

На правах рукописи



**Иванов Владимир Петрович**

**Комплексная оценка каменноугольно-пермских угленосных отложений и  
разработка промышленно-энергетической классификации ископаемых  
углей**

Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твёрдых полезных  
ископаемых, минерагения

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора геолого-минералогических наук

Томск – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на кафедре геологии и разведки полезных ископаемых

**Научный консультант:** доктор геолого-минералогических наук, с.н.с,  
Арбузов Сергей Иванович

**Официальные оппоненты:**

**Вялов Владимир Ильич**, доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург), главный научный сотрудник отдела геологии горючих ископаемых

**Алексеев Валерий Порфирьевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет» (ФГБОУ ВО «УГГУ», г. Екатеринбург), профессор кафедры литологии и геологии горючих ископаемых

**Хасанов Ринат Радикович**, доктор геолого-минералогических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО «КФУ», г. Казань), заведующий кафедрой региональной геологии и полезных ископаемых

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН» (ФГБНУ «ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово)

Защита состоится «25» мая 2016 г. в 10 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина 30 (корпус 20, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте: [http:// portal.tpu.council / 914 / worklist](http://portal.tpu.council/914/worklist)

Автореферат разослан «\_\_\_» марта 2016 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,  
к. г.- м. н., доцент



Л.В. Жорняк

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** По состоянию на 01.01.2013 года подтвержденные мировые запасы угля составляют 891,5 млрд. тонн (Statistical Review of World Energy, 2014). В недрах России разведанные запасы углей оцениваются в 193,3 млрд. тонн, из которых 85,3 млрд. тонн составляют каменные угли, включающие 39,8 млрд. тонн коксующихся углей, на действующих предприятиях промышленные запасы каменных и коксующихся углей составляют соответственно 19 и 4 млрд. тонн. (Таразанов, 2013).

Коксующимися углями считаются спекающиеся угли, способные переходить при нагревании без доступа кислорода в кокс, который необходим для металлургических и неметаллургических производств. В общем объеме промышленной продукции в нашей стране по разным оценкам на долю металлургии приходится 15 - 17 %, поэтому наличие запасов коксующихся углей позволяет иметь собственную сырьевую базу коксования.

Для промышленности России коксующиеся угли считаются стратегическим сырьем и в государственном балансе учитываются отдельно. В 1962 году Постановлением Госплана СССР была введена марочная типизация запасов, которая действует в России до настоящего времени. Данная методология учёта балансовых запасов предполагает деление углей на коксующиеся и энергетические угли. Марочная принадлежность углей регламентируется межгосударственным стандартом - ГОСТ 25543-2013, который предусматривает деление марочных углей по направлению их использования: технологическому и энергетическому.

Марка угля – это условное обозначение разновидности углей, близких по генетическим признакам и основным энергетическим и технологическим характеристикам (ГОСТ 17070-87). Определение направления использования углей осуществляется по марке, по ней выделяют технологические и энергетические угли, которые в запасах числятся как коксующиеся и энергетические угли. Отметим, что ГОСТ 25543-2013 является основным документом в установлении типа марочных углей при подсчёте балансовых запасов и учёте их добычи. Применение стандарта показало, что правильно было бы выделять коксующиеся, технологические и энергетические угли.

Это подтвердилось на практике, когда с 2011 года угли, находящиеся в недрах, стали объектом налогообложения, т.е. запасы приобрели стоимостную оценку. Для взимания налога на добычу полезного ископаемого (НДПИ) была введена классификация ископаемых углей, в которой марочные угли выделены в группы: коксующиеся, антрациты, бурые угли и угли прочие, для налогового учёта по ставкам налога на добычу полезных ископаемых. В данной классификации марка получила дополнительный статус - критерия ценности ископаемых углей.

Являясь основным регламентирующим стандартом, ГОСТ 25543-2013 не предусматривает определение коксующегося угля, а толкование термина «коксующийся уголь» в ГОСТ 17070-87 «Угли. Термины и определения» отсутствует. При таких условиях, ГОСТ 51588-2000 «Угли каменные и

антрациты Кузнецкого и Горловского бассейнов. Технические условия» регламентирует для коксования один перечень марочных углей, а для взимания НДС к коксующимся углям относятся другие марочные угли.

В результате в 2013 году запасы углей категории коксующиеся угли в Кузнецком бассейне уменьшились на 5,4 млрд. тонн за счёт выбывания углей марок Г, КСН и ТС, активно используемых в коксохимическом производстве для получения металлургического кокса технологией слоевого коксования. Иными словами, без обоснований часть марочных углей, пригодных для коксования, не признаётся коксующимися углями и в результате реальное снижение стоимости балансовых запасов составило около 10 %.

Таким образом, попытка объединить в одном стандарте генетическую и промышленную классификации на основе угольной марки привела к сложной системе ранжирования ископаемых углей и учёту угольных запасов. По мнению авторов (Угольная база России, 2004), ГОСТ 25543-2013 весьма детализирован, а в связи с созданием новых требований учёта запасов/ресурсов возникает необходимость разработки новой системы оценки качества и технологических свойств.

Существующая проблема включает ряд нерешённых задач, имеющих геологическую, технологическую и методологическую направленности, не позволяющие создать единый алгоритм классифицирования ископаемых углей и деления запасов по направлениям их использования. Решению этих задач посвящена диссертационная работа.

**Идея работы** состоит в создании промышленно-генетической классификации ископаемых углей для новой системы типизации запасов на основе критериев их ценности: промышленно-генетической, технологической, энергетической.

**Степень разработанности темы.** Разработан новый подход, учитывающий основные направления использования каменных углей, для выделения трёх видов: коксующиеся, энерготехнологические и топливные, и предложена промышленно-энергетическая классификация, обеспечивающая единый учёт данного вида полезного ископаемого на основе его промышленно-генетической, технологической и энергетической ценности.

**Цель работы** – проведение комплексной оценки каменноугольно-пермских угленосных отложений разных бассейнов для выявления особенностей образования угольного вещества на стадии седиментогенеза и литогенеза и разработка подходов по выделению промышленно-энергетических типов каменных углей для единого учёта на основе его промышленно-генетической, технологической и энергетической ценности.

#### **Задачи исследований:**

1. На основе инфракрасной спектроскопии разработать комплексный метод, обеспечивающий определение факторов углеобразования – гелификации, восстановленности и метаморфизации – для распознавания условий накопления и преобразования органического вещества на стадии седиментогенеза и литогенеза.

2. Изучить условия возникновения восстановленности в угленосных

отложениях Кузнецкого бассейна и установить её связь с гелификацией углей и их петрографическим составом.

3. Выявить закономерности образования восстановленности углей в угленосных отложениях Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского бассейнов и установить её связь с процессом гелификации растительной массы в каменноугольно-пермский период углеобразования для определения сходства и различия неоднородных ископаемых углей.

4. Разработать критерии оценки каменных углей, отражающие их коксующую, коксообразующую и энергогенерирующую способности и генетическое преимущество, для создания промышленно-энергетической классификации и подход для выделения типов ископаемых углей, учитывающего направления их использования – для единого учёта данного полезного ископаемого по его ценности.

#### **Научная новизна работы:**

1. Разработан авторский метод комплексной оценки генетических свойств углей: степени гелификации (Пг), восстановленности (Пв) и метаморфизации (Пм) для распознавания условий накопления и преобразования органического вещества на стадии седиментогенеза и литогенеза.

2. Впервые на примере Кузнецкого бассейна в каменноугольно-пермских угленосных отложениях выделен новый вид восстановленности углей, обусловленный эволюцией растений-углеобразователей, характеризующийся как флористическая восстановленность. Образование восстановленности углей в результате неравномерного тектонического погружения осадков (циклогенеза) в области седиментогенеза одного осадочного комплекса автором выделяется как литофациальная восстановленность.

3. Впервые установлено, что сходство угленосных отложений Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского угольных бассейнов обусловлено доминированием типа болота: мангрового, эвтрофного, мезотрофного, а их различие – проявлением флористической восстановленности углей. Доказано, что сочетание типа болотной среды и особого состава флоры определяло интенсивность гелификации растительной массы вне зависимости от этапов и ритмов угленакопления.

4. Разработаны новые критерии: коксующая ( $K^{KC}$ ), коксообразующая ( $K^{ПТК}$ ) и энергогенерирующая ( $K^{ЭГ}$ ) способности и генетическое преимущество ( $K^{ГП}$ ) для определения ценности каменных углей. Разработаны промышленно-энергетическая классификация и типизация ископаемых углей на основе их промышленно-генетической, технологической, энергетической ценности для единого учёта данного полезного ископаемого.

#### **Защищаемые положения:**

1. Предложен комплексный метод оценки генетических показателей (гелификации, восстановленности, метаморфизации), учитывающий изменение структуры углей и обеспечивающий распознавание особенностей образования угольного вещества на стадии седиментогенеза и литогенеза угленосных отложений.

2. В углях Кузнецкого бассейна установлены два типа восстановленности: флористическая ( $P_{\text{флор}}$ ), обусловленная эволюцией растений-углеобразователей под влиянием палеоклиматических и палеогеографических факторов при формировании угленосных отложений, и литофациальная ( $P_{\text{л-ф}}$ ), которая является результатом геодинамических условий (циклогенеза) накопления угольных пластов в бассейне.

3. Сходство угленосных отложений Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского бассейнов обусловлено доминированием типа болота: мангрового, эвтрофного и мезотрофного, а различия – степенью восстановленности углей. Сочетание типа болотной среды и особого состава флоры определяло интенсивность гелификации растительной массы вне зависимости от этапов и ритмов угленакопления

4. Разработан новый подход, учитывающий основные направления использования каменных углей, для выделения трёх видов: коксующихся, энерготехнологических и топливных, и предложена промышленно-энергетическая классификация, обеспечивающая единый учёт данного вида полезного ископаемого на основе его промышленно-генетической, технологической и энергетической ценности.

#### **Теоретическая и практическая ценность работы.**

1. Разработан оперативный метод комплексной оценки на основе ИК-спектроскопии, позволяющий определять степень гелификации, восстановленности и метаморфизации ископаемых углей, для распознавания условий их накопления на стадии седиментогенеза и преобразования на разных этапах литогенеза.

2. Установлены причины влияния восстановленности на процесс гелификации углей и выделены два вида восстановленности: флористическая восстановленность, отражающая эволюцию растений–углеобразователей, и литофациальная восстановленность, как результат неравномерного тектонического погружения осадков (циклогенеза) в области седиментогенеза одного осадочного комплекса.

3. Установлены признаки сходства и различия угленосных отложений разных бассейнов и доказано, что сочетание типа болотной среды и особого состава флоры определяло интенсивность гелификации растительной массы вне зависимости от этапов и ритмов угленакопления.

4. Предложены новые критерии: коксующая ( $K^{KC}$ ), коксообразующая ( $K^{ПК}$ ) и энергогенерирующая ( $K^{ЭГ}$ ) способности и генетическое преимущество ( $K^{ГП}$ ) для определения ценности каменных углей, промышленно-энергетическая классификация и подход к типизации ископаемых углей на основе их промышленно-генетической, технологической, энергетической ценности для единого учёта данного полезного ископаемого.

**Обоснованность и достоверность** научных положений и выводов обеспечиваются:

– представительным объёмом выборок экспериментальных данных (более 10000 проб), полученных путём проведения специальных лабораторных исследований, а также при выполнении НИР;

- многолетними (более 30 лет) исследованиями автора по оценке генетических, технологических, коксующихся свойств углей Кузнецкого бассейна, проводимых на стадии разведки и эксплуатации месторождений, а также углей Карагандинского и Донецкого бассейнов при оценке и контроле сырьевой базы коксования коксохимических предприятий России и Украины;
- количеством (более 500) пластовых и товарных проб по пластам для изучения комплексным методом на основе инфракрасной спектроскопии совместно с химико-петрографическими анализами для создания оценки генетических свойств углей: степени восстановленности, гелификации и метаморфизации и их коксующих свойств вновь созданным методом определения коксующейся способности углей;
- увязанной межметодным контролем авторской базы данных генетических и технологических параметров углей со справочной апробированной базой данных, созданной разработчиками ГОСТ 25543–2013 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам»;
- результатами анализов углей, полученных на поверенном оборудовании в центре метрологии и стандартизации, использованием стандартных эталонов и стандартизованных методов (ГОСТ Р);
- проведением анализов и определений в аккредитованных лабораториях ОАО «ВУХИН», ОАО «Сибниинуглеобогащение» и ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр»;
- фондовыми материалами ОАО «ВУХИН», отчётами геологических фондов и данными исследований, опубликованных в технической и геологической литературе.

**Апробация работы** проводилась в Кузнецком центре ВУХИН и Западно-Сибирском испытательном центре. Основные положения и результаты работы докладывались:

- на научных конференциях: «Исследование углей, процессов и продуктов их переработки» (г. Свердловск, 1985 г., 1988 г.), «Совершенствование технологии переработки углей и повышение качества продукции на коксохимических производствах Кузбасса и Алтая» (г. Новокузнецк, 1988 г.);
- на III Всесоюзной конференции Министерства геологии СССР (Ростов - на - Дону, 1990 г.);
- на научно-технических советах: Кузнецкого центра ВУХИН (г. Новокузнецк, 1985–2005 гг.), Западно-Сибирского испытательного центра (г. Новокузнецк, 1991–1993, 2005 гг.), ПО «Запсибгеология» (г. Новокузнецк, 1985–1993 гг.), ОАО «Междуречье» (г. Междуреченск, 1993 г.), ОАО ОУК «Южкузбассуголь» (г. Новокузнецк, 1995 г.), ОАО «Кокс» (г. Кемерово, 1993–1995 гг.), ОАО «Алтай-Кокс» (г. Заринск, 1993–1996 гг.), ОАО «НТМК» (г. Нижний Тагил, 1995–2003 гг.), ОАО УК «Кузбассуголь» (г. Кемерово, 2003 г.), ООО «ОФ Анжерская» (г. Анжеро-Судженск, 2004–2007 гг.), АО «Криворожсталь (г. Кривой Рог, 2007 г.);
- на техническом совете филиала ЭКС таможенного управления г. Новосибирска (2011 г.);

– на советах ГКЗ и ТКЗ (2008–2013 гг.) по защите запасов углей Сарбалинского месторождения (Кондомский ГЭР) и Увального месторождения (Терсинский ГЭР), запасов на участках: «Шурапский» (Кемеровский ГЭР), «Кировский Глубокий» (Ленинский ГЭР), «Отвальный Южный № 1, 2 и Глубокий» (Ерунаковский ГЭР);

– на XIII Всероссийском угольном совещании «Основные направления геологоразведочных и научно-исследовательских работ на твёрдые горючие ископаемые в современных экономических условиях» (Ростов-на-Дону, 2014 г.).

#### **Личный вклад автора состоит:**

– в постановке задач и организации экспериментов, обработке результатов исследований углей и разработке формул и уравнений, в проведении расчётов и создании модели распределения влияния генетических факторов на молекулярное строение углей;

– в создании комплексного метода определения генетических свойств углей на основе ИК-спектроскопии, метода определения генетического преимущества и коксующей способности углей, межметодного контроля для увязки результатов исследования углей разных лабораторий;

– в разработке критериев ценности углей, промышленно-генетической классификации и системы типизации запасов ископаемых углей.

Под руководством автора:

– создан алгоритм контроля качества углей угольных предприятий и обогатительных фабрик, составляющих сырьевую базу коксования Кузбасса;

– разработаны методические рекомендации по идентификации углей, коксов и полукоксов для таможенных целей (г. Новосибирск, Экспертно-криминалистическая служба – Региональный филиал ЦЭКТУ ФТС № 01-0117/3857 от 08.10.2012 г.)

– создана система экспертной оценки качества, генетических и коксующихся свойств углей для подтверждения их марочной принадлежности, пригодности для производства доменного кокса для идентификации запасов при подсчёте запасов и в качестве объектов налогообложения.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 32 печатные работы, в том числе 32 статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК для публикации научных результатов, в соавторстве получено 1 авторское свидетельство на изобретение, 1 патент на изобретение и 4 ноу-хау.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, объёмом 348 страниц машинописного текста, включает 73 рисунка, 48 таблиц и одно приложение. Список литературы представлен 298 источниками, в том числе 17 иностранных авторов.

