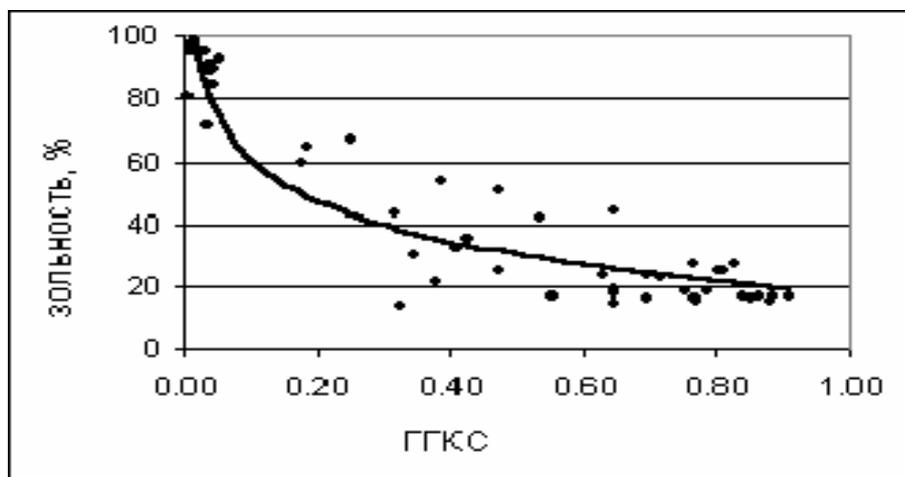


Рис. 8. Поле корреляции и график зависимости зольности ( $A^d$ , %) от геофизического параметра ( $I_{отн.}$ ) [3 пачка]

Зависимость зольности ( $A^d, \%$ ) от геофизического параметра (Iотн.)  
для пласта «Мощный» по составляющим его пачкам

пачка	R	Уравнение регрессии
для 1	0,84	$A^d = -14,86 * \ln(Iотн.) + 8,78$
для 2	0,91	$A^d = 15,34 * (Iотн.)^{-0,31}$
для 3	0,88	$A^d = 94,96 * \text{EXP}(-2,11 * (Iотн.))$
для 4	0,84	$A^d = 93,38 * \text{EXP}(-2,07 * (Iотн.))$
для 5	0,91	$A^d = -13,04 * \ln(Iотн.) + 19,82$

По разработанной методике для пласта «Мощный» Нерюнгринского угольного месторождения были рассчитаны значения основных показателей качества: влаги аналитической, выхода летучих веществ, толщины пластического слоя. По полученным результатам построены карты изменения показателей качества угля по площади полосы добычи 2005 года (рис. 9).

Значения зольности изменяются с 10 % до 23 % в северо - восточном направлении участка и с 15 % до 22 % в западной части участка. Выход летучих веществ в пределах участка достигает максимальных значений на северо – востоке около 20 % и минимальных значений на западе, около 18 %. Значения толщины пластического слоя колеблются в пределах 12 мм в северо – восточной части полосы и уменьшаются в западном направлении, достигая 7 мм в районе западной границы полосы отработки 2005г. Влага аналитическая изменяется от 0,85 % до 1,35 % на северо – востоке и уменьшается в западном направлении достигая минимальных значений 0,6 %.

