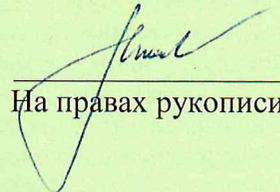


✓

A  
Т-19

  
На правах рукописи

**Тарасов Дмитрий Александрович**

**ЗАВИСИМОСТЬ БЕЛИЗНЫ БУМАГИ ДЛЯ  
ПЕЧАТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ В НЕЙ  
МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

05.21.03 – Технология и оборудование химической  
переработки биомассы дерева; химия древесины

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 03.07.2018г. Объем 1.0 авт.л. Заказ № 422. Тираж 100.  
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. ФГБОУ ВО «Уральский госу-  
дарственный лесотехнический университет». Отдел оперативной полиграфии.

Екатеринбург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в Институте «Радиоэлектроники и информационных технологий», департамент «Информационных технологий и автоматике».

Научный руководитель: Тягунов Андрей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент

Научный консультант Вураско Алеся Валерьевна, доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Казаков Яков Владимирович, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Житнюк Виталий Анатольевич, кандидат технических наук, гл. технолог АО «Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Защита состоится «17» октября 2018 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.281.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, к. 401. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

A-1845

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, доцент

Шишкина  
Елена Евгеньевна

Научная библиотека  
УГЛТУ  
г. Екатеринбург

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** При восприятии качества полиграфической продукции наиболее важным свойством бумаги для печати является ее белизна. Влияние содержания минеральных веществ на белизну бумаги велико, однако производители не раскрывают информацию о составе наполнителей в бумаге и меловальных слоях. Ситуация осложняется отсутствием на большинстве полиграфических производств контроля белизны бумаги. Наличие удобного производственного метода определения белизны бумаги для печати с использованием существующей измерительной базы, а также модель, отражающая влияние минерального состава бумаги на ее белизну, облегчит входной контроль качества поступающего сырья и, таким образом, улучшит качество выпускаемой продукции. Кроме того, производители бумаги смогут более гибко варьировать ее состав для достижения заданных свойств. Таким образом, работа является актуальной.

**Степень разработанности проблемы.** Белизна – комплексное свойство визуального ощущения, характеризующее степень приближения предмета к белому по силе его повышенной яркости, высокой рассеивающей способности и минимальному цветовому оттенку. Известно, что оттенок бумаги для печати появляется исключительно как результат технологии производства. Структура впитывающих запечатываемых материалов состоит из: волокистого материала, наполнителей, проклеивающих средств, покровных слоев и оптических отбеливателей. Каждый из этих компонентов имеет свою белизну и оттенок. Свойства воды, используемой в технологических процессах и посторонние включения, также оказывают влияние на белизну и оттенок всей композиции. В литературе неоднократно показано, что между печатными и оптическими свойствами бумаги существует устойчивая взаимосвязь. При маркировке бумаги производители зачастую указывают противоречивую информацию. Так, параметр «белизна» может быть указан в соответствии с двумя действующими международными стандартами по одной из методик, различающихся размерностью результата.

Методом согласно ГОСТ 30113-94 определяется интегральный (т.е. без учета спектральной информации) показатель белизны и показывается, как свет диффузно отражается в пределах видимого спектра при эффективной длине волны 457 нм. Измерение белизны в процентах к эталону по этому методу производится с помощью фотометров, соответствующих ГОСТ 30116-94, путем сравнения с эталонным образцом, в качестве которого используют сернокислый барий (ГОСТ 3158-75), оксид магния, диоксид титана или пластины из отражающего нейтрального стекла. Данный метод показывает лишь насколько больше или меньше света в видимой зоне спектра способен отразить данный образец в сравнении с эталоном, при этом белизна может превышать 100%. Причём, без указания эталона эта информация не имеет смысла.

Согласно методике Международной комиссии по освещению (МКО), производится измерение коэффициента диффузной энергетической яркости в

полной видимой области спектра в условиях освещенности от различных источников света и разных типов наблюдателя (ГОСТ Р ИСО 11475, 11476). Метод позволяет оценить степень белизны образца, содержащего оптически отбеливающие вещества и элементы оттеночного красителя. Однако метод может использоваться только при условии применения стандартизованного спектрофотометрического оборудования, что ограничивает область его применения, поскольку полиграфические спектрофотометры не входят в реестр средств измерений РФ. Кроме того, измеряемый образец должен иметь высокую степень белизны. Для расчета белизны  $W$  и оттенка  $T_w$  бумаги для 2° наблюдателя в условиях освещения от источника света типа C МКО предложена формулы (1) и (2) соответственно

$$W = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y), \quad (1)$$

$$T_w = 1000(x_n - x) - 650(y_n - y). \quad (2)$$

где  $Y$  – трехстимульное  $Y$ -значение образца;  $x$  и  $y$  – координаты его цветности;  $x_n$  и  $y_n$  – координаты цветности идеального отражающего рассеивателя. Формулы (1) и (2) применяются для практически белых материалов. Область применения:  $-4 < T < 2$ ,  $40 < W < 5Y - 280$ . По МКО белизна выражается в условных единицах.

Матрица фотоэлементов современных полиграфических спектрофотометров выдает информацию о распределении энергии по всему видимому спектру излучения отраженного, поглощенного или пропущенного образцом. Значения цветовых координат и колориметрические индексы вычисляются программным обеспечением (ПО) приборов на основании спектральных значений. Целесообразно использовать эту технику для оценки оптических свойств бумаги для печати. Сложность могут представлять расчеты показателей белизны и оттеночности и продолжительность проведения этих расчетов. В условиях производства удобно было бы использовать сравнительный метод, однако удобного эталона или модели белой бумаги до сих пор не предложено.

В результате анализа литературы обнаружены следующие проблемы: данные об оттенке производителями бумаги для печати не приводятся; белизна по МКО рассчитывается из координат цветности и выражается в условных единицах, тогда как белизна по ISO выражается в процентах и любое отклонение от 100% свидетельствует о цветовом оттенке, прямое сравнение белизны по ISO и по МКО невозможно; качество печатной продукции должно соответствовать ГОСТ Р 54766-2011 (ISO 12647-2), где установлены требования к бумаге, в частности МКО *Lab* координаты для основных типов бумаги для печати, однако не предложено метода оперативной оценки качества бумаги по этому стандарту; в настоящий момент не предложено модели связи содержания минеральных веществ в наполнителях бумаги и меловальных слоев и белизны бумаги.

**Объектами исследования** являются матовая мелованная бумага для печати, бисульфитная беленая техническая целлюлоза (ББТЦ) в отливках и немелованная бумага для печати в качестве образцов для сравнения, спектрофотометрическое измерительное оборудование.