Особую благодарность автор выражает консультанту д.г.-м.н. профессору С. И. Арбузову и старшим коллегам д.г.-м.н. профессору Л. П. Рихванову, д.г.-м.н. профессору А. К. Мазурову в создании диссертационной работы. Отдельная благодарность коллеге к.т.н. с.н.с. А.С. Станкевичу и коллективу Кузнецкого центра ОАО «ВУХИН»: Ф. М. Станкевич, Н. А. Чегодаевой, Н. И. Подчищаевой, Н. В. Осиповой, Л. А. Надтоке, Т. Д. Недёшевой за помощь в

проведении исследований и испытания углей. За помощь в проведении апробации авторских методов диссертант особо признателен директору ООО «ВНИЦуголь» С. А. Пантыкину, директору ООО «ОФ Анжерская» А. Н. Чевге, главному геологу ООО «Кузбасс Недра» А. С. Ющенко.

Структура автореферата оформлена согласно защищаемым положениям.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 «**Современные представления о закономерностях образования генетических свойств ископаемых углей и угленосных отложений в каменноугольно-пермский период угленакопления**» даётся системный анализ существующего представления закономерности образования углей, их генетических свойств, подходов к классификации и типизации запасов ископаемых углей. Он позволил выявить ряд причин, создающих противоречия при их классифицировании и единому учёту, которые сгруппированы в виде геологической, технологической и методологической проблем.

**Геологическая проблема** связана с существующим подходом оценки генетических свойств углей, среди которых петрографический состав и стадия метаморфизма являются основными параметрами разграничения углей, а их восстановленность трактуется как особые условия торфогенеза в общем процессе углеобразования. Из-за слабой изученности проявления восстановленности в процессе гелификации органической массы торфяников отсутствует стройная гипотеза её происхождения в углях. Предлагаемые разные способы и методы определения восстановленности углей, за исключением микротвёрдости витринита, построены на сравнительном анализе физических, химических, технологических свойств углей.

Трудности идентифицирования условий образования углей разных пластов в бассейне и угленосных отложений между бассейнами обусловлены отсутствием комплексного метода, позволяющего определять гелификацию, восстановленность и метаморфизацию углей. Также отмечается слабое применение литолого-фациального анализа (Алексеев, 2000, 2005) и особенно использование **фации углеобразования**, отражающей совокупность физико-географических условий, которые обуславливают образование ископаемого угля отдельного пласта.

По мнению автора диссертации, отсутствие систематизации формациеобразующих и литолого-фациальных факторов, дискуссия о приоритетности климатических или тектонических факторов в торфоуглеобразовании применительно к теории о закономерном размещении угольной массы на поверхности земного шара в виде поясов и узлов угленакопления (Степанов, 1937) не позволили выяснить природу связи угольных провинций: Печорской, Донецкой (включая Восточный Донбасс), Кузнецкой и Карагандинской (Угольная база России, 2004).

**Технологическая проблема** исходит от широкого толкования термина «ископаемый уголь». Под данным термином отождествляют два вида угля: ископаемый уголь в недрах и ископаемый уголь добычи. Такой вольный подход

позволяет устанавливать марку как на стадии разведки, так на стадии эксплуатации месторождений, что приводит к перемаркировке углей после их постановки на баланс в виде запасов без проведения дополнительной разведки и переоценки.

Отсутствие понимания в различии углей в недрах и добытых привело к отсутствию понятия «коксуемая способность угля». Под нею понимается коксуемость угля или угольных шихт, которые обладают спекаемостью, при этом, чтобы отличать угли от угольных шихт используют определение спекающая способность угля. Существующая теория коксования углей позволяет отождествлять термины «угольные зёрна» и «петрографические микрокомпоненты», что противоречит двум понятиям: «гранулометрический состав» и «петрографический состав» углей. Петрографические микрокомпоненты различаются по количеству *петрографических зёрен* отдельных мацералов, а угольные зёрна имеют разный размер и различаются по мацеральному составу.

**Методологическая проблема** является следствием предыдущих и сформировалась при переходе на новую классификацию углей - ГОСТ 25543-2013. Она вводилась при отсутствии полномасштабной систематизации геологических и генетических причин углеобразования с устаревшим подходом деления углей по коксуемости, которую создатели промышленно-генетической классификации (Аммосов, 1964) предлагали определять расчётным путём по петрографическому составу и стадии метаморфизма углей, недооценивая роль восстановленности в коксообразовании углей разных бассейнов.

В результате, создатели марочной классификации И.В. Ерёмин и Т.М. Броневец (1994), вводя новые марки ДГ, ГЖО, КО, КСН, КС, ТС, посчитали, что марка, определяемая по генетическим ( $R_0$ ,  $\sum OK$ ) и технологическим ( $V^{daf}$ ,  $y$ ) параметрам, обеспечит разделение углей по направлениям использования, а указанные марки с нивелируют восстановленность.

Несмотря на размытость границ марочных углей, марка становится критерием ценности углей при разработке классификации ископаемых углей для налогообложения (Постановление Правительства РФ № 486 от 20.06.2011 г). По этой классификации угли марок ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КС, ОС признаются коксующимися углями, угли остальных марок выделяются в категорию «уголь», в которую не входят только уголь бурый и антрацит.

ГОСТ 25543-2013 является основным документом для установления статуса «коксующиеся угли» для подсчёта запасов данной категории углей на стадии разведки, но определения термина «коксующийся уголь» отсутствует в ГОСТ 17070-87, на который сделана ссылка, а использование коксующих углей регламентирует ГОСТ Р 51588-2000. Марочный состав коксующихся углей в рекомендациях ГОСТ 25543-2013, в технических условиях использования ГОСТ Р 51588-2000 и в классификации для налогообложения не согласуется. В итоге, это отражается на учёте запасов, которые с 1962 года по настоящее время учитываются по марочной типизации углей, и по ней выделяются запасы коксующихся и энергетических углей, как следствие, существующая

методология классификации углей в государственном балансе приводит к искажению запасов коксующихся углей в сторону их снижения.

Таким образом, анализ проблем подтверждает актуальность диссертационной работы, необходимость в разработке и обосновании поставленных задач.

В главе 2 **«Методические основы комплексной оценки генетических свойств углей и угленосных отложений»** изложен подход в подборе проб углей пластов, выбора проб для ИК-спектрометрического анализа для создания статистических выборок, на которых устанавливались закономерности, разрабатывались методы определения степени восстановленности, гелификации и метаморфизации углей.

Описана схема систематизации формациеобразующих и литолого-фациальных факторов торфоуглеобразования в привязке к палеонтологическим и петрографическим исследованиям Ангариды, которая опирается на фундаментальные исследования угленосных отложений Кузнецкого, Донецкого, Карагандинского и Печорского бассейнов, а также на справочную апробированную базу данных разработчиков ГОСТ 25543-2013 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам».

Описывается алгоритм авторского межметодного контроля для увязки основных параметров: показателя отражения витринита ( $R_0$ ), суммы фюзенизированных компонентов ( $\sum OK$ ), выхода летучих веществ ( $V^{daf}$ ) и толщины пластического слоя ( $y$ ), по которым определяются генетические и технологические различия каменных углей.

В главе 3 **«Разработка метода комплексной оценки генетических свойств ископаемых углей на основе инфракрасной спектроскопии»** представлено описание создания комплексного метода оценки ископаемых углей для определения их степени гелификации, восстановленности и метаморфизации. По генетическим свойствам: вещественному составу, стадии метаморфизма, степени восстановленности гумусовые каменные угли весьма разнообразны. Это обусловлено проявлением в них основных факторов углеобразования:

1) Факторы: состав исходного растительного материала, уровень обводнённости торфяника. Свойство: петрографический состав. Микроскопический метод (ГОСТ 9414.3-94), проводится определение мацерального состава: витринит, семивитринит, инертинит, липтинит, минеральные примеси.

2) Факторы: химический состав среды и обводнённость торфяника. Свойство: степень восстановленности. Сравнительный метод (ГОСТ 17070-87), проводится оценка изометаморфных углей с одинаковым петрографическим составом.

3) Фактор: метаморфизм (температура, давление). Свойство: метаморфизм углей. Микроскопический метод (ГОСТ 12113-94), проводится определение показателя отражения витринита.

При сравнительном анализе в определении восстановленности углей используются плавкие компоненты угля (метод Аммосова И.И.), содержание азота, серы, выход летучих веществ в углях (метод Добронравова В.Ф.), спекаемость углей - толщина пластического слоя (метод Станкевича А.С.), микротвёрдость витринита (метод Арцера А.С.).

Наряду с микроскопическим методом широко применяется инфракрасная спектроскопия (ИКС) в области спектра 2,5–16,7 мкм. Считается, что данный метод более оперативный и информативный, позволяет по молекулярной структуре углей определять их свойства, не требует химической обработки угольной пробы. Весомый вклад в практику использования структуры углей внесли отечественные учёные: Г. Л. Стадников (1956), Т. А. Кухаренко (1960), В. И. Касаточкин, Н. К. Ларина (1975), А. И. Камнева, В. В. Платонов (1990), Р. В. Кучер, В. А. Компанец, Л. Ф. Бутузова (1980), В. И. Саранчук, А. Т. Аируни, К. Е. Ковалёв (1988), М. И. Бычев (1991), В. Г. Липович (1988), И. В. Калечиц (2001), А. А. Кричко (1993), С. Г. Гагарин (1984, 1986, 1990), А. М. Гюльмалиев (2007), Г. Б. Скрипченко (1996), М. Г. Скляр (1985), Н. Д. Русьянова (1991, 1992, 2003), В. К. Попов (1988), В. И. Бутакова (2011) и зарубежные: Д. Д. В. Ван-Кревелен (1961), М. Гиней (1968), Ц. Спиро, П. Дж. Коски (1982), П. Хирш (1958), С. К. Чакрабати, Н. Беркович (1974, 1976).

В настоящее время хорошо изучено строение углей разной стадии метаморфизма на надмолекулярном и молекулярном уровне. Установлено, что под действием метаморфизма в углях происходит карбонизация в виде структурных изменений макромолекулы витринита, которая проявляется деструкцией, циклизацией и конденсацией органического вещества с образованием низкомолекулярных продуктов (НМП), которая сопровождается более значительным уменьшением количества метиленовых групп в боковых радикалах, чем метильных групп в результате циклизации.

Слабо изучено молекулярное строение углей разного петрографического состава, но отмечается структурное изменение петрографических компонентов в ряду инертинит → витринит → липтинит под влиянием метаморфизма разное. Это связано с их разным строением и на примере битуминозных и суббитуминозных углей (Калечиц, 2001) показано, что показатель  $H/C$  в угольном веществе от 0,76 до 0,87 изменяется в липтините - 0,94 – 1,19 ( $V^{daf} = 64,9\%$ ); в витрините – 0,76 – 0,87 ( $V^{daf} = 42,8\%$ ); в инертините – 0,70 – 0,79 ( $V^{daf} = 37,4\%$ ). Автор отмечает, что в липтините преобладают алифатические структуры, а в инертините – ароматические.

Изучение восстановленности углей на молекулярном уровне проводилось лишь исследователями ВУХИН, которые установили, что степень восстановленности в кузнецких углях при равных петрографических параметрах характеризуется повышенным количеством алифатических групп. По этому признаку Н.Д. Русьянова (2003) предложила разделять угли по восстановленности, опираясь на предложенную ею полиеновую модель строения каменных углей. Эта модель принципиально отличается от ароматической модели и позволяет изучать не только особенности строения углей, проводить оценку их генетических свойств, поэтому использовалась

автором при разработке показателей восстановленности, гелификации, метаморфизации углей. Полученные результаты применения способов позволили сформулировать *первое защищаемое положение*:

**Предложен комплексный метод оценки генетических показателей (гелификации, восстановленности, метаморфизации), учитывающий изменение структуры углей и обеспечивающий распознавание особенностей образования угольного вещества на стадии седиментогенеза и литогенеза угленосных отложений.**

Для наблюдения структурных изменений структуры каменных углей разной стадии метаморфизма, петрографического состава и степени восстановленности использовались оптические плотности поглощения  $D_{4000}$ ,  $D_{3040}$ ,  $D_{2920}$ ,  $D_{2860}$ ,  $D_{2000}$ ,  $D_{1600}$ ,  $D_{1260}$ , определяемые на соответствующих частотах ИК-спектра и отражающие основные структурные фрагменты угольного вещества. Подбор угольных проб осуществлялся по генетическим показателям  $R_0$  и  $\sum SK$  (или  $\sum OK$ ) для детального изучения восстановленности углей выборки составлялся из изометаморфных, близких по петрографическому составу углей, а после её установления - из равновосстановленных углей для изучения их гелификации и метаморфизации, учитывая структурные различия.

**Способ определения восстановленности углей.** В основе способа лежит измерение интенсивности оптического поглощения на частотах  $D_{4000}$ ,  $D_{3040}$ ,  $D_{2920}$ ,  $D_{2860}$ ,  $D_{2000}$  ИК-спектра. Экспериментально установлено, что с возрастанием восстановленности углей увеличиваются интенсивность поглощения на частотах  $3040 \text{ см}^{-1}$ ,  $2920 \text{ см}^{-1}$  и  $2860 \text{ см}^{-1}$ , но при этом уменьшаются фоновое поглощение ( $4000 \text{ см}^{-1}$ ) и интенсивность поглощения на частоте  $2000 \text{ см}^{-1}$ . При сочетании данных оптических плотностей в виде уравнения:

$$P_v = \frac{(D_{3040} + D_{2860})}{(D_{2920} + (D_{4000} - D_{2000}))}, \quad (1)$$

где  $D_{3040}$ ,  $D_{2860}$ ,  $D_{2920}$  измерены по базисной линии между точками частот  $3170 \text{ см}^{-1}$  и  $2760 \text{ см}^{-1}$ , а  $D_{4000}$  и  $D_{2000}$  измерены по нулевой базисной линии ИК-спектра, по показателю  $P_v$  угли хорошо различаются по восстановленности. Результаты статистической обработки показали удовлетворительную сходимость,  $P_v \leq 0,03$  ед. и воспроизводимость,  $P_v \leq 0,045$  ед. показателя восстановленности, определяемого предлагаемым методом.

На рисунке 1 представлены результаты сопоставительного анализа изометаморфных, близких по петрографическому составу углей, разными способами. Из графиков видно, что в диапазоне измерения  $R_0$  от 0,6 до 1,8 % и  $\sum OK$  5 - 80 % показатель  $D_{2960}/D_{1690}$  (метод ВУХИН) не различает высоко метаморфизованные угли по восстановленности.

Предложенный способ даёт однозначное разделение углей по степени восстановленности ( $P_v$ ) в диапазоне от 0,35 до 0,65 ед., и исключается зависимость показателя  $P_v$  от показателей  $R_0$  (рис. 2) и  $\sum SK$  (рис. 3), позволяет разделять каменные угли без сравнения по степени восстановленности и определять это значимое генетическое свойство одновременно при оценки степени гелификации углей.