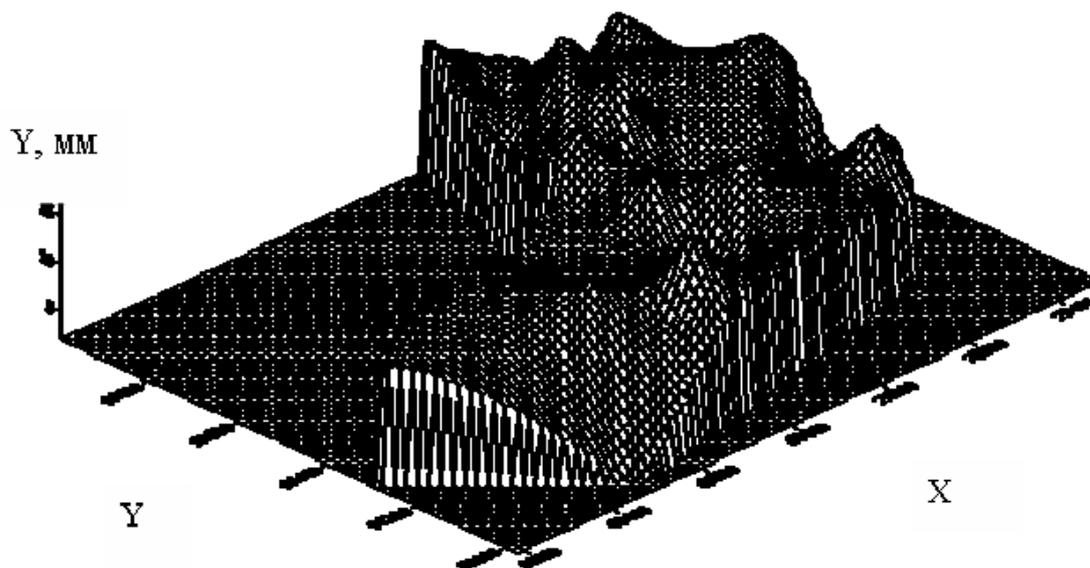


Рис. 9. Изменение  $Y, \text{мм}$  по полосе добычи 2005 г.

Полученные карты изменения основных показателей качества углей позволяют с достаточной степенью достоверности выделить участки пласта, в пределах которых находятся зоны углей, показатели которых не отвечают требованиям к качеству угольной продукции, идущей на обогатительную фабрику, что позволило повысить эффективность управления качеством рядового угля в процессе добычных работ на полосе добычи 2005 года. Детальная информация об основных показателях качества углей позволяет оперативно направлять и разделять добываемый уголь по его технологическим свойствам для переработки на обогатительной фабрике или для энергетических целей, что повышает рациональное использование угля с учетом требований рынка потребителей.

Достоверность определения основных показателей качества углей подтверждена путем сопоставления с данными геологического опробования (рис. 10). Результаты оценки достоверности представлены в таблице 4.

Таблица 4

Анализ оценки достоверности определения показателей качества углей

Показатели качества	$\delta, \%$	n	$\sigma$	R	$\frac{ F_{рас} }{F_{таб}}$
$A^d, \%$	8,45	85	1,40	0,77	$d=0,05$ 0,46
Y, мм	8,80	85	1,31	0,84	$d=0,01$ 0,68
$W^a, \%$	10,0	85	0,10	0,70	$d=0,05$ 0,72
$V^{daf}, \%$	5,68	85	0,71	0,80	$d=0,01$ 0,97

Условные обозначения:  $\delta$  - относительная ср. кв. погрешность, %;  $F_{таб}$  - табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 0,05;  $F_{рас}$  - расчетное значение критерия;  $t_{d=0,05}$  - табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости 0,05;  $t_d$  - расчетное значение критерия;  $\sigma$  - абсолютная ср. кв. погрешность; R - коэффициент корреляции;

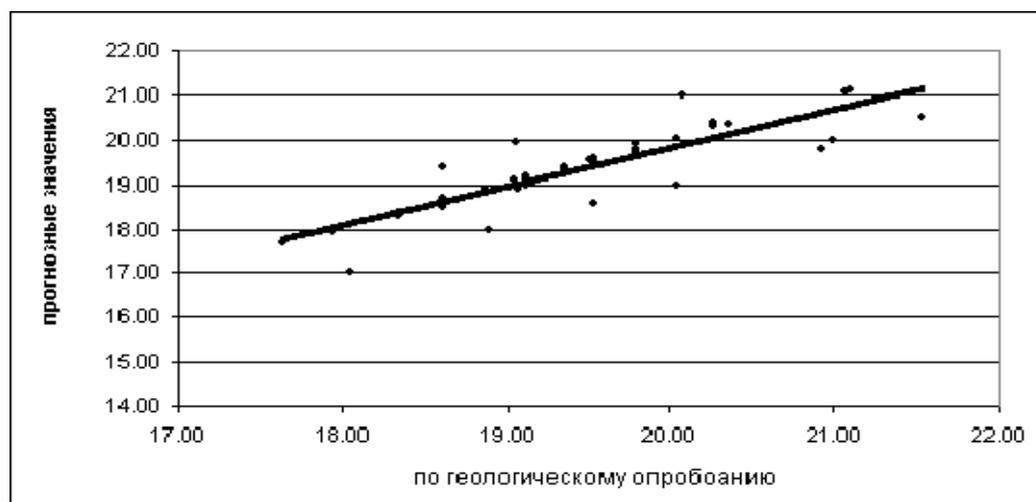


Рис. 10. Сопоставление расчетных значений  $V^{daf}, \%$  со значениями геологического опробования.