**Предметом исследования** является белизна бумаги для печати, минеральный состав бумаги для печати, влияние минерального состава на белизну.

**Область исследования.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с п.5 «Химия и физика бумаги.», п.6 «Химия и технология бумаги и картона», п.7 «Технология изделий и упаковки из бумаги и картона» и п.18 «Сертификация, стандартизация и управление качеством в области технологии и оборудования химической переработки биомассы дерева» паспорта специальностей ВАК РФ по специальности 05.21.03 Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины (технические науки).

**Цель работы:** разработать оперативную производственную методику контроля белизны бумаги для печати с возможностью прогнозирования белизны по известному минеральному составу наполнителей в бумаге и меловальных слоях.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие научные задачи:

1. Рассмотреть оптические характеристики матовой мелованной бумаги для печати в связи с ее производственным назначением, и выявить основные требуемые на производстве параметры.
2. Оценить метрологические характеристики измерительного оборудования, применяемого на современных полиграфических предприятиях.
3. Определить минеральный состав бумаги для печати.
4. Выявить связь белизны бумаги для печати и ее минерального состава.
5. Предложить новую модель бумаги с идеализированным спектром (БИС) для сравнительной оценки белизны.
6. Разработать новую производственную методику оперативной оценки белизны мелованной бумаги для печати, пригодную для проведения входного контроля.
7. Построить нейросетевую модель зависимости состава бумаги от ее белизны, позволяющую прогнозировать белизну по известному минеральному составу.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в работе задач использовались: физико-химические методы (измерение оптических спектров отражения образцов, рентгено-флуоресцентный анализ содержания химических элементов в образцах бумаги), вычислительные и аналитические методы (корреляционный анализ, методы кластерного анализа и методы математической статистики и дискретной математики при анализе спектров и состава образцов и выявления их взаимозависимостей, методы системного анализа и проектирования, компьютерное моделирование, теория алгоритмов и теория объектно-ориентированного моделирования и программирования для создания программ в среде Matlab, теория реляционных баз данных для хранения и сортировки данных, теория искусственных нейронных сетей для создания модели зависимости белизны бумаги от ее состава). Методы, применяемые в данной работе, являются хорошо известными и зарекомендовавшими себя при проведении подобных исследований.

**Научная новизна.**

1. Впервые показана взаимосвязь минерального состава бумаги и ее белизны.
2. Впервые предложена модель бумаги с идеализированными свойствами, которую удобно использовать при сравнительном анализе различных типов бумаги.
3. Разработан и апробирован новый производственный метод оценки белизны бумаги для печати.
4. Впервые предложена эмпирическая модель, связывающая белизну бумаги и ее минеральный состав.

**Теоретическая значимость.** Предложенный подход к оценке белизны бумаги позволяет на его основе создать методику и отраслевой стандарт. Анализ влияния содержания минеральных компонентов в бумаге на ее белизну, а также нейросетевая модель могут быть использованы в качестве методики при разработке новых сортов бумаги

**Практическая значимость.** Предложенный подход позволил обосновать статистически значимый производственный метод оценки белизны бумаги для печати. Данный метод в сочетании с результатами РФА позволил выявить влияние минерального состава бумаги для печати на ее белизну, что перспективно для корректирования производственных технологий с целью улучшения качества ее выработки. Для предприятий полиграфической промышленности сформулированы рекомендации по отбору бумаги для печати, обеспечивающей максимальную точность цветовоспроизведения при полиграфическом репродуцировании. Результаты диссертационной работы прошли положительную апробацию в полиграфических предприятиях уральского региона и внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО УрФУ.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Разработанный производственный метод определения белизны бумаги для печати.
2. Результаты экспериментального исследования зависимости белизны от концентрации химических элементов, входящих в состав бумаги для печати, выявляющие элементы, положительно и отрицательно влияющие на белизну.
3. Результаты кластерного и дискриминантного анализа образцов бумаги для печати, выявляющие статистически различные группы бумаг, объединяемые по величине параметра белизны и минеральному составу.
4. Модель БИС и метод ее применения для сравнительного анализа образцов бумаги по их белизне.
5. Нейросетевая модель прогнозирования оптических свойств бумаги по ее минеральному составу

**Достоверность и обоснованность научных положений и выводов** обеспечивается корректным использованием базовых методов исследования и математического аппарата. Достоверность результатов работы подтверждается результатами экспериментальных исследований и сравнением данных,

полученных в ходе экспериментов, с данными, полученными ранее по рассматриваемой тематике.

**Апробация работы.** Основные научные и практические результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: VI всероссийская отраслевая научно-практическая конференция «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности» (Екатеринбург, Россия, 23–24 марта 2018г.); международная научная конференция, 42nd International Conference on Applications of Mathematics in Engineering and Economics (Созополь, Болгария, 8–13 июня 2016г.); International Conference on Applied Mathematics and Computer Science (Рим, Италия, 14–18 декабря 2017г.); International Conference on Applied Mathematics and Computer Science (Рим, Италия, 27–29 января 2017г.); 15th International Conference of numerical analysis and applied mathematics (Салоники, Греция, 26–29 сентября 2017г.); 3rd International Workshop on Radio Electronics & Information Technologies (Екатеринбург, Россия, 14 марта 2018г.).

**Публикации по теме работы.** По теме диссертации опубликовано 24 научных работы, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 9 статей в иностранных изданиях, индексируемых в базах WoS и SCOPUS, 1 монография.

**Структура и содержание диссертации.**

Диссертационная работа изложена на 149 страницах машинописного текста и состоит из введения, шести глав, заключения, списка публикаций по теме диссертации, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и 6 приложений. В работе 13 таблиц и 37 рисунков. Список литературы включает 155 источников, включая 52 иностранных.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обосновывается актуальность работы, рассматривается цель, задачи и методы исследования, а также научная новизна, практическая значимость и апробация результатов работы.

**Глава 1. «Состояние вопроса и задачи исследования»** приводятся основные результаты исследований в области использования целлюлозы при изготовлении бумаги, измерения оптических характеристик и состава бумаги, влияния состава на характеристики бумаги, освещаются вопросы стандартизации в области белизны бумаги, приводятся примеры влияния воспринимаемой белизны и яркости бумаги на процесс восприятия печатной информации, рассматриваются вопросы измерения белизны и спектров отражения бумаги, а также используемое оборудование и математический аппарат.