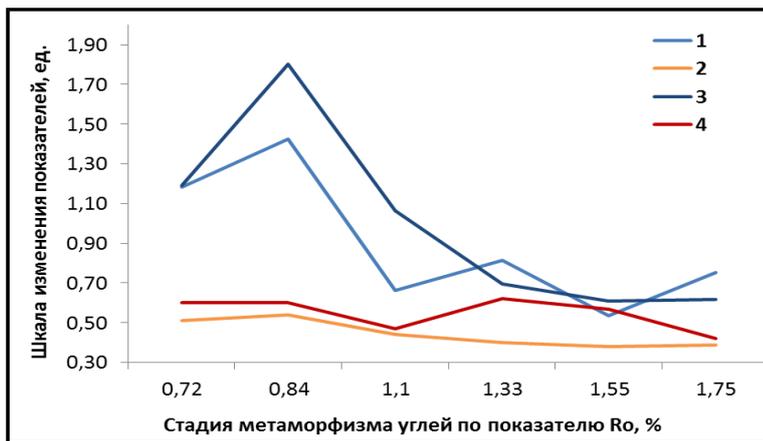


Рис. 1. Графики изменения параметра  $D_{2960}/D_{1690}$  и показателя Пв углей разной стадии метаморфизма и степени восстановленности: 1 и 2 – невосстановленный уголь, 3 и 4 – восстановленный уголь; способ ВУХИН (1, 3); предлагаемый (2, 4)

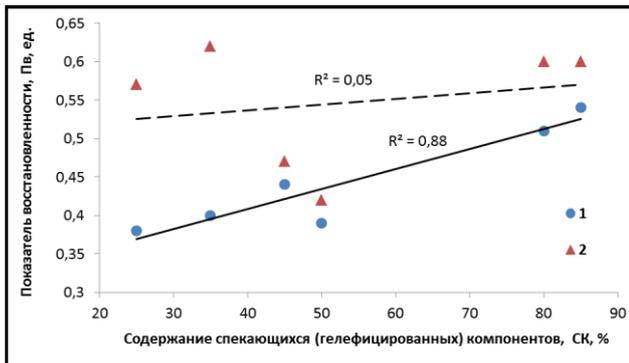


Рис. 2. График изменения показателя Пв от метаморфизма углей (по  $R_0$ ) в восстановленных и невосстановленных углях:

1 – невосстановленный уголь,  
2 – восстановленный уголь

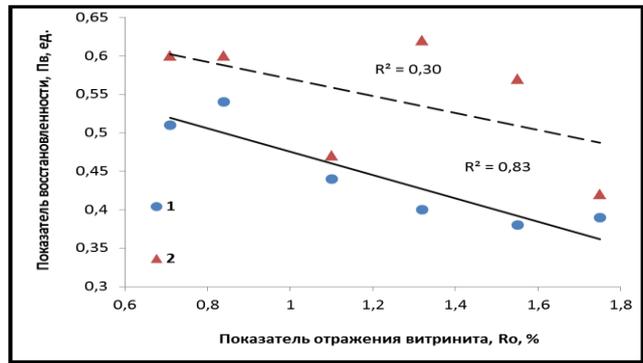


Рис. 3. График изменения показателя Пв от содержания спекающих компонентов в восстановленных и невосстановленных углях:

1 – невосстановленный уголь,  
2 – восстановленный уголь

**Способ определения степени гелификации углей.** Молекулярная структура угольного вещества – это композиционное сочетание структур трёх мацеральных групп: липтинита (экзинита), витринита и инертинита (фюзенита), генезис которых обусловлен мацералобразователями (жиры, воски, смолы, целлюлоза, лигнин и белки), имеющими различное химическое строение и биохимическую устойчивость различных растительных элементов (по Ваксману) «белки < жиры < клетчатка < гемицеллюлоза < лигнин < кутикулы, споры, пыльца < воски и смола», соответственно формирование микрокомпонентов происходило в ряду витринит → инертинит → липтинит.

Различие угольных микрокомпонентов устанавливаются (Русьянова, 2003) по изменению спектральных показателей  $D_{2920}/D_{750}$  и  $D_{4000}$ , полагая, что они отражают показатель  $\Sigma OK$  (сумма фюзенизированных компонентов на органическую массу,  $I + 2/3Sv$ ), опираясь на корреляционную связь. Один из важных недостатков такого подхода – это двоякое толкование при отсутствии сведений об окисленности углей.

Автор диссертации считает, что структура микрокомпонентов должна рассматриваться с позиций структурной изометрии углеродного скелета, положения кратной связи, функциональных групп и класса органических соединений и валентности. На препарированных образцах, представляющих

гелифицированную и фюзенизированную части угольного вещества, экспериментально установлено, что на оптических частотах  $D_{3040}$ ,  $D_{2920}$ ,  $D_{2860}$ ,  $D_{1600}$ ,  $D_{1260}$  ИК-спектра структурные различия витринита и инертинита отмечаются.

Развитие полисопряжённой системы и углеродного каркаса структуры угольного вещества по данным ВУХИН определяется по отношениям  $D_{3040}/D_{2920}$ ,  $D_{2860}/D_{1600}$ ,  $D_{3040}/D_{1260}$ . Учитывая это, автором работы были выбраны отношения:  $D_{1260}/D_{1600}$ ,  $D_{1600}/(D_{2920}+D_{2860})$ ,  $D_{3040}/(D_{2920}+D_{2860})$ , которые учитывают особенность строения спекающих (СК) и инертных (ОК) компонентов, сравнивая их с показателем СК =  $V_{t+L}$  (гелифицированная часть органической массы углей), выведены формулы:

$$\Pi_{V_{t+L}} = \frac{0.3 * D_{2860} + (D_{2920} + D_{2860})}{D_{1260}}, \quad (2)$$

$$\Pi_I = \frac{[(D_{1600} + D_{3040}) - (D_{2920} + D_{2860})]}{D_{1260}}, \quad (3)$$

где  $\Pi_{V_{t+L}}$  и  $\Pi_I$  – спектральные параметры гелифицированной и фюзенизированной частей ОМУ, ед.;  $D_{3040}$ ,  $D_{2920}$ ,  $D_{2860}$ ,  $D_{1600}$ ,  $D_{1260}$  – оптические плотности поглощения ИК-спектра;  $\Pi_L = 0,3 * D_{2860}$  – доля количества связей  $CH_3$ -групп относящихся к липтиниту. По отношению показателей  $\Pi_{V_{t+L}}$  и  $\Pi_I$  устанавливается степень гелификации:

$$\Pi_{\Gamma} = \frac{\Pi_{V_{t+L}}}{\Pi_I}, \quad (4)$$

Показатель  $\Pi_{\Gamma}$  различает разновосстановленные угли (рис. 4) и с показателем  $\Pi_{\text{в}}$  (рис. 5) в восстановленных углях не связан ( $R^2 = 0,044$ ), однако в низко восстановленных углях эта связь имеется ( $R^2 = 0,58$ ).

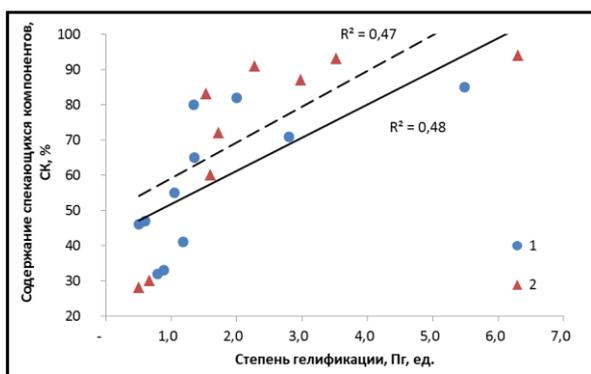


Рис. 4. Вид связи степени гелификации ( $\Pi_{\Gamma}$ ) с содержанием спекающихся компонентов (СК) невосстановленных углей (1) и в восстановленных (2) углях

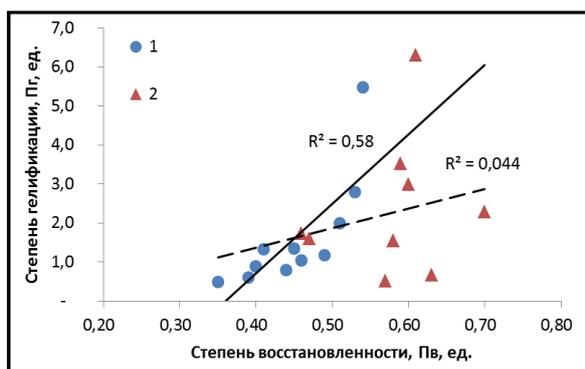


Рис. 5. График изменения показателя гелификации ( $\Pi_{\Gamma}$ ) в невосстановленных (1) и восстановленных (2) углях

Характер связи показателей  $\Pi_{\text{в}}$  и  $\Pi_{\Gamma}$  в невосстановленных углях нелинейный в виде полинома:  $\Pi_{\text{в}} = -0,041\Pi_{\Gamma}^2 + 0,1163\Pi_{\Gamma} + 0,326$ , с  $R^2 = 0,80$

В пределах показателя  $\sum \text{СК} = 20 - 95\%$ , учитывая стадию метаморфизма углей, показатель гелификации углей ( $\Pi_{\Gamma}$ ) находится в пределах 0,5 – 5,5 ед., с линейной связью между ними на уровне 75 % и при достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,47$ , что связано со сложностью подбора изометаморфных

однородных углей. В целом же, в границах параметров ГОСТ 25543-88:  $R_0 = 0,63 - 1,78 \%$ ,  $\sum OK = 2 - 70\%$ ,  $V^{daf} = 12,9 - 42,3 \%$ ,  $y = 0 - 32$  мм по показателям Пг и Пв хорошо прослеживаются структурные особенности каменных углей, связанные с их гелификацией и восстановленностью, что отвечает поставленной задаче разделения углей по степени их гелификации.

**Способ определения метаморфизации углей.** Стадия метаморфизма углей устанавливается показателем отражения витринита ( $R_0$ ), но можно определить по интенсивности частот спектра  $D_{3040}/D_{2920}$ , отражающих отношение количества ненасыщенных  $CH_{nn}$  и алифатических  $CH_2$  связей в молекулярной структуре углей в условных единицах (ед.) и корреляционная связь между показателями  $D_{3040}/D_{2920}$  и  $R_0$  на уровне 95%. Однако, без сравнения определения восстановленности угли по показателю  $R_0$  не различаются и слабо дифференцируются по показателю  $D_{3040}/D_{2920}$  в ряду метаморфизма.

Для устранения этих недостатков разработан спектральный показатель (Пм) для оценки метаморфизации углей в виде отношения полос поглощения  $D_{3040}, D_{2920}, D_{2860}, D_{1260} \text{ см}^{-1}$ :

$$Пм = \frac{D_{3040}}{0,1 \times (D_{2920} + D_{2860} + D_{1260})}, \quad (5)$$

где  $D_{3040}, D_{2920}, D_{2860}$  – оптические плотности поглощения, полученные при базовой линии частот  $2760-3170 \text{ см}^{-1}$ ;  $D_{1260} \text{ см}^{-1}$  – оптическая плотность поглощения, рассчитанная по базовой линии в пределах частот  $1800-2000 \text{ см}^{-1}$ .

Зависимость показателя метаморфизации (Пм) от показателя восстановленности углей (Пв) на уровне  $R^2 = 0,22-0,31$ , т.е. не наблюдается (рис. 6). Уровень парной корреляции между показателями Пм и  $R_0$  составил  $r = 0,95 - 97 \%$  в зависимости от восстановленности углей, что свидетельствует об их тесной взаимосвязи (рис. 7).

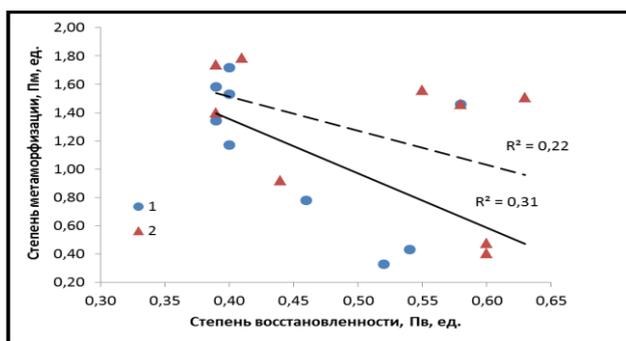


Рис. 6. Вид связи показателя метаморфизации (Пм) и восстановленности (Пв) в невосстановленных (1) и восстановленных (2) углях

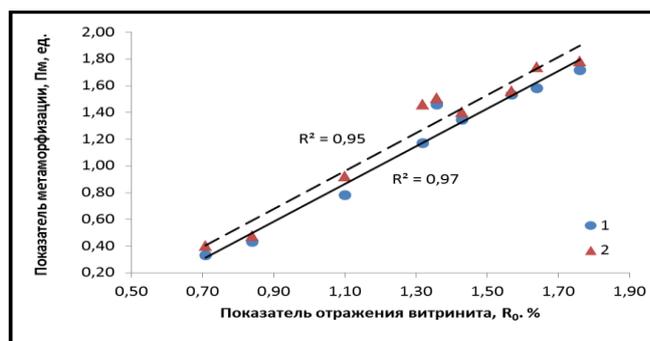


Рис. 7. Связь показателя метаморфизации (Пм) с показателем отражения витринита ( $R_0$ ) в невосстановленных (1) и восстановленных (2) углях

Уравнение отражает закономерное возрастание поликонденсации связей углерод-водород при снижении межплоскостных связей и алифатических связей метиленовых и метильных групп от увеличения метаморфизации углей. Предложенный показатель в сравнении с аналогом ( $R_0$ ) дифференцирует равновосстановленные угли в интервале  $R_0$  от 0,60 до 1,8% и особенно это

касается углей низкой и средней стадий метаморфизма, так как их структура обладает высокой лабильностью.

Возможность учёта влияния метаморфизма и определение постдиагенетических изменений восстановленных углей при равной степени гелификации позволяет установить истинную степень воздействия метаморфизма на угли, сформировавшиеся в разных обстановках, и правильно оценить степень восстановленности угленосных отложений в разных бассейнах.

Таким образом, показатели Пв, Пм, Пг позволяют одновременно определять различие изометаморфных углей одинакового петрографического состава, а разработанный метод является комплексным для оценки их степени гелификации (Пг), восстановленности (Пв) и метаморфизации (Пм), что позволяет на молекулярном уровне распознавать условия преобразования и накопления угольного вещества на стадии седиментогенеза и литогенеза.

В главе 4 «**Восстановленность углей Кузнецкого бассейна**» изложены результаты исследования восстановленности в угленосных пластах и отложениях Кузнецкого бассейна с использованием комплексных показателей: степени восстановленности (Пв) и гелификации (Пг), и петрографического показателя – содержание витринита в углях (*Vt*).

Восстановленность трактуется как совокупный результат факторов: исходного растительного материала, условий накопления и преобразования, геохимии среды, распознаётся по мощности угленосных пластов, по содержанию серы и азота в углях и по физико-химическим, технологическим и другим свойствам. Признаками восстановленности – различие мацералов группы витринита: коллинита (бесструктурный) и телинита (структурный), продукты гелификации, а по сохранившимся признакам структуры тканей растений в зёрнах телинита судят о восстановленности угля.

Применяя комплексный метод исследования углей по пластам месторождений Анжерского, Кемеровского, Бачатского, Прокопьевско-Киселёвского, Ерунаковского, Терсинского, Байдаевского, Осиновского, Мрасского и Томусинского районов Кузнецкого бассейна, было обнаружено, что не только угли пластов балахонского и кольчугинского возраста отличаются по восстановленности, но также отличался и растительный состав данных периодов угленакопления.

Результаты систематизации смены растений-углеобразователей, суммарной мощности пластов отдельных свит, содержания витринита в углях и их степени восстановленности позволили сформулировать *второе научное положение*:

**В углях Кузнецкого бассейна установлены два типа восстановленности: флористическая (Пв<sub>флор</sub>), обусловленная эволюцией растений-углеобразователей под влиянием палеоклиматических и палеогеографических факторов при формировании угленосных отложений, и литофациальная (Пв<sub>л-ф</sub>), которая является результатом**

## геодинамических условий (циклогенеза) накопления угольных пластов в бассейне.

По мнению автора, преобразование растительной массы (РМ) в палеоболотах (по аналогии с современными болотами), могло проходить по следующей схеме (рис. 8).



Рис. 8. Схема преобразования растительной массы в палеоболотах

Из неё видно, что процессы гелификации и фюзенизации протекали на разных уровнях палеоторфяника и это связано с изменением уровня водной среды. Основные факторы фюзенизации - это длительные геодинамические и климатические условия формирования топяных болот, в которых активно нарастание растительной массы частично не закрывается водой. Гелификация - это процесс, протекающий только в воде с разной интенсивностью разложения в зависимости от глубины болота.

Выделяют бактериальную аэробную среду (до 0,5 м), глубже - анаэробную, сопровождающуюся сульфатредуцирующими бактериями (до 10 м), и ниже - зона химических реакций, сопровождающаяся мало изученными бактериями. Среди них выделяются бактерии, поглощающие и выделяющие азот (нитробактерии).