Оценка достоверности результатов определения показателей качества углей доказывает работоспособность разработанной методики. Полученные погрешности отвечают требованиям угольной промышленности (абсолютные погрешности ( $\sigma$ ) составили меньше 3 %, относительные погрешности ( $\delta$ ) меньше 10 %). Это дает возможность использовать методику на Нерюнгринском угольном месторождении в процессе опережающего опробования, что позволяет оперативно управлять качеством угольной продукции и планировать ведение горных работ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно – квалификационной работой, в которой содержится решение задачи определения показателей качества углей в их естественном залегании на основе математического аппарата Марковских процессов, имеющей существенное значение в области горно-промышленной геологии и геофизики.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Сформирована база геолого-геофизических данных из 303 скважин для пласта «Мощный» Нерюнгринского угольного месторождения.
2. Пласт «Мощный» Нерюнгринского угольного месторождения представлен большим различием минерального состава золы. В связи с этим, применяя метод литологического расчленения разрезов углеразведочных скважин, по геофизическим данным, пласт «Мощный» был разделен на пять угольных пачек и один безугольный (породный прослой).
3. Установлены регрессионные зависимости между зольностью ( $A^d$ , %) углей и геофизическим параметром метода мГГК-с (Ютн). По полученным уравнениям рассчитана зольность углей для пласта «Мощный» по составляющим его пачкам.
4. При формировании структурного вектора переменных для определения показателей качества углей выявлены наиболее значимые геологические факторы и выбрано их местоположение путем последовательного приближения к минимальной погрешности.
5. Разработана методика определения основных показателей качества углей: выход летучих веществ ( $V^{daf}$ , %), влага аналитическая ( $W^a$ , %), толщина пластического слоя ( $Y$ , мм).
6. Полученная методика определения показателей качества углей адаптирована к условиям Нерюнгринского угольного месторождения.
7. Оценка достоверности разработанной методики показывает, что абсолютная и относительная погрешности составили соответственно: для влаги аналитической - 0,70 и 9,8%, для выхода летучих веществ - 0,80 и 5,68%, для толщины пластического слоя - 1,31 и 8,80 %.
8. Анализ результатов определения показателей качества углей по геолого-геофизическим данным показал, что полученные погрешности лежат в пределах допустимых требований ГКЗ и угольной промышленности, не превышают погрешности геологического опробования и могут быть реализованы в процессе перспективного и оперативного планирования добычных работ на Нерюнгринском угольном месторождении.

### **Основные результаты диссертации опубликованы в работах:**

1. Гриб Н.Н. Математическое моделирование показателей качества углей / Гриб Н.Н., Шумилова О.Л. // Препринт. – Якутск: Изд-во ЯГУ, 2005. – 43 с.
2. Шумилова О.Л. Прогнозирование зольности угольного пласта «Мощный» Нерюнгринского месторождения / Шумилова О.Л. // Материалы седьмого международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2003. – С.372–373.
3. Шумилова О.Л. Прогнозирование зольности угольных пластов Эльгинского каменноугольного месторождения / Шумилова О.Л. // Материалы IV Научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Нерюнгри, 2003. – С.120–121.
4. Шумилова О.Л. Результаты определения показателей качества пласта «Мощный» Нерюнгринского угольного месторождения / Шумилова О.Л. // Материалы восьмого международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2004. – С.216–218.
5. Шумилова О.Л. Моделирование пространственной изменчивости показателей качества углей пласта «Мощный» / Шумилова О.Л. // Материалы II Всероссийской школы-семинара студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Математическое моделирование развития северных территорий в условиях рынка». – Якутск, 2004. – С.60–61.
6. Шумилова О.Л. Оценка определения показателей качества углей пласта «Мощный» Нерюнгринского месторождения / Шумилова О.Л. // Материалы V Научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Нерюнгри, 2004. – С.70–71.
7. Шумилова О.Л. Моделирование пространственной изменчивости показателей качества углей (пласт «Мощный» Нерюнгринский угольный разрез) / Шумилова О.Л. // Материалы 5-ой Международной многопрофильной конференции молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы современной науки». – Самара, 2004. – С.63–65.
8. Шумилова О.Л. Анализ геолого-геофизической информации при расчете качественных показателей углей и составлении цифровой модели для Нерюнгринского угольного месторождения / Шумилова О.Л. // Материалы III Всероссийской школы-семинара студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Математическое моделирование развития северных территорий в условиях рынка». – Якутск, 2005. – С.18–19.
9. Шумилова О.Л. Основные геологические факторы, влияющие на формирование показателей качества углей (на примере Нерюнгринского угольного месторождения) / Шумилова О.Л. // Известия Томского Политехнического университета. – 2006. - Т.309. – №4. – С.47–51.