Показано, что человек наилучшим образом воспринимает контрастную печатную информацию и белизна бумаги существенным образом влияет на процесс восприятия. Отмечено отсутствие единого подхода к вопросам измерения белизны бумаги и наличие определенных противоречий в действующих стандартах. Показан недостаток исследований белизны бумаги и ее влияния на

восприятие печатной информации. Показано отсутствие модели, описывающей зависимость оптических характеристик от состава бумаги для печати.

В заключении делаются выводы, формулируются проблемы и ставятся задачи работы.

**Глава 2 «Общие методические положения»** посвящена описанию плана работ и описанию применяемых методик.

**Оценка метрологических характеристик спектрофотометра X-Rite i1Publish Pro2.** Полиграфический спектрофотометр – это измерительный прибор, предназначенный для измерения отношений падающего и отраженного (либо испытывавшего иное взаимодействие с образцом) потоков оптического излучения в диапазоне 380...730 нм. Принцип работы: излучение от опорного источника света направляется на печатный образец через кольцевой отражатель с углом 45°; свет, отраженный под углом 0° (геометрия измерения 45/0), расщепляется на спектральные цвета дифракционной решеткой; после этого фотодиоды измеряют распределение излучения по всему видимому спектру и передают результаты на компьютер для дальнейшей обработки. Спектры опорных источников освещения использованных спектрофотометров и опорного источника МКО А приведены на Рисунке 1а.

Для оценки метрологических характеристик спектрофотометра с использованием макроязыка программы Argyll CMS и пакета Razer Synapse 2.0 был написан специализированный скрипт, который в автоматическом режиме регистрировал серию измерений. В качестве тест-объекта для измерения использовалась белая калибровочная площадка спектрофотометра. Измерения проводились в течение нескольких часов с замерами каждые 5 секунд. Экспериментальные данные содержат порядка 2000 спектральных измерений, по 107 значений спектрального КО в каждом измерении. При анализе гистограммы распределения зарегистрированных значений КО на длине волны 550 нм (середина диапазона измерения) обнаружилось, что распределение не является нормальным, т.к. максимум сильно смещен относительно середины диапазона.

Характерное распределения монохроматических КО представлено на Рисунке 1б. Значения зарегистрированного КО носят выраженный периодический характер с периодом 60 минут, с убывающей дисперсией. Установлено, что спектрофотометру присущ временной дрейф измеряемых значений и этот факт учитывается производителем в виде регулярной периодической коррекции, что не дает возможность производить этим прибором высокоточные измерения с временным разрешением.

Поскольку ставится задача оценки погрешности однократного измерения, что соответствует практике использования спектрофотометра, то необходимо численно оценить дрейф. Зависимость зарегистрированного монохроматического КО от времени на первом временном интервале описывалась аналитической функцией в виде полинома третьей степени. Результат и ошибка ап-

проксимации показаны на Рисунке 2а. Гипотеза о нормальности разности экспериментальных и модельных значений подтвердилась на уровне значимости  $p=0,05$ .

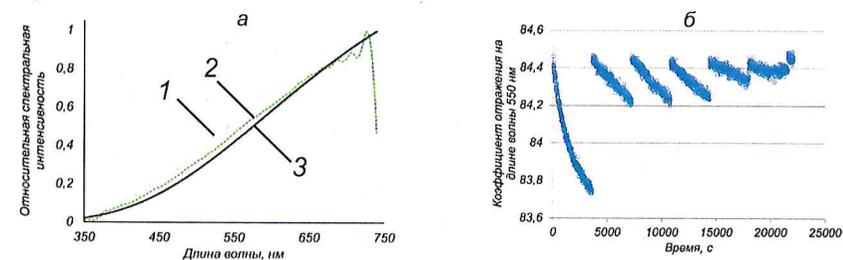


Рисунок 1. а) спектры опорных источников излучения: 1 – спектрофотометра X-Rite i1Publish Pro2; 2 – спектрофотометра ColorMunki; 3 – спектр опорного осветителя типа МКО А; б) временной дрейф монохроматического (550 нм) КО

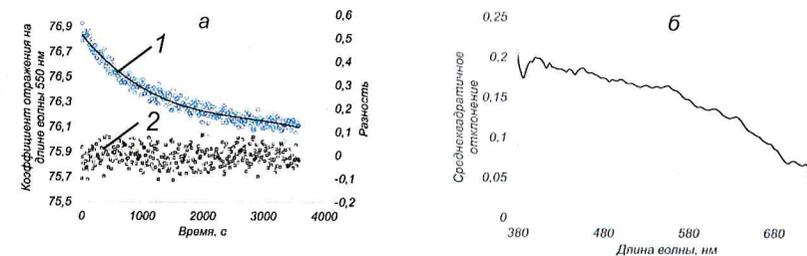


Рисунок 2. а) 1 – компенсация временного дрейфа полиномом третьей степени; 2 – разность между реальными и аппроксимированными значениями; б) зависимость СКО от длины волны

Для всего спектрального диапазона рассчитывалось среднее квадратичное отклонение (СКО). Зависимость СКО от длины волны показана на Рисунке 2б. СКО имеет тенденцию к резкому нарастанию в области коротких длин волн, а также незначительное повышение в длинноволновой области, что можно связать со спектральной интенсивностью опорного источника – чем меньше относительная спектральная интенсивность, тем больше СКО и линейно связанная с ней погрешность измерения спектрального КО. СКО во всем диапазоне измерений не превышает 0,2.

**Метрологические характеристики рентгено-флуоресцентного анализатора INNOV X Systems X-5000.** Прибор входит в государственный реестр средств измерений (рег № 43781-10) и предназначен для неразрушающего экспресс анализа химического состава металлов, порошковых и жидких проб. Определяются одновременно несколько элементов от фосфора (P) до урана (U) путем измерения спектра вторичного рентгеновского излучения, зависящего от элементного состава пробы. Бумага для первичного излучения от рентгеновской трубки практически прозрачна. Приняты паспортные метрологиче-

ские характеристики прибора: при измерении массовой доли менее 0,1% погрешность составляет 40%, при измерении массовой доли от 0,1% до 5% погрешность составляет 15%, при измерении массовой доли более 5% погрешность составляет 10%.

**Глава 3 «Экспериментальные исследования общих закономерностей изменения белизны бумаги для печати»** посвящена описанию проведенных экспериментов по измерению спектров отражения и белизны бумаги для печати, а также описанию и обсуждению результатов.