В верхней зоне болота проходили окислительные биохимические процессы в виде интенсивного разложения тканей растений. С глубиной процессы имели окислительно-глеевый характер, который можно назвать преобразованием коллоидной массы в гель, но возникали определённые условия, связанные с минеральным составом водной среды,  $pH$  и групповым составом растительной массы торфяника, которые способствовали активному выделению свободного водорода. Он тормозил участие кислорода в биохимических реакциях, в которых начинала активно участвовать сера, а процесс преобразования коллоидных растворов в гель приобретал восстановленный характер.

Цикличность изменения ландшафтов и типов болот, которые обуславливают доминирование отдельных видов растений-углеобразователей и состава отдельных видов тканей в торфах, прослеживается по изменению группового состава торфа и связанного с ним петрографического состава углей: содержания витринита и степень восстановленности (рис. 9).

По мнению автора, восстановленность приводила к замедлению процесса гелификации за счёт насыщения коллоидного вещества свободным водородом. Он входил в структуру матричных фрагментов тканей и предотвращал их распад в гелеобразном веществе. В результате в гелифицированном веществе часть водорода обусловила повышенное содержание метиленовых ( $-CH_2-$ ) групп в алифатических соединениях, а часть выделялась из торфяника в виде метана ( $CH_4$ ) при активном участии белков и липидов (рис. 10).

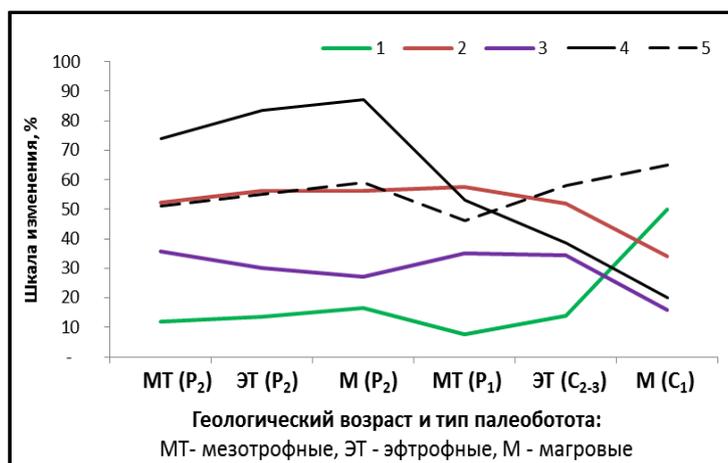
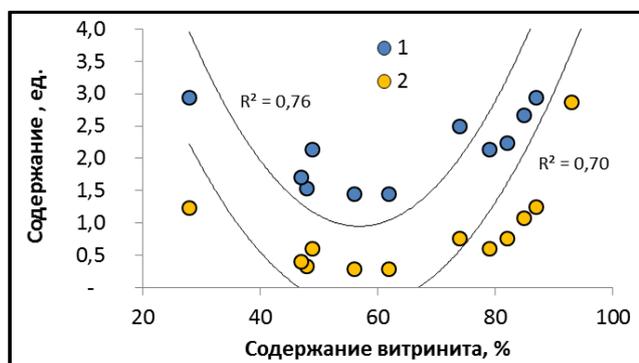
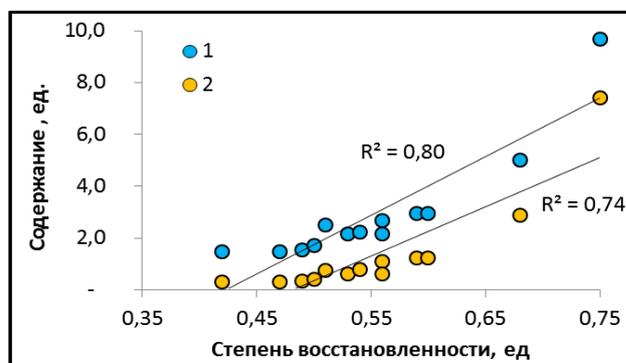


Рис. 9. Графики изменения содержания белки+липиды, углеводов (целлюлоза), лигнина в торфах и содержания витринита и степени восстановленности в угленосных отложениях разного геологического возраста: 1 - белков+липиды; 2 - углеводы; 3 - лигнин; 4 - витринит; 5 - восстановленность угля



а



б

Рис. 10. Вид связи между содержанием белков и липидов в торфах с содержанием витринита (а) и степенью восстановленности (б) углей: 1- белки; 2 - липиды

Анализ связи содержания белков и липидов в торфах с содержанием витринита и степенью восстановленностью углей угленосных отложений по свитам (рис. 10) показал, что в первом случае носит сложный характер ( $R^2 = 0,70-0,77$ ), во втором – зависимость линейная с высокой степенью аппроксимации ( $R^2 = 0,74 -0,80$ ).

Исходя из этого, на Анжерском, Прокопьевском, Киселевском, Осиновском, Байдаевском, Кушеяковском и Ерунаковском месторождениях проведено сопоставление углей пластов и угленосных отложений по свитам, подсериям и сериям, а также по витриниту ( $Vt$ ) и степени восстановленности

(Пв). Учитывалось изменение суммарной мощности пластов и растительного состава Ангариды, к которой отнесена флора позднего палеозоя Кузбасса, а в целом, позволило построить схему образования и накопления углей Кузбасса (рис. 11).

На схеме отражено эволюционное развитие флоры в позднем палеозое в виде двух этапов балахонского и кольчугинского времени угленакопления, разделённых ингрессией и в каждом этапе отмечается закономерная смена типов палеоландшафтов: прибрежно-дельтовая зона, зоны нижних и верхних террас. Каждому ландшафту свойственен тип болота: мангровый, эвтрофный и мезотрофный, а это разные условия образования торфяников по  $pH$ , уровню торфяной обводнённости, минеральному составу водной среды и видовому составу растений-углеобразователей.

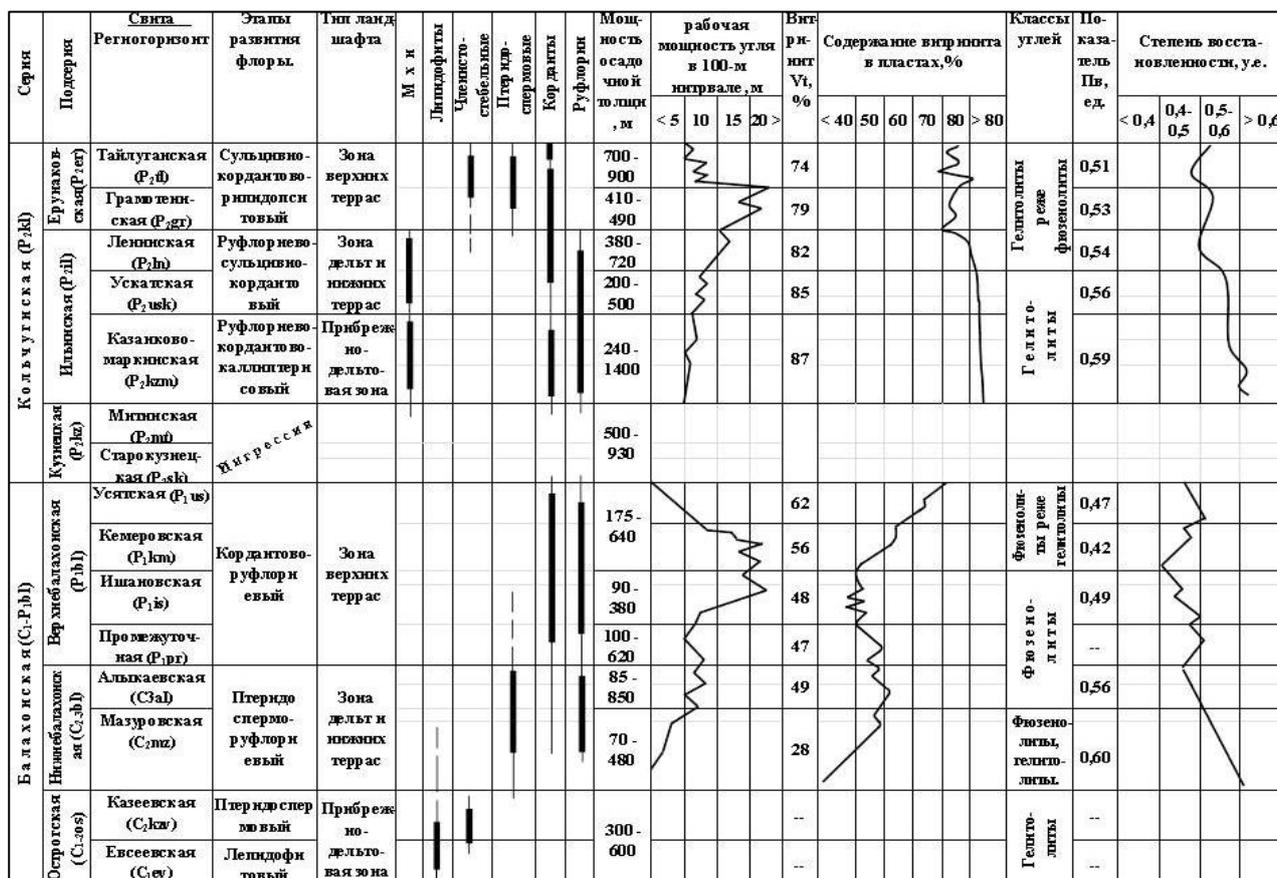


Рис. 11. Этапы развития угленакопления в позднем палеозое Ангариды и изменение суммарной мощности угленосности отложений, содержания витринита и степени восстановленности в углях Кузбасса

В изучении современных болот выделяются эвтрофные (низовые) и олиготрофные (верховые), а также переходные болота двух предыдущих типов. Данные типы болот образуются, в основном на континенте в умеренном климатическом поясе. В прибрежно-морской зоне, особенно в тропической зоне, образуются мангровые болота. В палеозойское время климат был в основном, тропическим, а развитие болот начиналась по мере отступления моря, следовательно, правильнее выделять виды заболачивания: мангровое - начальный этап, эвтрофное - развитие болотной экосистемы и мезотрофное -

как переходный вид заболачивания, присущий пермскому периоду торфонакопления.

В нашем случае рассматривается гелификация растительной массы торфяников балахонского ( $C_1-P_1$ ) и кольчугинского ( $P_2$ ) времени, формировавшихся в мангровых, эвтрофных и мезотрофных условиях образования болот, и растительность продуктивных растений-углеобразователей данных болот в каменноугольно-пермское время была, в основном, тропическая в виде лесной и кустарниковой флоры, отличавшаяся от современной растительности формой и размерами в сторону увеличения. Для тропической растительности характерно высокая продуктивность повышенное содержание азота и это подтверждается изучением современных тропических болот.

По данным автора (В.В. Добровольский, 2003) современная тропическая лесная растительность обладает более высокой продуктивностью по биомассе ( $52000 \text{ т/км}^2$ ), чем в умеренном климате, захват азота лесной тропической растительностью в 4,5 раза выше в умеренном климате, а возврат его лесной и болотной растительностью пропорционален на уровне 1,6. Следовательно, в мангровых болотах шло обильное образование молекулярного азота при гниении белковых веществ и при разложении химических соединений, т.е. проходила аммонификация, а затем нитрификация.

Процессы превращения соединений серы также проходят две фазы: разложение (гниение) растительной массы в болоте в анаэробную фазу и превращение гнилостного вещества в коллоиды в анаэробную фазу. По мере ухудшения кислородного режима при переходе из одной фазы в другую происходит выделение сероводорода, но он также образуется при гниении белковых веществ. Поэтому нитробактерии и серобактерии развиваются в симбиозе

В итоге, основным источником восстановительного процесса является сероводород, а среда насыщения серой и азотом может быть кислой или щелочной из-за её солёности или пресности. Вероятность возникновения восстановительной среды намного возрастает при совместном участии азота и серы в солёной водной среде при повышенном содержании азота. В биохимическом превращении растительной массы в гелеобразную выделяются распад в аэробной среде растительных тканей, образование коллоидных растворов и их преобразование в анаэробной среде в гелеобразную массу. По мнению автора, скорость преобразования коллоидного раствора в гель обуславливается биохимической устойчивостью растительных тканей, выражается проявлением флористической восстановленности, поэтому её воздействие на гумификацию коллоида можно представить в виде произведения показателей  $P_v$  и  $P_g$ :

$$I_{ГМУ} = P_v \times P_g, \quad (6)$$

где параметр  $I_{ГМУ}$ —интенсивность преобразования коллоидного раствора в гелифицированную массу, отражающая степень биохимической устойчивости растительной массы торфяника (рис. 12). Разная степень аппроксимации значений  $I_{ГМУ}$ ,  $P_g$ ,  $P_v$  объясняется низкой корреляцией ( $r = 0,72$ ) показателя

$I_{ГМУ}$  с показателем Пв и высокой ( $r = 0,96$ ), что свидетельствует о тесной связи степени гелификации со степенью гумификации органической массы. Другими словами, индекс ГМУ ( $I_{ГМУ}$ ) больше отражает особенности преобразования коллоидного раствора в гелифицированную массу, нежели степень восстановленности, которая только учитывается данным показателем

Сравнение показателей  $Vt$ , СК/ОК и  $I_{ГМУ}$  показало, что линии трендов показателей имеют сходство по виду и амплитуде, однако достоверность аппроксимации у показателей  $Vt$  и  $I_{ГМУ}$  на уровне  $R^2 = 0,72$  и  $0,73$ , а у показателя СК/ОК ниже,  $R^2 = 0,60$  (рис. 13).

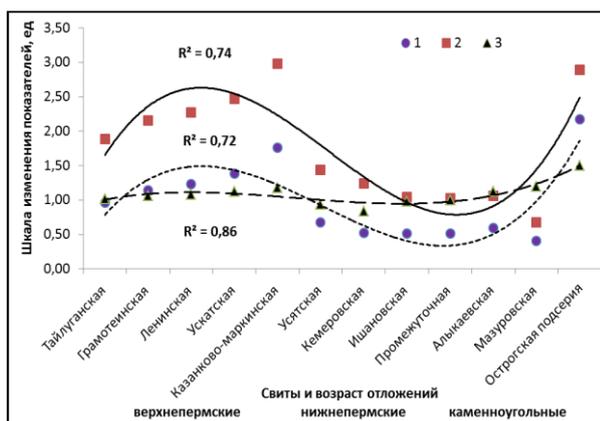


Рис. 12. Графики изменения показателей  $I_{ГМУ}$ , Пг, Пв: 1 – степень гумификации коллоидов органической массы; 2 – степень гелификации углей; 3 – степень восстановленности углей (2 кратное увеличение)

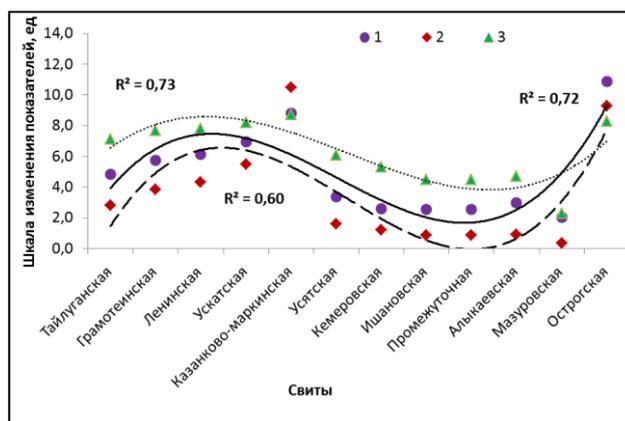


Рис. 13. Графики изменения показателей  $I_{ГМУ}$ , СК/ОК:  $Vt$ : 1 - степень гумификации коллоидов органической массы (5-ти кратное увеличение); 2 – степень гелификации углей (петрографический способ); 3 – содержание витринита в углях (10-кратное уменьшение)

Проведённый анализ развития угленакопления в Кузнецком бассейне по суммарной мощности угля по свитам, содержанию витринита и степени восстановленности угленосных отложений показал, что характер изменения показателей витринита и восстановленности в углях однонаправленный, а в отложениях верхнебалахонской подсерии они имеют низкие значения, при этом мощность этих отложений максимальная (рис. 14). Из этого следует, что сильное проявление восстановленности (Пв) приурочено к отложениям раннего карбона и связано с мангровыми болотами, затем она снижалась к началу перми до исчезновения в мезотрофных болотах. После ингрессии при возникновении мангровых болот она вновь активно появляется, но после их исчезновения её уровень снижается до конца пермского угленакопления (рис. 11 и 14).

Следовательно, однонаправленный характер восстановленности и гелификации обусловлен изменением состава растений-углеобразователей, а характер связи показателей Пв и Пг с содержанием белков и липидов указывает, что эволюция растений или смена видового состава болотной флоры в значительной мере влияла не только на гелификацию, но и обуславливала появление восстановленности.

Результаты анализа мощности угленосных пластов, содержания витринита в углях, степень их гелификации и восстановленности балахонской и

кольчугинской серий (рис. 15 и 16) показывают, что при возрастании мощности снижается содержание витринита ( $Vt$ ) и восстановленность (Пв) в углях, при этом по отдельным пластам эти показатели изменяются разнонаправлено.

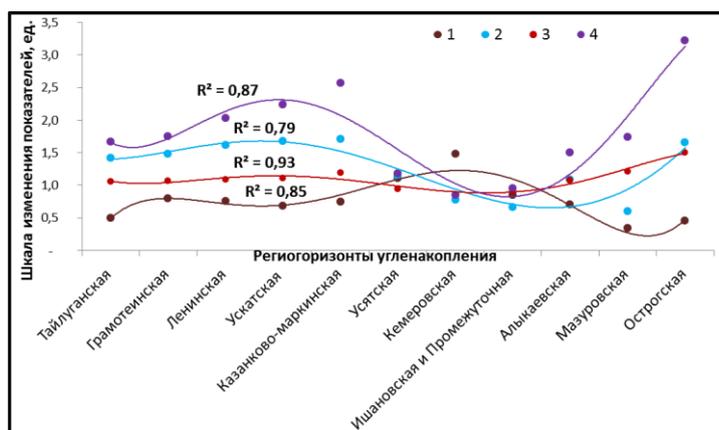


Рис. 14. Графики изменения суммарной мощности угленосных отложений (1); содержания витринита (2); степени восстановленности (3) и гелификации (4) в региогоризонтах угленакопления в средних значениях: *уменьшение мощности (3-кратное), содержания витринита (10-кратное) и увеличение степени восстановленности (2-кратное)*

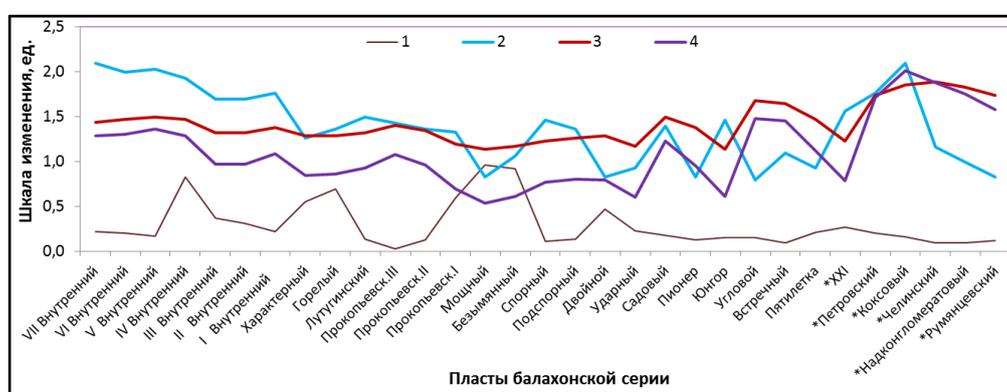


Рис. 15. Графики изменения мощности угленосных пластов (1); содержания витринита (2); степени восстановленности (3) и гелификации (4) в отложениях балахонской серии: *уменьшение мощности (10-кратное), содержания витринита (30-кратное) и увеличение степени восстановленности (3-кратное)*

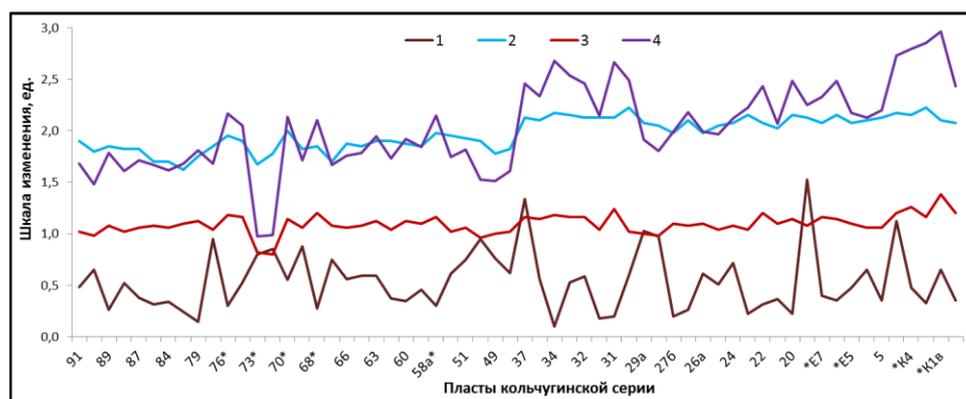


Рис. 16. Графики изменения мощности угленосных пластов (1); содержания витринита (2); степени восстановленности (3) и гелификации (4) в отложениях кольчугинской серии: *уменьшение мощности (4-кратное), содержания витринита (40-кратное) и увеличение степени восстановленности (2-кратное)*

В балахонских отложениях эти особенности ярко выражены в углях пластов Характерный, Прокопьевский, Спорный, Подспорный, Юнгор (рис.15), как и в кольчугинских углях пластов 84, 37, 34, 32, 29, 20, E5 (рис.16). Циклогенез осадков, характеризующийся их неравномерным тектоническим

погружением, имеет разную ритмичность возникновения фаций углеобразования (угленосный пласт), которые характеризуют периоды кратковременного угленакопления. При наличии благоприятных условий развития гелификации в торфяниках могли возникать биохимические и геохимические условия, инициирующие образование восстановленности. Замечено, что в углях маломощных пластов (до 1,2 метра) показатель восстановленности имеет более высокие значения.

Такой вид восстановленности отражает геодинамические условия угленакопления и обусловлен литолого-фациальными условиями, соответственно следует выделять литофациальная восстановленность (Пв<sub>л-ф</sub>). Она возникает на фоне флористической восстановленности и имеет локальный генезис в процессе формирования угленосной толщи месторождения, поэтому восстановленные угли литолого-фациального происхождения следует рассматривать, как маркёры особых условий углеобразования пластов отдельной свиты.

Таким образом, с помощью показателей Пв и Пг доказано, что образование флористической восстановленности (П<sub>фл</sub>) в углях Кузнецкого бассейна связано с эволюцией растений-углеобразователей, проходившей под влиянием палеоклиматических и палеогеографических факторов в верхнепалеозойский период угленакопления, а результатом неравномерного тектонического погружения осадков (циклогенеза) в отдельном осадочном комплексе является литофациальная восстановленность (П<sub>л-ф</sub>).

В главе 5 **«Закономерности изменения восстановленности и гелификации в угленосных отложениях каменноугольно-пермского возраста»** полученные комплексным методом закономерности изменения гелификации и восстановленности углей в Кузнецком бассейне применены для установления генетической идентичности углей разных бассейнов с целью распознавания условий торфогенеза в верхнем палеозое.

Изучение генетической связи угольных отложений Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого бассейнов началось ещё в 50-е годы с использованием спорово-пыльцевого анализа (Любер, 1955) и теории закономерного размещения угольной массы в виде поясов и узлов (Степанов, 1937). По флористическим признакам были установлены связи между угленосными отложениями Донбасса, Карагандинского и Кузнецкого бассейнов в карбоне. При изучении угленосных отложений Печорского бассейна по фауне и флоре (Погоревич, 1955) и по угленосности пластов (Волков, 1957) обнаружено сходство образования печорских углей с углями Донбасса и Кузбасса.

Выделена зональная особенность изменения состава углеобразующей растительности, типов углей с климатическими зонами: экваториальной, субаридной тропической и умеренной. С ними связывают различие углеобразующих растений, а с климатическими особенностями - типичный петрографический состав углей для каждой зоны. (VIII Международный конгресс по стратиграфии и геологии, 1975 г.). Сделано предположение, что

степень восстановленность углей зависит от климатической зональности, с которой увязывают в угленосных формациях эпохи угленакопления девона, нижнего карбона, средне- и верхнего карбона и перми.

С точки зрения геотектонического режима земной коры (Цейслер, 2004) пояса угленакопления следует проводить по крупным ритмо-комплексам и их частям, с которыми связаны изменение климата и эпохи трансгрессий и регрессий, а поэтому выделяются угленосные ритмо-комплексы: ранний карбон и средний-верхний карбон, нижнюю и верхнюю пермь.

Принимая во внимание существующие противоречия и исследования глобальной эволюции торфоугленакопления (Егоров, 2011), до сих пор остаётся не раскрытым генетическое сходство и различие угленосных отложений разных бассейнов, что и позволило сформулировать *третье научное положение*:

**Сходство угленосных отложений Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского бассейнов обусловлено доминированием типа болота: мангрового, эвтрофного и мезотрофного, а различия – степенью восстановленности углей. Сочетание типа болотной среды и особого состава флоры определяло интенсивность гелификации растительной массы вне зависимости от этапов и ритмов угленакопления.**

Авторы общепринятых классификаций (Богомазов, Иванов, Петровский, 1986), (Быкадоров, Портнов, Тимофеев, Череповский, 1989), (Портнов, 1988) отмечают, что Карагандинская, Кузнецкая и Печорская угленосные формации сформировались в близких геологических условиях, а образование Донецкой угленосной формации имеет отличительные признаки. Интенсивность площадного распространения отдельных эпох угленакопления, которые подчинены общим палеогеографическим и палеотектоническим особенностям развития земной коры, была не одинаковой, но выделяются карбоновые отложения Донецкой и Карагандинской УФ и пермские отложения Кузнецкой и Печорской УФ.

Данные геологические объекты не рассматривались с позиции генезиса фации углеобразования, которая отражает все условия образования материнского вещества угля и угленакопление в формациях. Используя данные петрографического состава углей Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского бассейнов, на которые опираются создатели ГОСТ 25543-2013, была сделана увязка суммарной мощности угленосных формаций с показателями восстановленности (Пв) и гелификации (Пг) по эпохам угленакопления (рис. 17).

Из графиков видно, что в каменноугольно-пермский период углеобразования мощность угленакопления и интенсивность проявления гелификации и восстановленности проходили циклично. Тренды мощности угленакопления и гелификации однонаправленны и указывают, что эти процессы поступательно возрастающие, а проявление восстановленности постоянно снижалось. Полиномиальные линии трендов в пятой степени аппроксимации значений петрографических и спектральных параметров ( $Vt$ , СК/ОК, Пг, Пв) отражают их разную степень зависимости от циклического процесса угленакопления в виде мощности угленосных отложений, при этом

корреляционная связь показателя Пв с перечисленными параметрами отсутствует ( $R^2 = 0,24$ ).

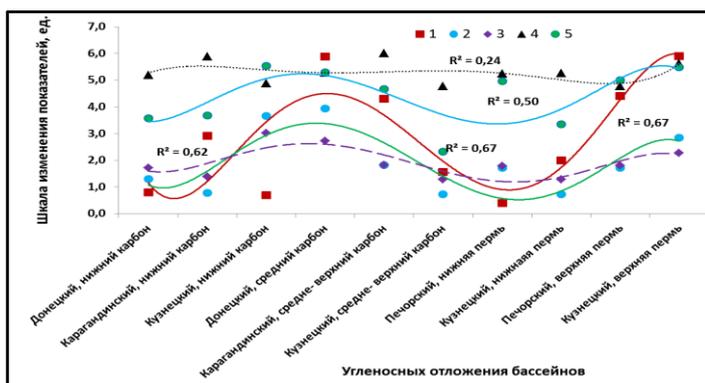


Рис. 17. Графики изменения суммарной мощности угленосных отложений (1), отношения спекающих и отошающих компонентов (2), степени гелификации (3) и восстановленности (4) и содержания витринита (5)

Ранжирование обстановок по показателю Пв по мере снижения позволили проследить изменение показателей Пг и  $I_{ГМУ}$  в угленосных отложениях Кузнецкого бассейна (рис. 18). Показатель ( $I_{ГМУ}$ ) отражает характер гелеобразования, а показатели Пг и Пв отражают флористический состав и тип болот Кузнецкого бассейна. Это необходимо для корректного сравнения угленосных отложений разных бассейнов, так как индекс ГМУ ( $I_{ГМУ}$ ) имеет связь с содержанием витринита на уровне  $r = 0,79$ . Тем самым было выявлено, что флористическая восстановленность проявляется в обстановках 1, 2, 3.

Рассматривая изменение обстановок углеобразования в привязке к ритмо-комплексам бассейна (рис. 19) через показатели Vt, Пг, Пв,  $I_{ГМУ}$  в относительных величинах, отмечается цикличность смены условий углеобразования.

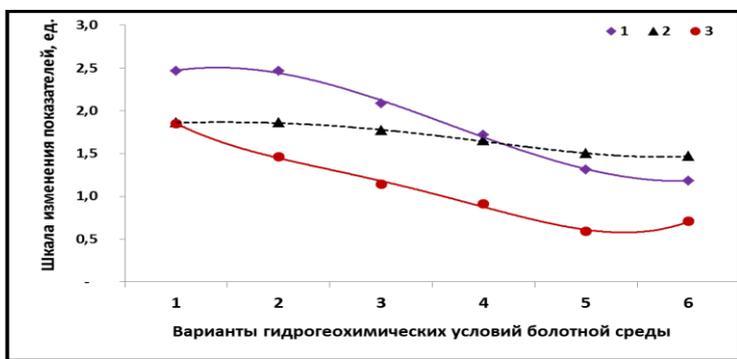


Рис. 18. Графики изменения степени гелификации (1), восстановленности (2) угля и интенсивности гелеобразования (3) от биогеохимических условий среды

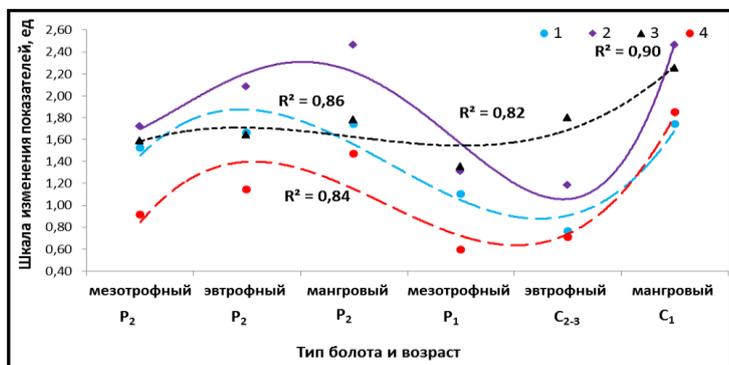


Рис. 19. Графики изменения содержания витринита (1) степени гелификации (2), восстановленности (3) и в углях и интенсивность гелеобразования органической массы (4) от болотной среды

По оси X (рис. 19) выделяются два интервала: верхнепермские болота и пермско-карбонные болота, которые в стратиграфическом разрезе бассейна соответствуют кольчугинскому и балахонскому времени угленакопления.

Используя данные (Арбузов, 2000) и авторский метод определения ассоциативных химических элементов по микроэлементам-индикаторам (Иванов, 2010), установлено, что вариантам обстановок характерен особый набор микроэлементов-индикаторов Ce, La, Ta, Yb, Sm, Cs.