**Проведение измерений оптического спектра образцов бумаги для печати.** В качестве выборки для проведения исследования были отобраны 254 образца мелованной бумаги для печати, немелованная бумага для печати ВХИ, а также один референтный образец ББТЦ. Образцы бумаги измерялись согласно ГОСТ Р 54766-2011 на белой и черной подложке в объеме от 1 до 50 листов. Условия измерения удовлетворяли ISO 554:1976. Каждое измерение проводилось 10 раз, значения полученных спектров усреднялись. Вид спектров отражения бумаги, измеренных на белой и черной подложках был одинаковый, но поскольку белизну бумаги правильней оценивать на стопе, чтобы избежать негативного влияния прозрачности образцов, результаты измерений на черной подложке были удалены из дальнейшего рассмотрения. Таким образом, для дальнейшего исследования белизны использовались только спектральные данные измерений стопы бумаги, что соответствует измерению на белой подложке. По спектральным данным были рассчитаны параметры белизны и оттеночности согласно рекомендациям МКО (1), (2), а также МКО *Lab* координаты цвета.

Спектры отражения для мелованной, немелованной бумаги и ББТЦ приведены на Рисунке 3. Вид кривых свидетельствует, что для оценки белизны достаточно проводить измерения только на белой подложке, а точнее, на стопе однотипной бумаги. Вместе со спектром, записывались данные по координатам МКО *Lab* каждого образца, которые рассчитывались автоматически в ПО спектрофотометра, и рассчитанные по формулам (1) и (2) белизна и оттеночность образцов бумаги по МКО.

Расчетные показатели белизны по МКО не совпали с данными, указанными производителями, поэтому белизна по МКО принята нерепрезентативной. В дальнейшем все оценки производились по координатам цветности МКО *Lab*. Корреляционный анализ не выявил взаимосвязи между оптическими характеристиками образцов бумаги (белизна, оттеночность, координаты цвета МКО *Lab*) и концентраций химических элементов в образцах, что очевидно связано с высокой дисперсией выборки, однако выявлена взаимосвязь белизны МКО и хроматических МКО координат  $a$  ( $r=0,71$ ,  $p<0,01$ ) и  $b$  ( $r=-0,95$ ,  $p<0,01$ ).

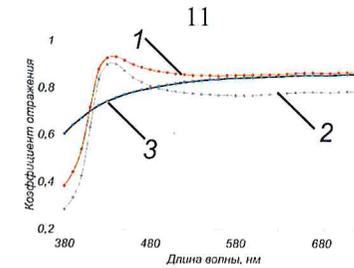


Рисунок 3. 1 – СО мелованной бумаги MediaPrint Silk (130 г/м<sup>2</sup>); 2 –СО немелованной бумаги ВХИ (120 г/м<sup>2</sup>); 3 – СО ББТЦ

Для упорядочивания выборки была проведена кластеризация (2–5 кластеров) по МКО *Lab* координатам, которая выявила три кластера образцов с существенно различающимися средними спектрами отражения.

**Введение модели бумаги с идеализированным спектром (БИС).** Сравнение большого количества близких по форме спектров отражения образцов бумаги неприменимо в качестве производственного метода. Удобным инструментом может служить референтный эталон для сравнения. Предлагается в качестве такого эталона использовать математическую модель БИС, идеализированную отражающую поверхность с гладким спектром отражения, которая соответствует определенным критериям. В качестве количественного критерия предлагается использовать цветовые координаты, согласно требованиям ISO 12647-2 т.е. МКО *Lab* 95/0/-2, осветитель *D50*. Приближение модели БИС к реальным образцам достигается за счет локального максимума в фиолетовой области спектра, соответствующего небольшому количеству флуоресцирующих добавок, применяемых в производстве бумаги для печати.

В качестве основы использован измеренный спектр ББТЦ, который хорошо описывается нарастающей экспонентой вида (4), которая связывает КО  $\rho$  на длине волны  $\lambda$  и параметры распределения  $A$ ,  $t$  и  $\lambda_0$ , которые требуют подбора. Для моделирования флуоресцирующей добавки используем колоколообразную функцию типа (5), которая связывает КО  $\rho$  на длине волны  $\lambda$  и параметры распределения  $\lambda_\phi$ ,  $\delta\lambda$  и  $\beta$ , которые требуют подбора. Спектр БИС является суммой этих двух спектров.

$$\rho = A * \exp\left(\frac{\lambda}{t}\right) + \lambda_0 \quad (4)$$

$$\rho_\phi = \frac{\beta}{1 + \left(\frac{\lambda - \lambda_\phi}{\delta\lambda}\right)^2} \quad (5)$$

Из спектральных данных вычисляются координаты цвета МКО *XYZ* по формулам (6). Координаты цвета МКО *Lab* вычисляются из координат МКО *XYZ* по формулам (7).

$$\begin{cases} X = k \int \varphi \rho \bar{x} d\lambda \\ Y = k \int \varphi \rho \bar{y} d\lambda \\ Z = k \int \varphi \rho \bar{z} d\lambda \end{cases} \quad (6)$$

где  $k$  – справочный нормировочный коэффициент,  $\rho$  – коэффициент отражения,  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  – функции цветового соответствия стандартного колориметрического наблюдателя МКО,  $\phi$  – спектральная плотность источника освещения  $D50$ , интегрирование по длинам волн видимой области спектра.

$$\begin{aligned} L &= 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \\ a &= 500 \left( \frac{x}{x_n} - \frac{y}{y_n} \right)^{1/3} \\ b &= 200 \left( \frac{y}{y_n} - \frac{z}{z_n} \right)^{1/3} \end{aligned} \quad (7)$$

где  $X_n, Y_n, Z_n$  – это координаты белой точки в значениях МКО  $XYZ$ , соответствующей осветителю  $D50$ .

Аппроксимация спектра ББТЦ проведена в пакете Origin 9.2. Параметры распределения, полученные при аппроксимации:  $\lambda_0 = 0,857 \pm 0,001$ ;  $A = -0,333 \pm 0,003$ ;  $t = -67 \pm 1$ ; коэффициент детерминации  $R^2 = 0,998$ . Подбор параметров модели флуоресцирующей добавки осуществлен в пакете MS Excel, надстройка «Поиск решений». При моделировании изменяли параметры модели флуоресцирующей добавки с тем чтобы параметры суммарного спектра БИС и ее МКО *Lab* координаты соответствовали требованиям ISO 12647-2 т.е. МКО *Lab* 95/0/-2. Результаты подбора:  $\beta = 0,176$ ;  $\lambda_\phi = 413,875$ ;  $\delta\lambda = 71,609$ . Значения координат цвета МКО *Lab* БИС:  $95,000/5 \cdot 10^{-9}/-1,999$ . Это соответствует требованиям ISO 12647-2. Синтезированный спектр БИС приведен на Рисунке 7а.

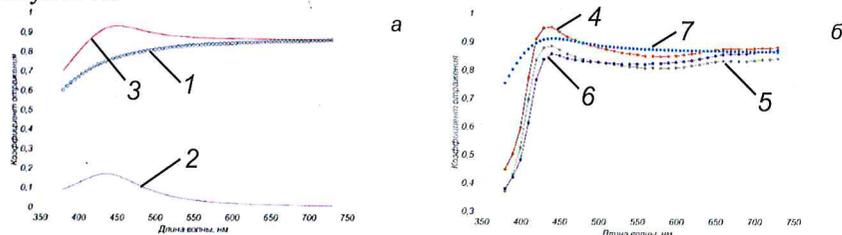


Рисунок 7. а) 1 – спектр ББТЦ, 2 – подобранный спектр фиолетовой составляющей, 3 – спектр БИС; б) усредненные спектры отражения по группам образцов бумаги: 4 – группа 1, 5 – группа 2, 6 – группа 3; 7 – спектр БИС

Полученная модель БИС применена для проведения визуального сравнительного анализа групп образцов бумаги. По каждой группе рассчитаны средние спектры. Усредненные спектры по каждой группе образцов и спектры БИС приведены на Рисунке 7б. В качестве количественной оценки разности спектров отражения образцов и БИС, пригодной для производственного применения, использовано среднее квадратичное отклонение (СКО). На практике необходимо измерить спектр отражения образца при помощи спектрофотометра и рассчитать СКО с БИС. Чем ниже значение СКО, тем лучше образец. Значения СКО для различных групп образцов следующие: группа 1 – 0,086%; группа 2 – 0,118; группа 3 – 0,125. Т.о., группа 1 наиболее близка к БИС.

**Глава 4 «Экспериментальные исследования содержания минеральных компонентов в бумаге для печати»** посвящена описанию проведенных экспериментов по измерению содержания минеральных компонентов в бумаге для печати, а также описанию и обсуждению результатов.

Образцы измерялись на РФА INNOV X Systems X-5000 по 10 раз, результаты измерений в виде концентрации химических элементов в образце, измеренной в мг/кг, усреднялись. Обнаружены 25 элементов: S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Sb, I, Cs, Ba, Pt, Hg, Pb, Th. По всем элементам были рассчитаны медианные значения концентраций. Для подтверждения технологического происхождения примесей в образцах бумаги сравнивались обнаруженные концентрации и значения кларков для обнаруженных элементов для почвы, воды. Обнаруженные в образцах концентрации минеральных компонентов в основном превышают кларки в воде и почве, а также концентрации в ББТЦ. Таким образом, все химические элементы, содержащиеся в образцах бумаги и целлюлозы, очевидно, имеют технологическое происхождение. Поскольку концентрации элементов отличаются на несколько порядков, для удобства дальнейшей обработки они были нормированы на медианные значения.

**Глава 5 «Установление взаимосвязи белизны бумаги для печати от содержания в ней минеральных компонентов»** посвящена описанию обработки полученных ранее результатов и методам установления взаимосвязи белизны и состава бумаги.

С учетом выявленных в Главе 3 кластеров был проведен дискриминантный анализ по критерию концентрации элементов в составе образцов бумаги, который перераспределил все типы бумаг из выборки по 3 группам, практически совпадающим в выявленными кластерами. Каждый элемент характеризовался определенной плотностью вероятности нахождения в одной из групп. На Рисунке 4 приведены плотности вероятности для элементов, обычно входящих в состав меловальных слоев и наполнителей бумаги: Ca, Ba, Ti.

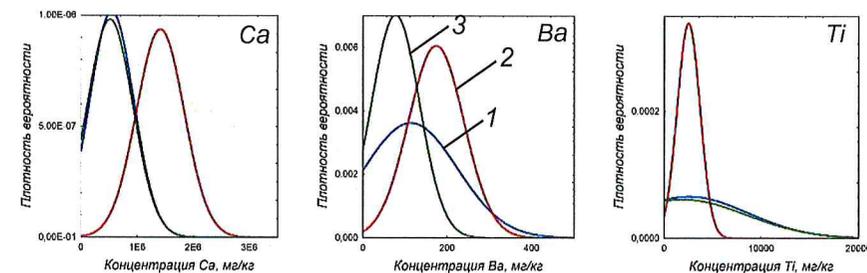


Рисунок 4. Плотности вероятности обнаружения химических элементов Ca, Ba, Ti в группах: 1 – Группа 1, 2 – Группа 2, 3 – Группа 3

12 элементов, оказавших основной вклад в формирование групп: Ca, Ba, Cs, Pb, Sr, Y, Th, I, Pt, Zr, Ni, Cl. Однако Ti, часто применяемый в меловальных слоях бумаги, не вошел в этот список. Все образцы бумаги в каждой группе

оказались объединены по близости их белизны к рекомендованным значениям согласно ISO 12647-2. Группа 1 – 45 образцов бумаги, обладающих наилучшими оптическими характеристиками (координаты цвета близки к параметрам 95/0/–2); группа 2 – 28 образцов, является по сути промежуточной; группа 3 – 181 образец, самая многочисленная группа с наихудшей белизной и выраженной разнооттеночностью.

В группе 1 наблюдаются близкие оптические характеристики образцов бумаги, при этом в эту группу попали образцы всего двух производителей. Наличие локальных максимумов в ультрафиолетовой области в группах 2 и 3 говорит о существенном количестве оптических отбеливателей, при этом в группе 3 наблюдается большой разброс в спектрах отражения, а наличие локальных максимумов не только в УФ-области, но и в середине спектра говорит о большом количестве флуоресцирующих добавок и сильной оттеночности. Спектры отражения образцов бумаги для каждой из групп приведен на Рисунке 5.

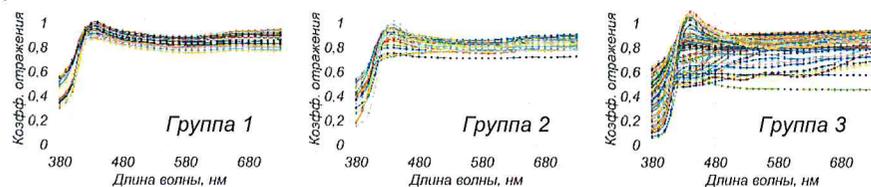


Рисунок 5. Спектры отражения образцов бумаги по группам

На Рисунке 6 приведены распределения нормированных на медиану концентраций Ca, Ba, Ti по группам в зависимости от координат цвета образцов в пространстве МКО Lab.