Как отмечает (Добровольский, 2003), для раннего карбона свойственно образование крупных масс каолинита в результате трансформации минерального вещества на поверхности континентов, что подтверждается наличием алюминия в ассоциативном ряду микроэлементов (Ce-Se-Ti-Al-N-Be) в варианте 1 обстановки торфообразования, при  $P_v = 0,62$ , а присутствие азота в ряду - на флористическое происхождение восстановленности. Аналогичные подтверждения были получены и по другим вариантам торфообразования и авторские результаты увязываются с существующей теорией биогеохимического синтеза на Земле.

В привязке к ритмо-комплексам Донецкого, Карагандинского, Печорского и Кузнецкого бассейнов (рис. 20) также было проведено сравнение показателей  $V_t$ , Пг,  $P_v$ ,  $I_{ГМУ}$ , которые сортированы по убыванию значений индекса ГМУ. Сравнение содержания гелифицированных компонентов в угле ( $V_t$ ) с интенсивностью гелеобразования ( $I_{ГМУ}$ ) в угленосных отложениях показало, что это разные критерии оценки состояния гелифицированного вещества. Количество гелифицированного вещества не всегда отражает процесс его образования, а поэтому графики показателей  $V_t$  и  $I_{ГМУ}$  не совпадают, несмотря на однонаправленное изменение показателей и высокую корреляционную связь между ними ( $r = 0,86$ ). Можно предположить, что показатель  $I_{ГМУ}$  косвенно указывает на преобладание телинита или коллинита в угленосных отложениях по оси X.

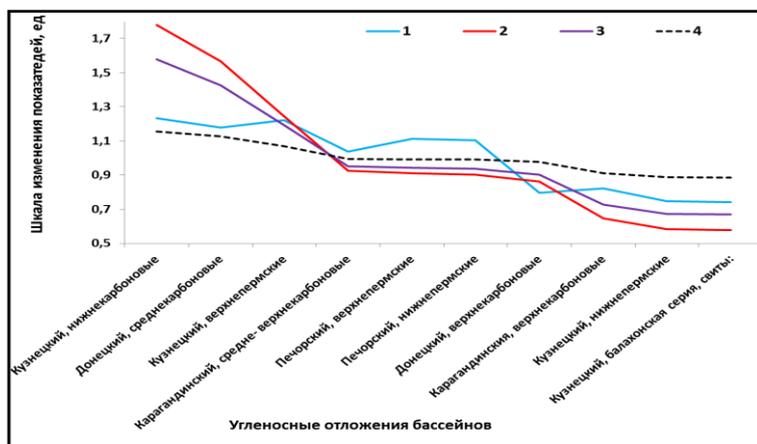


Рис. 20. Графики изменения содержания витринита (1), интенсивности гелеобразования (2), степени гелификации (3) и восстановленности (4) в угленосных отложениях бассейнов

По линиям изменения показателей  $I_{ГМУ}$  и Пг однозначно выделяются три области близких значений показателей  $I_{ГМУ}$ , Пг и  $P_v$  и им соответствуют: 1) средне- верхнекарбоневые отложения Донбасса и нижнекарбоневые и верхнепермские отложения Кузбасса; 2) средне- верхнекарбоневые отложения Карагандинского, пермские отложения Печорского и верхнекарбоневые отложения Донецкого бассейнов; 3) верхнекарбоневые отложения Карагандинского и средне- верхнекарбоневые и нижнепермские отложения Кузнецкого бассейнов.

После обобщения результатов и выявленных закономерностей получена параметрическая характеристика торфообразования верхнего палеозоя (табл. 2). В таблице 3 приведены генетические параметры угленосных отложений по бассейнам, ритмо-комплексам и этапам угленакопления

Таблица 2

**Виды болот, элементный и микроэлементный состав среды и генетические параметры торфообразования в верхнем палеозое**

Вид болота	Основные химические и микроэлементы водной среды		Генетические параметры торфообразования, ед.			
			П <sub>БГС</sub>	Пг	Пв	I <sub>ГМУ</sub>
Мангровый	N	Se, Ti, Al, Ca, Mg, Be	5	2,47	0,62	1,66
Эвтрофизотрофный пермский	S,O	Co, F, B, Li, Fe	3,3	1,9	0,57	1,03
Мезоэвтрофный пермско-карбонный	O, C	Sr, Ti, Si, Be, Ge, Ca, Na, Li	2,5	1,25	0,50	0,65

Таблица 3

**Генетические параметры угленосных отложений Донецкого, Карагандинского, Печорского, Кузнецкого бассейнов**

Угленосные отложения	Возраст отложений	Генетические параметры					
		Vt, %	Пг, ед.	Пв <sub>min</sub> , ед.	Пв <sub>max</sub> , ед.	Пв <sub>фл</sub> , ед.	I <sub>ГМУ</sub> , ед.
Донецкий	C <sub>1</sub>	54	1,73	0,48	0,55	0,52	0,95
	C <sub>2-3</sub>	79	2,72	0,54	0,64	0,59	1,74
<b>По бассейну</b>	<b>C<sub>1-3</sub></b>	<b>66</b>	<b>2,22</b>	<b>0,51</b>	<b>0,59</b>	<b>0,55</b>	<b>1,34</b>
Карагандинский	C <sub>1</sub>	55	1,39	0,46	0,51	0,49	0,72
	C <sub>2-3</sub>	70	1,82	0,49	0,56	0,53	1,02
<b>По бассейну</b>	<b>C<sub>1-3</sub></b>	<b>63</b>	<b>1,61</b>	<b>0,48</b>	<b>0,54</b>	<b>0,51</b>	<b>0,87</b>
Печорский	P <sub>1</sub>	74	1,79	0,49	0,56	0,52	1,00
	P <sub>2</sub>	75	1,80	0,49	0,56	0,53	1,01
<b>По бассейну</b>	<b>P<sub>1-2</sub></b>	<b>75</b>	<b>1,80</b>	<b>0,49</b>	<b>0,56</b>	<b>0,52</b>	<b>1,01</b>
Кузнецкий	C <sub>1</sub>	83	3,02	0,55	0,65	0,60	1,97
	C <sub>2-3</sub>	50	1,28	0,45	0,50	0,48	0,64
	P <sub>1</sub>	50	1,29	0,45	0,50	0,48	0,65
	P <sub>2</sub>	82	2,28	0,52	0,60	0,56	1,38
<b>По бассейну</b>	<b>C<sub>1</sub>-P<sub>2</sub></b>	<b>66</b>	<b>1,78</b>	<b>0,49</b>	<b>0,55</b>	<b>0,52</b>	<b>1,01</b>
<b>Ритмо-комплексы и стратиграфические этапы угленакопления</b>							
Нижнекарбонные	C <sub>1</sub>	64	2,04	0,50	0,57	0,54	1,21
Средне-верхнекарбонные	C <sub>2-3</sub>	61	1,94	0,49	0,57	0,53	1,13
Нижнепермские	P <sub>1</sub>	62	1,54	0,47	0,53	0,50	0,82
Верхнепермские	P <sub>2</sub>	79	2,04	0,50	0,58	0,54	1,19
<b>Пояса угленакопления</b>							
Каменноугольный	C	63	1,99	0,50	0,57	0,53	1,17
Пермский	P	70	1,79	0,49	0,56	0,52	1,01
<b>Верхний палеозой</b>	<b>C-P</b>	<b>67</b>	<b>1,89</b>	<b>0,49</b>	<b>0,56</b>	<b>0,53</b>	<b>1,09</b>

Итак, благоприятные условия для активной жизнедеятельности растений богатых белковыми соединениями обуславливают наибольшее проявление флористической восстановленности ( $Pv_{\text{флор}}$ ), а флористическое отличие угленосных отложений разных бассейнов предопределялось геоструктурными и геотектоническими особенностями провинций торфообразования в виде локальных растительных экосистем.

Показатель флористической восстановленности угленосной толщи Донбасса самый высокий,  $Pv_{\text{флор}} = 0,54$  ед., в Карагандинском бассейне  $Pv_{\text{флор}} = 0,51$  ед. Разброс значений  $Pv_{\text{флор}}$  характеризует степень эволюционной изменчивости в бассейнах и в Донецком бассейне эти условия были более не стабильными. В Печорском и Кузнецком бассейне средний уровень показателя  $Pv_{\text{флор}} = 0,52$  ед., при этом разброс значений  $Pv_{\text{флор}}$  в Печорском бассейне в пределах 0,01, тогда как в Кузнецком бассейне разброс  $Pv_{\text{флор}}$  в пермских отложениях 0,08, а по бассейну 0,12 ед., что характеризует разное влияние флористической изменчивости. Изменение среднего значения  $Pv_{\text{флор}}$  в ритмо-комплексах угленакопления 0,50 – 0,54 ед., в этапах 0,52 - 0,53 ед., а в угленосной толще верхнего палеозоя (С-Р) рассматриваемых бассейнов  $Pv_{\text{флор}} = 0,53$  ед.

На рисунке 21 показано изменение флористической восстановленности.

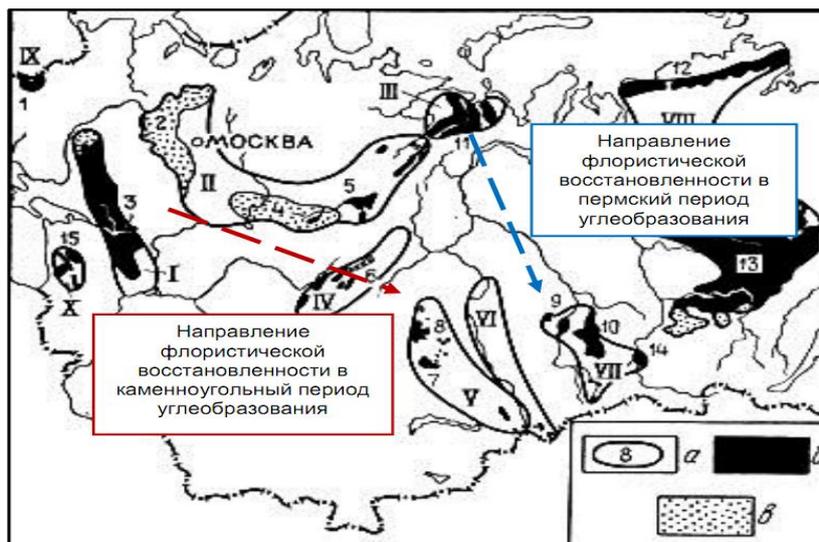


Рис. 21. Обзорная карта размещения палеозойских угленосных провинций и бассейнов на территории России и стран СНГ:

*а* – контур провинции; *б* – угли каменные; *в* – угли бурые. Провинции: **I** – Донецкая, **II** – Московско-Уральская, **III** – Печорская, **IV** – Восточно-Уральская, **V** – Казахстанская, **VI** – Иртыш-Зайсанская, **VII** – Кузнецкая, **VIII** – Тунгусская, **IX** – Львовско-Селезская, **X** – Кавказская. Бассейны: **1** – Львовско-Волынский, **2** – Подмосковский, **3** – Донецкий, **4** – Камский, **5** – Кизеловский, **6** – нижнекаманенноугольные месторождения Урала, **7** – Карагандинский, **8** – Экибастузский, **9** – Горловский, **10** – Кузнецкий, **11** – Печорский, **12** – Таймырский, **13** – Тунгусский, **14** – Минусинский, **15** – месторождения Северного Кавказа. (авт. жирным начертанием выделены рассматриваемые провинции и бассейны)

В карбоновом поясе торфоуглеобразования прослеживается с запада на восток, а в пермском поясе с СЗ на ЮВ, указывая на широтное эволюционное

изменение флоры по климатическим поясам По индексу ГМУ ( $I_{ГМУ}$ ) интенсивность образования гелифицированной массы угля в бассейнах Донецкий и Печорский была выше, чем в Кузнецком (исключая отложения острогской серии) и Карагандинском, а это указывает отличие условий углеобразования в западной и восточной частях северного полушария Земли. По эпохам угленакопления периода  $C_1 - P_2$  отмечается закономерная цикличность изменения восстановленности и образование ГМУ. Средние значения показателя флористической восстановленности ( $Pв_{фл}$ ) в угленосных отложениях Донецкого, Карагандинского, Печорского Кузнецкого бассейнов составили 0,60; 0,55; 0,52; 0,49 ед.

Полученные закономерности позволили создать модель изменения генетических параметров углей каменноугольно-пермских возраста (рис. 22).

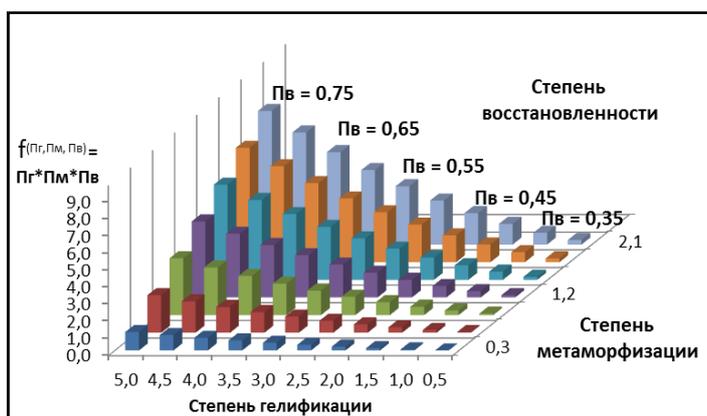


Рис. 22. Модель изменения генетических параметров углей каменноугольно-пермского возраста

Таким образом, на примере Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского угольных бассейнов доказано, что сходство угленосных отложений бассейнов обусловлено доминированием типа болота: мангрового, эвтрофного, мезотрофного, а их различие интенсивностью проявления флористической восстановленности углей. Сочетание болотной среды и особого состава флоры предопределяло периодизацию степени гелеобразования органической массы в торфяном слое без какой-либо привязки к этапам и ритмам каменноугольно-пермского периода угленакопления.

В главе 6 «Разработка критериев ценности каменных углей и промышленно-генетической классификации для единого учёта угольных запасов» излагается подход в создании критериев ценности каменных углей для обоснованного выделения коксующихся углей каменноугольно-пермского возраста, которые определяют сырьевую базу коксования РФ.

В настоящее время при оценке каменных углей выделяют спекающиеся угли, которые устанавливаются по **спекающей способности** угля, но угли могут проявлять **спекаемость** и **коксуемость** Такой подход разработан для определения способности углей, как угольного сырья, коксоваться совместно в угольных шихтах применительно технологии слоевого коксования, основной для получения металлургического кокса. Ископаемые угли, находящиеся в недрах, рассматриваются как потенциальное сырьё для энергетики.

При разведке рудных залежей определяются кондиционное содержание полезного компонента. Для каменных углей гумусового происхождения таким

критерием является способность ископаемого угля индивидуально образовывать кокс. Исходя из этого сформулировано **четвёртое научное положение:**

**Разработан новый подход, учитывающий основные направления использования каменных углей, для выделения трёх видов: коксующихся, энерготехнологических и топливных, и предложена промышленно-энергетическая классификация, обеспечивающая единый учёт данного вида полезного ископаемого на основе его промышленно-генетической, технологической и энергетической ценности.**

Автор считает, что угольный материал, находящийся в недрах в виде пластовой залежи, следует определять как ископаемый уголь и признавать *природным композиционным сырьём первого порядка*. Рукотворный угольный материал, полученный в результате разработки пластовой залежи считать угольным сырьём и признавать *искусственным композиционным сырьём второго порядка*. Угольное сырьё может быть представлено одним угленосным пластом или несколькими пластами в виде смеси (угольной шихты), ископаемый уголь представляет только угленосный пласт, отражающий фацию углеобразования.

В ископаемом угле оценивается способность угольного вещества, состоящего из гелифицированных и фюзенизированных (инертных) компонентов, спекаться с образованием полукокса под действием температуры до 700°С и коксоваться при температуре 950-1000°С, когда полукокс переходит в кокс. От количества активных (гелифицированных) компонентов в ископаемых углях, способных в виде пластической массы спекать инертный материал (продукты фюзенизации), зависит **спекающая способность**, а от свойств нелетучего остатка - полукокса будет зависеть **коксующая способность**.