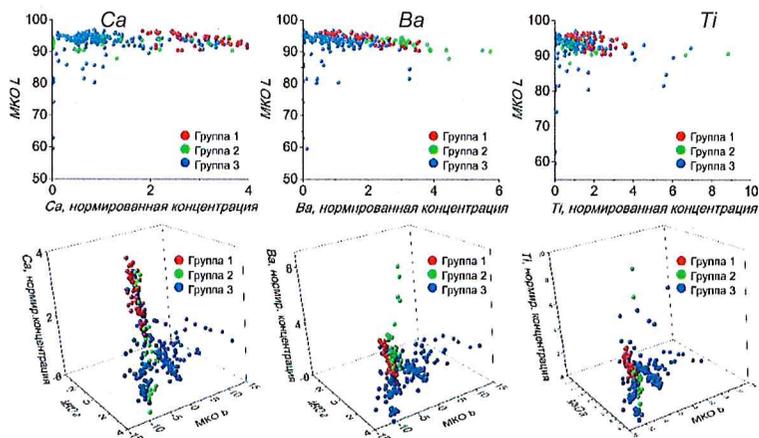


Рисунок 6. Распределение концентраций химических элементов Ca, Ba, Ti в группах; верхние графики – для координаты МКО L, нижние графики – для хроматических координат МКО a, b

Концентрация Ca вдвое и более превышающая медианное значение, обеспечивает попадание образца в группу 1. Концентрация Ba вдвое и более превышающая медианное значение разделяет образцы на группу 2 (большая концентрация Ba) и группу 3. Концентрация Ti не является группирующей переменной в кластерном анализе, поэтому по его концентрации нельзя судить о принадлежности образца той или иной группе, что и видно на Рисунке 5. Общая оценка связи концентраций 12 группирующих химических элементов и выявленных групп образцов бумаги приведена в Таблице 1.

Очевидно, что в составе образцов бумаги, входящих в группу 1, обладающую наилучшими оптическими характеристиками, имеется высокая концентрация только Ca и Sr. Ca, так же как и его химический аналог Sr, часто замещающий его в различных минералах, входят в состав меловальных слоев и их достаточная концентрация обеспечивает высокую белизну бумаги. Y, имеющий высокую концентрацию в образцах третьей группы, является элементом-последователем Sr (среди радиоактивных изотопов, из бета-активного Sr получается бета-активный Y, который быстро распадается до стабильного  $^{89}\text{Y}$ ), однако его происхождение в образцах не ясно. Относительно высокая концентрация Th, который на планете основном представлен своим радиоактивным изотопом  $^{232}\text{Th}$ , в образцах группы 3 также не ясна. Очевидно, что элемент мог попасть в бумагу только с каким-либо минеральным сырьем. Кроме того, известно, что Th часто входит в состав минералов, также содержащих Ti. Ba содержится в «бланфикс», добавке в бумагу.

Таблица 1. Концентрация группирующих химических элементов в группах

Группа	1	2	3
Концентрация в 2 и более раза превышает медиану	Ca, Sr, Zr	Ba, Cs, Pb, I, Ni	Y, Th
Концентрация имеет медианные показатели или ниже	Y, Pt, Th	Zr	Ca, Ba, Pb, Ni, Cl, I, Sr, Cs

**Глава 6 «Создание нейросетевой модели прогнозирования белизны бумаги»** посвящена описанию нейросетевого подхода в моделировании и применению этого подхода к прогнозированию МКО Lab координат на основе информации о содержании минеральных компонентов.

Искусственные нейронные сети (ИНС) – удобный инструмент моделирования. Способность обучаться делает их незаменимыми в решении нелинейных и динамических задач. ИНС, в частности многослойный перцептрон (МСП), подтвердили высокую точность при прогнозировании распределения химических элементов в различных средах. Предлагается использовать МСП для прогнозирования белизны бумаги, исходя из ее минерального состава. Структура МСП приведена на Рисунке 9а. Реализация ИНС, обучение и обработка результата проводились в среде Matlab 16.

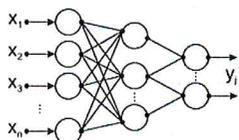


Рисунок 9. а) Структура ИНС МСП, слева направо: входной слой, скрытый слой (или слою), выходной слой,  $x_i$  – входные данные,  $y_j$  – выходные данные; б) результаты 100 тренировок ИНС с 3 нейронами в скрытом слое; пунктиром указана линия регрессии



Входные данные – реальные концентрации 12 группирующих химических элементов в образцах бумаг, оказавших основное влияние на кластеризацию (матрица  $12 \times 255$ ), выходные – координаты МКО L и МКО chroma (среднеквадратичная сумма хроматических координат МКО а, б) образцов (матрица  $2 \times 255$ ). Использовался алгоритм обучения сети «байесовская регуляризация», который предполагал случайное разбиение входного набора на обучающую и тестовую выборки. На обучающей выборке проводилось обучение сети, а результаты прогноза сравнивались с данными тестовой выборки. В качестве критерия точности предсказания использовалась СКО предсказания сети.

Определение наилучшей конфигурации сети производилось путем перебора циклов из 30-кратной тренировки каждой из конфигураций ИНС и определения СКО в каждом случае. Выбранная конфигурация сети с 3 нейронами в скрытом слое обеспечила СКО со средним значением 0,134. Для проверки стабильности результата предсказания был проведен еще один вычислительный эксперимент, состоящий из 100 тренировок ИНС. Результаты тренировки приведены на Рисунке 9б. Среднее значение СКО 0,123. Т.о., ИНС продемонстрировала высокую точность прогноза.

### Заключение

Целью работы было выявить влияние минерального состава матовой мелованной бумаги для печати на ее белизну, построить модель, выявляющую эту зависимость, и предложить производственный метод оперативной оценки белизны бумаги для печати. Получены следующие результаты:

1. Проведен анализ литературных источников, обобщена информация об оптических характеристиках бумаги и средствам их определения; установлено, что существующие стандарты на определение белизны бумаги не соответствуют друг другу по методике измерения, единицам измерения и применяемому оборудованию, кроме того, они непригодны для практического применения; отсутствует удобный производственный метод оценки белизны бумаги для печати.

2. Оценены метрологические характеристики измерительного оборудования, применяемого на современных полиграфических предприятиях; полиграфический спектрофотометр X-Rite i1Publish Pro2 имеет СКО, не превышающую 0,2 во всем диапазоне измерений (380...730 нм), что делает его пригодным для проведения спектральных измерений и вычисления на их основе параметров белизны бумаги.