В угольном сырье разрабатываемого пласта также определяется коксующая способность, но для сырья определяющим является способность угля к взаимодействию с другим углём, т.е. его способность спекать другие угли и проявлять коксуемость на уровне угольных частиц определённого размера. В этом случае, в смеси ископаемых неоднородных углей при нагревании происходит взаимодействие гелифицированных и фюзенизированных неоднородных компонентов, в результате они оказывают влияние друг на друга, т. е. **поведение (спекаемость и коксуемость)**.

Под термином «коксующаяся способность» следует понимать свойство измельчённого угля спекать инертные включения, входящие в угольное вещество, и образовывать в стандартизованных условиях связанный нелетучий остаток с определённой прочностью его тела. Исходя из этого, в основу предлагаемого метода выбран способ Л.Н. Сапожникова (ГОСТ 1186-87) измерения пластометрических показателей  $x$  (вспучиваемость) и  $y$  (толщина пластического слоя) углей и метод определения выхода летучих веществ ( $V^{daf}$ ) по ГОСТ 6382-2001. По разработанным формулам определяются технологические параметры угля: объём выхода пластической массы ( $V^{ПМ}$ ), коэффициент газоотделения углей ( $K^{Г^O}$ ), коэффициент пиролиза ( $K^{II}$ ),

коэффициент выхода полукокса ( $K^{ПК}$ ) и коэффициент выхода кокса ( $K^K$ ), а по конечной формуле определяется коксующая способность:

$$K^{КС} = \frac{1}{2} (K^{ГП} + K^K) . \quad (7)$$

На втором этапе проводится определение способности ископаемого угля к коксообразованию, для чего производится механическое испытание пластометрического полукокса путём измерения его структурной прочности ( $P_c$ ) по ГОСТ 9521-74 и делается расчёт по формуле:

$$K^{ПТК} = P_c \times \frac{1}{2} (K^{ГП} + K^K) . \quad (8)$$

Опираясь на базу данных качества углей ( $R_o$ ,  $V_t$ ,  $S_v$ ,  $I$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $\sum OK$ ,  $y$ ,  $V^{daf}$ ) создателей ГОСТ 25543-2013, на примере углей Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского бассейнов был сделан сравнительный анализ показателей  $y$  и  $K^{КС}$ , который показал, что тренды спекающей и коксующей способностей в ряду метаморфизма имеют разнонаправленный характер изменения (рис. 23). Отмечается, что с увеличением метаморфизации углей от  $R_o = 1,01 - 1,016$  % и выше, снижается спекающая способность, при этом коксующая способность углей возрастает.



Рис. 23. Графики изменения показателей  $y$  (1) и коксующей способности (2) способностей от степени метаморфизма углей ( $R_o$ )



Рис. 24. Графики изменения показателей коксующей (1) и коксообразующей (2) способностей углей разной спекающей способности ( $y$ ) и стадий углефикации в виде марки

Изменение показателей  $K^{КС}$  и  $K^{ПТК}$  по маркам углей с разной спекаемостью в ряду метаморфизма наглядно демонстрирует полиномиальный характер связи между спекающей способностью углей с их способностью коксоваться и образовывать кокс. Видно, что спекаемость углей лишь опосредованно влияет на процесс их коксообразования, чем на выход кокса. (рис. 24). Установлено, что показателю  $K^{КС} \geq 1,0$  ед. будет соответствовать  $y = 17$  мм в области углей газовой-жирной стадии углефикации и  $y = 8$  мм углей коксовой стадии, показателю  $K^{ПТК} \geq 1,0$  ед.  $y = 21$  мм в газовой-жирных и  $y = 10$  мм в коксовых углях (рис. 24).

Следовательно, спекающиеся угли с показателем  $K^{КС} \geq 1,0$  ед. будут коксующимися углями, а среди них, с показателем  $K^{ПТК} \geq 1,0$  ед. - коксообразующими углями (табл. 4). Следует отметить, что на коксующую способность высоко метаморфизованных углей оказывает влияние их степень

восстановленности, которую в углях разных бассейнов сложно установить по пластическому слою (рис. 25), но хорошо фиксирует показатель  $K^{КС}$  (рис. 26).

По числовым значениям можно проводить деление углей, а именно, выделять среди спекающихся углей коксующиеся угли, а среди них коксообразующие угли, как ценные угли для производства металлургического кокса технологией слоевого коксования.

Таблица 4

**Сводная характеристика углей Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого, Печорского бассейнов**

Стадия углефикации	$R_0$ , %	$СК$ , %	$V^{daf}$ , %	$y$ , мм	Пв, ед.	$K^{ГП}$ , ед.	$K^{КС}$ , ед.	$K^{ПТК}$ , ед.
газовая	0,72	82	38,0	13	0,57	0,59	0,78	0,57
газово-жирная	0,75	87	38,1	17	0,55	0,65	<b>1,01</b>	0,76
	0,82	88	36,9	21	0,57	0,72	1,31	<b>1,04</b>
жирная	0,96	88	33,3	26	0,59	0,84	1,85	1,52
коксовая	1,38	71	20,2	13	0,59	0,98	1,81	1,34
коксово-тощая	1,50	66	17,3	10	0,59	0,99	1,57	<b>1,12</b>
тощая	1,57	67	16,5	8	0,57	1,05	1,28	0,89

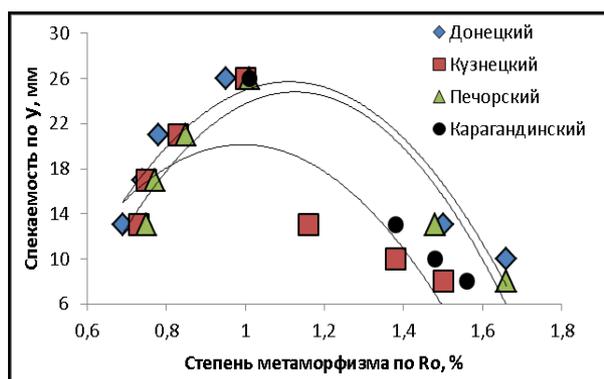


Рис. 25. Распределение углей разных бассейнов по спекающейся способности и по степени метаморфизма

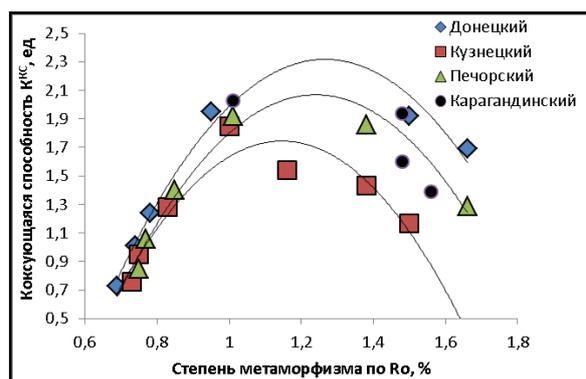


Рис. 26. Распределение разных бассейнов углей по коксующейся способности и по степени метаморфизма

Таким образом, новый подход обоснованно позволяет определять среди спекающихся ископаемых углей коксующиеся и коксообразующие угли на основе показателей  $K^{КС}$  (коксующая способность) и  $K^{ПТК}$  (прочность тела кокса), которые могут выступать в качестве критериев ценности углей по следующим свойствам.

**Коксующая способность** – это свойство измельчённого угля спекаться и обеспечивать установленную когезионную прочность и выход кокса. **Коксообразующая способность** – это свойство измельчённого коксующегося угля коксоваться с образованием установленной прочности тела кокса. Следовательно, «**коксующийся уголь - это спекающийся уголь, способный при заданных условиях обеспечить выход кокса с установленной когезионной прочностью и прочностью тела кокса**» (авт.).

В качестве генетических показателей разработаны критерии оценки генетического преимущества и генетической совместимости коксующихся углей. **Генетическое преимущество** – это наиболее оптимальное сочетание генетических факторов, степени гелификации, восстановленности и метаморфизации, обуславливающие технологические преимущества угля над другими углями в пределах классификационных параметрах марки (авт.).

Показатель генетического преимущества угля ( $K^{ГП}$ ) осуществляется по формуле:

$$K^{ГП} = R_0 \times \sum SK^f \quad (9)$$

где показатель свободных спекающих компонентов определяется по формуле:  $\sum SK^f = \sum SK - \sum OK / \sum SK$ , в которой  $\sum SK^f$  – свободные (*free*) спекающие компоненты, %, а  $\sum SK = Vt + L + 1/3Sv$ ,  $\sum OK = I + 2/3Sv$ .

Анализ распределения витринитовых и фюзенитовых углей относительно граничного значения  $K^{KC} = 1,0$  и изменения их генетического преимущества, продемонстрирован на углях Кузбасса, как наименее восстановленных углях (рис. 27).

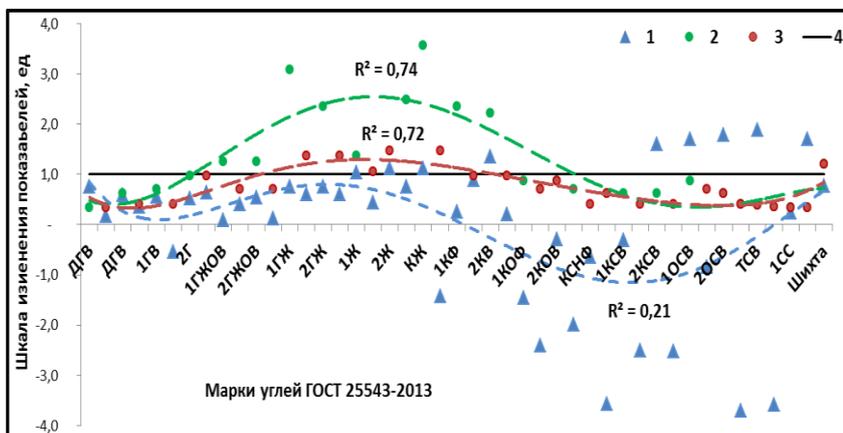


Рис. 27. Графики изменения генетического преимущества (1) и коксующей способности витринитовых (2) и фюзенитовых (3) углей по маркам ГОСТ 25543-2013 и относительно граничной величины  $K^{KC} = 1,0$  (4)

Видно, что это проявление коксующей способности в более метаморфизованных углях обеспечивается за счёт восстановленности углей, а поэтому нельзя регулировать по их спекающей способности. Следовательно, марочная классификация не обеспечивает разделение углей по потребительским свойствам, но главное - марки не отражают коксующие свойства углей.

Таким образом, новый подход разграничения ископаемых углей на основе показателей  $K^{KC}$  (коксующаяся способность) и  $K^{ПТК}$  (прочность тела коксового остатка) открывает главную возможность, обоснованно выделять среди спекающихся углей коксующиеся и коксообразующие угли, и данные показатели совместно показателем  $K^{ГП}$  пригодны для определения ценности углей.

Помимо разработанных технологических показателей  $K^{KC}$  и  $K^{ПТК}$  требуется определять энергетический показатель,  $K^{ЭГ}$ , отражающий способность углей к энергогенерации. Определение коэффициента энергогенерирующей способности углей ( $K^{ЭГ}$ ) проводится по формуле:

$$K^{ЭГ} = \frac{Q_s^{afi}}{Q_s^{afconst}}, \quad (10)$$

где  $Q_s^{af}$  – величина теплоты сгорания ископаемого каменного угля и антрацита, Мдж/кг;  $Q_s^{af}_{const}$  – нижняя предельная величина теплоты сгорания каменного угля – 24 Мдж/кг. Допустимо проводить данный расчёт по показателю  $Q_s^{daf}$ , тогда  $Q_s^{daf}_{const} = 25,0$  Мдж/кг. По данным ГОСТ 50904-96, установлено, что показатель  $K^{ЭГ}$  не зависимо от марки изменяется от 1,22 до 1,39 ед. При этом генетическое преимущество изменяется от 0,55 до 1,19 ед., следовательно, на энергогенерирующую способность углей оказывает влияние их генетические свойства (стадия метаморфизма,  $R_0$ , и содержание гелифицированных компонентов, СК) в виде генетического преимущества. Выделяются три группы углей: низкокалорийные,  $K^{ЭГ} \leq 1,25$  ед., калорийные с  $K^{ЭГ} = 1,25 - 1,35$  ед. и высококалорийные с показателем  $K^{ЭГ} \geq 1,35$  ед., показателю  $Q'_i \geq 6000$  ккал/кг соответствует показатель  $K^{ЭГ} \geq 1,25$  ед.

Определение способности энергогенерации особенно необходимо для выделения энерготехнологических углей среди неспекающихся углей марок Д, ДГ, СС и ТС. На практике такие угли признаются углями двойного назначения. Основное требование к таким углям – уровень золы ( $A^d$ )  $\leq 10$  % в необогащённом виде, такой же, как для обогащённых спекающихся углей для коксования. Показатель  $Q'_i \geq 6000$  ккал/кг является важным для энергогенерации, а для металлургических и неметаллургических технологий необходимы угли с низким содержанием общей серы и фосфора  $S^d \leq 0,3$  %;  $P^d \leq 0,01$  %. Изменение теплотворной способности угля зависит от количества минеральных примесей, но низкокалорийными углями признаются бурые угли. Значение показателя  $Q_s^{af} \geq 24$  Мдж/кг принято рубежной величиной между бурными и каменными углями (ГОСТ 25543-2013) на сухое состояние угольной массы.

В целом, энерготехнологические показатели  $K^{КС}$ ,  $K^{ПТК}$ ,  $K^{ЭГ}$  можно выразить как **индекс способности углей** (ИСУ) для определения промышленно-генетической (ПГЦ), технологической (ТЦ) и энергетической (ЭЦ) ценности углей, используя показатель  $K^{ГП}$ . Определение ценности углей (Цу) проводится по общей формуле:  $Цу = K^{ГП} \times ИСУ$  (11), из которой выводятся частные формулы:

1)  $ПГЦ = K^{ГП} \times K^{КС}$  – для выделения коксующихся углей среди спекающихся углей по признаку их промышленно-генетической ценности в дополнение к марочному определению по ГОСТ 25543-88.

2)  $ТЦ = K^{ГП} \times K^{ПТК}$  – для выделения коксообразующих углей среди коксующихся по признаку их технологической ценности в дополнение к оценке коксуемости углей в угольных шихтах и ГОСТ Р 51588-2000.

3)  $ЭЦ = K^{ГП} \times K^{ЭГ}$  – для выделения энергогенерирующих углей среди энергетических углей по признаку их энергетической ценности в дополнение ГОСТ Р 51586-2000.

Показатели ПГЦ и ТЦ в ряду марочных углей позволяет выделять коксующиеся угли разной степени ценности (рис. 28). Видно, что максимальные значения показателя ТЦ сосредоточены в верхней части полинома с оптимумом в интервале  $Ro = 1,10 - 1,40$  %, тем самым обозначены



при высокой степени гелификации и восстановленности угольного вещества, обладают  $Q^r_i \geq 6000$  ккал/кг.