3. Рассмотрены оптические характеристики мелованной бумаги для печати в связи с ее производственным назначением, и выявлены основные требуемые на производстве параметры – соответствие серии стандартов ISO 12647, в частности, цветовые координаты МКО Lab бумаги должны быть близки 95/0/-2 с вариацией  $\pm 2$ ; белизна бумаги для печати определяется по степени близости ее МКО Lab координат при измерении стопы бумаги к этим параметрам. На основе МКО Lab координат образцов был проведен кластерный анализ и в выборке было выделено 3 кластера образцов бумаги, обладающих статистически различными средними спектрами отражения и, соответственно, белизной.

4. Предложена новая математическая модель бумаги с идеализированным спектром (БИС) для сравнительной оценки белизны. Параметры модели соответствуют бумаге с МКО Lab координатами 95/0/-2, имеющий гладкий спектр отражения. Модель пригодна для качественного (визуального) и количественного сравнения образцов бумаги по их спектру отражения. Модель легко адаптируется под модифицированные стандарты и эталоны бумаги.

5. На основе модели БИС предложена новая производственная методика оперативной оценки белизны мелованной бумаги для печати, пригодная для проведения входного контроля. Методика основана на сравнении измеренного полиграфическим спектрофотометром спектра отражения образца бумаги с эталоном (БИС). Оперативный контроль может быть осуществлен визуально (см. Рисунок 24) либо количественно, по расчету СКО образца и эталона.

6. Выявлена статистическая связь белизны бумаги и ее минерального состава. Методом дискриминантного анализа среди образцов бумаги выявлено три группы, характеризующиеся различным минеральным составом, различным характером спектров отражения, а значит и белизной. Оценены границы концентраций основных элементов, влияющих на белизну бумаги: Ca, Ba, Ti, их сопутствующих элементов Sr, Y, Th, а также Cs, Pb, I, Pt, Zr, Ni, Cl.

Попадание образца бумаги в группу 1, характеризующуюся наилучшими показателями белизны, обеспечивает превышение вдвое медианной концентрации Ca ( $487532 \times 2 = 975064$  мг/кг), превышение вдвое медианной концентрации Ba ( $97 \times 2 = 194$  мг/кг), концентрация Sr выше 8-ми медиан ( $183 \times 8 = 1464$  мг/кг), медианная концентрация Pt (34 мг/кг), три и более медианных концентрации Zr ( $50 \times 3 = 150$  мг/кг). Концентрация Y ниже половины медианного значения ( $610/2 = 305$  мг/кг) и концентрация Th ниже 0,4 от медианы ( $1174 \times 0,4 = 469,6$  мг/кг) обеспечивает высокую белизну образца. Концентрация Ti вблизи медианных значений (1303 мг/кг) наблюдается в бумагах как с высокой, так и со средней и низкой белизной. Средние показатели белизны (группа 2) характеризуются концентрацией I в 4 и более раза выше медианы ( $272,68 \times 4 = 1090,72$  мг/кг), концентрацией Ni вдвое и более выше медианы ( $6,74 \times 2 = 13,48$  мг/кг), концентрация Cs в 6 и более раз выше медианы ( $384,50 \times 6 = 2307$  мг/кг), Pb – в 4 и более раза выше медианы ( $2,09 \times 4 = 8,36$  мг/кг), медианное значение Zr (50 мг/кг). Группа бумаг с наихудшими показателями

54845 А-1845

белизны характеризуется высокими концентрациями Y и Th, остальные элементы представлены в ней в малых концентрациях.

7. Построена модель зависимости белизны бумаги от состава ее минеральных компонентов, основанная на искусственных нейронных сетях. Зная или комбинируя минеральный состав, можно практически мгновенно получить прогноз белизны образца в виде МКО Lab координат цвета; это удобно как для производственных лабораторий, так и для исследовательских отделов производителей бумаги, кроме того, данный алгоритм имеет перспективы внедрения в автоматизированные комплексы управления полиграфическим или бумагоделательным производством.

Таким образом, поставленная цель работы достигнута.

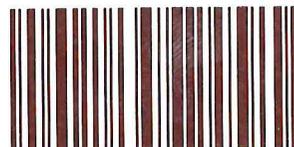
### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

#### В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Тарасов Д.А., Арапов С.Ю., Мильдер О.Б., Тягунов А.Г., Ибраева Ж.Е. Анализ оптических свойств бумаг и картонов спектрофотометрическим методом // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017, №6. С.32–35.
2. Тарасов Д.А., Арапов С.Ю., Ямаева Д.Р., Тягунов А.Г. Моделирование спектров отражения суперпозицией полиномов // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела, №5, 2012. С.59–66.

#### В других изданиях, входящих в перечень ВАК РФ:

3. Солодова М.С., Тарасов Д.А., Арапов С.Ю., Мильдер О.Б., Тягунов А.Г., Чеснокова Ю.С., Агеев М.А. Сравнение стандартных методов определения белизны печатных видов бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2016.–№2.– с.67–70.
4. Бувевич А.Г., Сергеев А.П., Тарасов Д.А., Рахматова А.Ю., Крамаренко А.А. Искусственные нейронные сети и геостатистика в прогнозировании распределения химических элементов на фоновой площадке // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. № 2. 2017. С.74–82.
5. Бувевич А.Г., Тарасов Д.А., Сергеев А.П., Медведев А.Н., Баглаева Е.М., Субботина И.Е., Сергеева М.В. Гибридный подход на основе кригинга и искусственных нейронных сетей для прогнозирования распределения тяжелых металлов в поверхностном слое почвы арктической урбанизированной территории // Экологические системы и приборы. №10. 2016. С.18–29.
6. Баглаева Е.М., Бувевич А.Г., Сергеев А.П., Тарасов Д.А. Оценка содержания вторичных минеральных ресурсов в прудах-осветлителях шахтных вод месторождений цветных металлов // Экологические системы и приборы, 2017, № 3, С.22–30.
7. Бувевич А.Г., Медведев А.Н., Сергеев А.П., Тарасов Д.А., Антонов К.Л. Моделирование пространственного распределения пыли в снеговом покрове Режевского рудного района методами искусственных нейронных сетей и геостатистики // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2017, № 5, С. 174–183.
8. Мокрушин А.А., Тарасов Д.А., Сергеев А.П., Бувевич А.Г., Баглаева Е.М. Подбор типа и структуры искусственных нейронных сетей для оценки распределения химических элементов в верхнем слое почвы // Экологические системы и приборы. 2017. № 8. С. 36–48.



800063833

9. Бувевич А.Г., Медведев А.Н., Сергеев А.П., Тарасов Д.А., Антонов К.Л. Моделирование пространственного распределения пыли в снеговом покрове от действующего карьера методами искусственных нейронных сетей и геостатистики // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017, №5, С.81–90.

#### В изданиях, индексируемых в базах SCOPUS, WoS:

10. Sergeev A.P., Tarasov D.A., Arapov S.Y., Arapova S.P. Qualimetric Researches of Educational Resources: Standardizing of Light Conditions in the Light Booth // Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2015, 174, 1285–1291.
11. Buevich A.G., Medvedev A.N., Sergeev A.P., Tarasov D.A., Shichkin A.V., Sergeeva M.V., and Atanasova T.B. (2016) Modeling of surface dust concentrations using neural networks and kriging. 42nd International Conference on Applications of Mathematics in Engineering and Economics, AMEE 2016; Sozopol; Bulgaria; 8 June 2016 through 13 June 2016; Code 127533. AIP Conference Proceedings Vol.1789, 020004 (2016).
12. Buevich A.G., Tarasov D.A., Sergeev A.P., Seleznev A.A., Subbotina I.E., Shichkin A.V., Baglaeva E.M. (2016) A Hybrid Model Using Artificial Neural Network, Kriging, and Residual Kriging for Forecasting the Abnormal Pollutant Distribution // ISEH 2016, ISEG 2016 & Geoinformatics 2016, National University of Ireland, Galway, Ireland, August 14 – 20, Book of Abstracts, p.169.
13. Tarasov D.A., Medvedev A.N., Sergeev A.P., Buevich A.G. (2017) Review and possible development direction of the methods for modeling of soil pollutants spatial distribution // AIP Conference Proceedings 1863, 050014 (2017).
14. Tarasov D.A., Medvedev A. N., Sergeev A. P., Shichkin A. V., and Buevich A. G. (2017) A hybrid method for assessment of soil pollutants spatial distribution // AIP Conference Proceedings 1863, 050015 (2017).
15. Sergeev A. P., Tarasov D. A., Buevich A. G., Subbotina I. E., Shichkin A. V., Sergeeva M. V., & Lvova O. A. (2017) High variation subarctic topsoil pollutant concentration prediction using neural network residual kriging. AIP. Conf. Proc., V.1836. Issue 1. 020023.
16. Tarasov D. A., Buevich A. G., Sergeev A. P., Shichkin A. V., & Baglaeva E. M. (2017) Topsoil pollution forecasting using artificial neural networks on the example of the abnormally distributed heavy metal at Russian subarctic. AIP. Conf. Proc., V.1836. Issue 1. 020024.
17. Sergeev A. P., Tarasov D. A., Buevich A. G., Shichkin A. V., Tyagunov A. G., & Medvedev A. N. (2017) Modeling of surface dust concentration in snow cover at industrial area using neural networks and kriging. AIP. Conf. Proc., V.1836. Issue 1. 020033.
18. Tarasov D.A., Buevich A.G., Sergeev A.P., Shichkin A.V. High variation topsoil pollution forecasting in the Russian Subarctic: Using artificial neural networks combined with residual kriging // Applied Geochemistry. Vol. 88, 2018, 188–197.
19. Milder O., Tarasov D. (2018) Spectral Reflection Prediction by Artificial Neural Network. CEUR Workshop. Proceedings of the 3rd International Workshop on Radio Electronics & Information Technologies, Yekaterinburg, Russia, March 14, 2018. Vol. 2076, 86–95.

#### Монография:

20. Зрение и чтение: монография / Д. А. Тарасов. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 76 с.

#### В статьях и материалах конференций:

21. Солодова М.С., Арапова С.П., Арапов С.Ю., Тарасов Д.А. Автоматизированный лабораторный источник освещения для колориметрических исследований // Сборник

трудов международной научно-практической конференции «Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления». Екатеринбург, УрФУ. 2015. С.4–12.

22. Буевич А. Г., Бусловская А. Н., Рахматова А. Ю., Крамаренко А. А., Сергеев А. П., Тарасов Д. А. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования и визуализации пространственного распределения химических элементов в поверхностном слое почвы // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Информация: передача, обработка, восприятие». Екатеринбург, УрФУ. 2016. С.20–33.

23. Буевич А.Г., Рахматова А.Ю., Сергеев А.П., Тарасов Д.А. Искусственные нейронные сети как метод интерполяции для оценки содержания химических элементов в почве / 3-я Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления" в рамках Форума молодых ученых "ИТ: глобальные вызовы и новые решения". Сборник докладов. Ред. Круглов А.В. - М.Эдитус, 2017, 87–99.

24. Баглаева Е. М., Буевич А. Г., Сергеев А. П., Тарасов Д. А., Арапов С. Ю., Рахматова А. Ю. Нейросетевой и геостатистический методы обработки экологической информации о распределении меди в верхнем слое почвы / Информация: передача, обработка, восприятие: материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 12–13 января 2017 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2017. С.76–87.

#### СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ:

ББТЦ - бисульфитная беленая техническая целлюлоза,  
 БИС – бумага с идеализированным спектром,  
 ВХИ – марка отечественной бумаги для печати, не имеющей покрытия,  
 ИНС – искусственная нейронная сеть,  
 КО – коэффициент отражения,  
 МКО (СІЕ) – международная комиссия по освещению,  
 МСП – искусственная нейронная сеть типа многослойный перцептрон,  
 ПО – программное обеспечение,  
 РФА – рентгено-флуоресцентный анализ,  
 СКО – среднеквадратичное отклонение,  
 СО – спектр отражения.  
 ISO – international standard organization (международная организация по стандартам).

**Просим принять участие в работе диссертационного Совета или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, диссовет Д.212.281.02, e-mail: d21228102@yandex.ru**

**Тарасов Дмитрий Александрович**

#### ЗАВИСИМОСТЬ БЕЛИЗНЫ БУМАГИ ДЛЯ ПЕЧАТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ В НЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Автореферат диссертации  
 на соискание ученой степени кандидата технических наук  
 Отпечатано в ДИТА ИРИТ-РтФ УрФУ, Екатеринбург, Мира, 32  
 Печать цифровая. Формат бумаги 21×29,7 1/2 Печатных листов 10. Физ.п.л. 5.  
 Заказ № 1. Тираж 100 экз.  
 «20» августа 2018 г.

A  
T-19

На правах рукописи

**Тарасов Дмитрий Александрович**

#### ЗАВИСИМОСТЬ БЕЛИЗНЫ БУМАГИ ДЛЯ ПЕЧАТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ В НЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ

05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины

**АВТОРЕФЕРАТ**  
 диссертации на соискание ученой степени  
 кандидата технических наук

Екатеринбург – 2018