В классификации учитывается зольность для определения кондиции запасов: для коксующихся углей  $A^d < 30\%$ , для энергетических углей  $A^d < 35\%$ . Угли с зольностью 30% обогащаются трудно, в таких углях выход концентрата с зольностью 10% менее 75%. Поэтому угли разделяются на группы по выходу концентрата 75%

Таблица 5

**Промышленно-энергетическая классификация ископаемых углей**

Вид	Каменные угли				
Группа	Обогащаемые $\gamma \geq 75\%$			Трудно обогащаемые $\gamma \leq 75\%$	
Под-группа	Спекающиеся		Слабо коксующиеся	Спекающиеся и неспекающиеся	
Параметрические ограничения	$y > 13$ мм или $FSI > 4$ ед., в интервале $V^{daf}$ 30 - 41 %; $y > 8$ мм или $FSI > 2$ ед., в интервале $V^{daf}$ 19 - 30 %.		$y \leq 13$ мм; $FSI > 1$ ед., в интервале $V^{daf} \geq 41\%$ ; $y \leq 8$ мм; $FSI > 1$ ед., в интервале $V^{daf} \leq 19\%$	$y \leq 6$ мм; $FSI \leq 1$ ед.	
Ранг	Технологические			Энергетические	
Класс	Коксующиеся		Энерготехнологические		Топливные
Тип	Коксообразующие	Технологические коксующиеся	Энерготехнические	Энергогенерирующие	
Параметрические ограничения	$K^{ПТК} \geq 1,0$ ед.; $A^d$ 7 - 9 %; $y \geq 21 - 35$ мм, в интервале $V^{daf}$ 30 - 36 %; $y \geq 10$ мм; в интервале $V^{daf}$ 19 - 30 %	$K^{КС} \leq 1,0$ ед.; $A^d$ 7 - 9 %; $13 \leq y \geq 21$ мм, в интервале $V^{daf}$ 38 - 41 %; $8 \leq y \geq 10$ мм; в интервале $V^{daf}$ 17 - 19 %	$K^{КС} \geq 0,80$ ед. или $K^{ЭГ} \geq 1,3$ ед.; $W^r \leq 10\%$ , $A^d \leq 10\%$ ; $Q^r_i \geq 6000$ ккал/кг; $S^d_i \leq 0,3\%$ ; $P^d_i \leq 0,01\%$	$K^{ЭГ} \geq 1,25$ ед.; $W^r \leq 10\%$ ; $A^d \leq 15\%$ ; $Q^r_i \geq 6000$ ккал/кг; $S^d_i$ 0,3 - 1,0 %	$K^{ЭГ} \leq 1,25$ ед.; $W^r \geq 10\%$ ; $A^d \geq 15\%$ ; $Q^r_i \geq 5500$ ккал/кг;
Основные технологии глубокой переработки	- слоевое коксование	- получение кокса слоевым коксованием; - производство синтетического топлива и газификация	- кусковое полукоксование и коксование; - заменители коксов в металлургии и неметаллургических производствах	- пылеугольное топливо для доменного и энергетического производства; - кусковое сжигание - получения бездымного топлива	Сжигание в плазме и окислением при низких температурах для получения газового топлива

Такой подход даёт возможность систематизировать ископаемые угли по ценности и разделять их в недрах, учитывая основные направления использования (ГОСТ 25543-2013) по видам: коксующиеся, энерготехнологические и топливные угли, которых выделяются следующие промышленно-энергетические типы: коксообразующие, технологические, энерготехнические, энергогенерирующие и энерготопливные ископаемых угли (табл. 6).

Таблица 6

**Виды и типы углей**

Направление использования углей ГОСТ 25543-2013	Виды ископаемых углей	Промышленно-энергетические типы углей	Показатель ценности и предельное значение ед.
Технологическое	Коксующиеся	Коксообразующие	ПГЦ $\geq 0,65$ ; ТЦ $\geq 0,75$
		Технологические	ПГЦ $\geq 0,65$
Энергетическое	Энерготехнологические	Энерготехнические	ЭЦ $\geq 1,1$
		Энергогенерирующие	ЭЦ $\geq 1,0$
	Топливные	Энерготопливные	ЭЦ $\leq 1,0$

Данная система типизации углей в запасах позволяет в привязке к маркам (ГОСТ 25543-2013) и направлениям использования (промышленно-энергетическая классификация) углей проводить правильную идентификацию углей по ценности и устанавливать марку, что обеспечивает единый учёт для геологических и экономических целей. По новой классификации запасы должны быть сгруппированы по ценности и маркам углей и выделяться как технологические и энергетические запасы.

Таким образом, разработана промышленно-энергетическая классификация и система типизации запасов ископаемых углей, которые обеспечивают единый учёт на основе их промышленно-генетической, технологической и энергетической ценности, следовательно, поставленная цель реализована.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что в границах значений классификационных параметров ГОСТ 25543-2013:  $R_0 = 0,63 - 1,78 \%$ ,  $\Sigma OK = 2 - 70 \%$ ,  $V^{daf} = 12,9 - 42,3 \%$ ,  $y = 0 - 32$  мм, уравнения с использованием полос поглощения ИК-спектра на частотах  $D_{4000}$ ,  $D_{3040}$ ,  $D_{2920}$ ,  $D_{2860}$ ,  $D_{2000}$ ,  $D_{1600}$ ,  $D_{1260}$ ,  $D_{1090}$ ,  $D_{1030}$  отражают структурные особенности каменных углей, а для распознавания условий преобразования и накопления угольного вещества на стадии седиментогенеза и литогенеза пригодны показатели Пв, Пм, Пг. Показатель восстановленности (Пв) в пределах его значений от 0,35 до 0,65 ед. однозначно позволяет различать по степени восстановленности каменные угли, при отсутствии зависимости от показателей  $R_0$  и СК. Показатель гелификации (Пг) позволяет

определять степень гелификации углей в пределах его значений 0,5 – 5,5 ед. в углях с содержанием СК = 20 – 95 %.

2. Выявлено, что образование флористической восстановленности ( $P_{\text{фл}}$ ) в углях Кузнецкого бассейна связано с эволюцией растений-углеобразователей, проходившей под влиянием палеоклиматических и палеогеографических факторов в верхнепалеозойский период угленакопления, а результатом неравномерного тектонического погружения осадков (циклогенеза) в отдельном осадочном комплексе является литофациальная восстановленность ( $P_{\text{л-ф}}$ ). Поэтому термин «изометаморфные угли» применим к углям с близкой степенью метаморфизации органического вещества при равной степени восстановленности и гелификации.

3. На примере Донецкой, Карагандинской, Кузнецкой и Печорской угленосных формаций в углях каменноугольно-пермского возраста установлено закономерное изменение гелификации и флористической восстановленности и выявлены особенности седиментогенеза угленосных отложений разных бассейнов. Установлено, что сходство данных формаций обусловлено доминированием определённого типа торфообразования (мангрового, эвтрофного или мезотрофного), при этом отмечается различие бассейнов по средним значениям флористической восстановленности ( $P_{\text{в,фл}}$ ), которая в угленосных отложениях соответственно на уровне 0,60; 0,55; 0,52; 0,49 ед.

4. Экспериментально установлено, что по показателям  $K^{\text{КС}}$  (коксовая способность) и  $K^{\text{ПТК}}$  (прочность тела кокса) среди спекающихся углей выделяются коксующиеся угли при  $K^{\text{КС}} \geq 1,0$  ед., и коксообразующие угли, при  $K^{\text{ПТК}} \geq 1,0$  ед. Доказана применимость данных показателей в качестве критериев ценности по следующим свойствам: **коксовая способность** – это свойство измельчённого угля спекаться и обеспечивать установленную когезионную прочность и выход кокса, **коксообразующая способность** – это свойство измельчённого коксующегося угля коксоваться с образованием установленной прочности тела кокса. На их основе термин «коксующийся уголь» будет иметь следующее определение: **«коксующийся уголь - это спекающийся уголь, способный при заданных условиях обеспечить выход кокса с установленной когезионной прочностью и прочностью тела кокса».**

5. На основе классификационных технологических параметров  $V^{\text{daf}}$  и у (ГОСТ 25543-2013) и показателей  $K^{\text{КС}}$  (коксовая способность, ед.),  $K^{\text{ПТК}}$  (коксообразующая способность, ед.),  $K^{\text{ЭГ}}$  (энергогенерирующая способность, ед.) предлагается промышленно-энергетическая классификация ископаемых углей для определения ранга назначения, класса и типа каменных углей.

6. По результатам исследования условий преобразования и накопления угольного вещества на стадии седиментогенеза и литогенеза установлено, что угли разных бассейнов за счёт наиболее оптимального сочетания содержания гелифицированных компонентов и степени их метаморфизации различаются между собой по генетическому преимуществу ( $K^{\text{ГП}}$ ). Сочетание показателя  $K^{\text{ГП}}$  с показателями  $K^{\text{КС}}$ ,  $K^{\text{ПТК}}$ ,  $K^{\text{ЭГ}}$  позволяет определять промышленно-генетическую (ПГЦ), технологическую (ТЦ) и энергетическую (ЭЦ) ценности каменных углей разных бассейнов.

7. На основе новых подходов создана промышленно-энергетическая классификация ценности ископаемых углей в дополнение к промышленно-генетической классификации (ГОСТ 25543-2013) и система типизации запасов для единого учёта углей по их ценности.

### **Список опубликованных работ, отражающих основные научные результаты диссертации**

#### ***в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК***

1. Иванов В.П. Эволюция растений-углеобразователей и флористическая восстановленность верхнепалеозойских углей / В.П. Иванов // Известия вузов. Геология и разведка. – 2015. – № 5. – С. 25 – 31.
2. Иванов В. П. Промышленно-энергетическая классификация углей для типизации запасов / В.П. Иванов // Недропользование XXI век. – 2015. – № 5. – С. 116 – 123.
3. Иванов В. П. Промышленно-энергетическая классификация для оценки рационального использования углей. / В. П. Иванов // Известия вузов. Физика. – 2015. – № 7. – С. 104 – 111.
4. Иванов В. П. Технологические свойства углей Кушеяковского месторождения Кузбасса / А.Е. Проскуряков, А.С. Станкевич, В.П. Иванов и др. // Кокс и химия. – 1986. – № 11. – С. 4 – 6.
5. Иванов В. П. Характеристика угля Магавузского месторождения Армении. / Г. А. Нерсесян, В. М. Страхов, В. П. Иванов / Кокс и химия. – 2015. – № 10. – С. 7 – 11.
6. Иванов В. П. Сырьевая база коксующихся углей Кузбасса, обеспеченность запасами и их технологическая ценность для коксования / В. П. Иванов, В. Ю. Сушков, А. А. Торгунаков [и др.] // Кокс и химия. – 2008. – № 9. – С. 12–17.
7. Иванов В. П. Оценка ресурсов и качества коксующихся углей Кузбасса / А. С. Станкевич, В. П. Иванов, В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2003. – № 9. – С. 5 – 8.
8. Иванов В. П. Оценка механической прочности углей и возможности прогноза пожароопасных зон на основе ИК-спектроскопии / В. П. Иванов, А. С. Арцер // Горн. инф.-анал. бюл. – 2004. – № 11. – С. 337–341.
9. Иванов В. П. Оценка плотности неоднородных углей разной степени восстановленности и окисленности с использованием ИК-спектроскопии // Горн. инф.-анал. бюл. – 2004. – № 11. – С. 342 – 345.
10. Иванов В. П. Геохимическая обстановка и органический синтез углей и керогенов / В. П. Иванов, Е. Р. Исаева // Кокс и химия. – 2015. – № 6. – С. 30 – 34.
11. Иванов В. П. Восстановленность и петрографический состав углей Кузнецкого бассейна / В. П. Иванов, А. С. Станкевич, М. Б. Школлер [и др.] // Химия твёрдого топлива. – 2002. – № 4. – С 3 – 19.
12. Иванов В. П. Методологические подходы определения причинно-следственных связей, обуславливающих свойства углей. Ч.1. Образование палеоторфяников, петрографического состава и восстановленности углей // Кокс и химия. – 2010. – № 5. – С. 2 – 10.
13. Иванов В. П. Методологические подходы к определению причинно-следственных факторов обуславливающих свойства углей. Ч. 1.

Геохимические обстановки торфяников и микроэлементы углей // Кокс и химия. – № 6. – 2010. – С. 2 – 5.

14. Иванов В.П. Коксующая способность и генетическая совместимость как признаки технологической ценности ископаемых углей для слоевого коксования. / В. П. Иванов, И. С. Бондаренко, С. А. Пантыкин // Кокс и химия. – 2011, № 12. – С.8–16 .
15. Иванов В. П. Признаки различия ископаемого угля и угольного сырья /В. П. Иванов, И. С. Бондаренко / Кокс и химия. – 2013. – № 9. – С.16 –19.
16. Иванов В. П. Параметры тела кокса / В. П. Иванов, И. С. Бондаренко // Кокс и химия. – 2013. – № 9. – С. 28 – 33.
17. Иванов В. П.. Промышленно-генетическая ценность каменных углей // Кокс и химия. – 2009. – № 11. – С. 2 – 10.
18. Иванов В. П. Изменение структурных характеристик и свойств кузнецких углей разной степени метаморфизма и восстановленности в процессе их окисления / В. П. Иванов, М. Б. Школлер, А. С. Станкевич // Кокс и химия. – 2002. – № 5. – С. 4 – 11.
19. Иванов В. П. Оценка ресурсов и качества коксующихся углей Кузбасса / А. С. Станкевич, В. П. Иванов, В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2003. – № 9. – С. 5 – 8.
20. Иванов В. П. Оценка окисления мацералов кузнецких углей на основе ИК-спектроскопии // Кокс и химия. – 2004. – № 5. – С. 14 – 21.
21. Иванов В. П. Влияние спектральных характеристик окисленности и восстановленности углей на их технологические показатели / В. П. Иванов, А. С. Станкевич // Кокс и химия. – 2003. – № 9. – С. 21 – 23.
23. Иванов В. П. Оценка технологической ценности каменных углей для коксования на основе их генетических и технологических преимуществ. // Кокс и химия. – 2008. – № 6. – С. 2 – 9.
24. Иванов В. П. Структурные особенности каменных углей и их механическая деструкция // Кокс и химия. – 2008. – № 9.– С. 4 – 7.
25. Иванов В. П. Определение марочного состава угольных смесей на основе рефлектограммного и химико-петрографического анализов / А. С. Станкевич, В. П. Иванов, Н. И. Подчищаева и др.// Кокс и химия. – 2003. № 9. – С. 16 – 21.
26. Иванов В. П. Организация контроля за качеством и марочным составом угольных концентратов. / И. В. Белошарпа, Б. Я. Василенко, В. П. Иванов [и др.] // Кокс и химия. – 2001. № 9. – С. 21 – 23.
27. Иванов В. П. Деятельность Кузнецкого центра ВУХИНа в историческом аспекте и в современных условиях. / В. В. Лобанов, В. П. Иванов, В. М. Страхов / Кокс и химия. – 2011, № 3. – С. 17 – 19.
28. Иванов В. П. Изучение коксуетости углей в зависимости от степени окисленности / А. С. Станкевич, В. П. Иванов, А. В. Калинина // Кокс и химия. – 1996. – № 6. – С. 15 – 19.
29. Иванов В. П. Определение марочного состава на основе рефлектограммного анализа / А. С. Станкевич, В. П. Иванов, Н. И. Подчищаева [и др.] // Кокс и химия. – 1995. – № 11. – С. 4 – 7.
30. Иванов В.П. Оценка степени окисленности углей на основе их спектральных характеристик /А.С. Станкевич, А.В. Калинина, В.П. Иванов [и др.] // Кокс и химия. – 1992. – № 9. – С. 8 – 11.

31. Иванов В. П. О времени хранения угольных проб в лабораторных условиях / А. Е. Проскураков, В. П. Иванов, Н. И. Подчищаева // Кокс и химия. – 1989.– № 11. – С. 8 – 9.
32. Иванов В. П. Термическая деструкция окисленных газовых углей / С.П. Родькин, В. П. Зоткин, В. П. Иванов [и др.] // Кокс и химия. – 1988.– № 10. – С. 6 – 9.

***в научных сборниках и журналах***

1. Иванов В. П. Проблемы и решения классификации углей и типизации угольных запасов/ресурсов России / В.П. Иванов // Разведка и охрана недр. – 2013. № 6. – С. 31 – 33.
2. Иванов В. П. Способ определения степени восстановленности углей на основе ИК-спектроскопии // В. П. Иванов, М. Б. Школлер // Математические методы в оперативном управлении технологическими процессами : сб. науч. работ – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 1999. – С. 34 – 36.
3. Иванов В. П. Сходство и различие терминов в осадочной и угольной геологиях // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В. А., Усова М. А., Урванцева Н. Н. до наших дней : материалы Всерос. форума с междунар. участием, посвящ. 150-летию академика Обручева В. А., 130-летию академика Усова М. А. и 120-летию профессора Урванцева Н. Н., 24–27 сент. 2013 г., Томск – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. – С. 176 – 180.
4. Иванов В. П. Комплексная оценка генетических и технологических свойств углей с применением ИК-спектроскопии // Основные направления геологоразведочных и научно-исследовательских работ на твёрдые горючие ископаемые в современных экономических условиях : XIII Всероссийское угольное совещание, 22-25 апреля 2014 г., г. Ростов-на-Дону. – Ростов-на-Дону : ВНИГРИуголь, 2014. – С. 135 – 138.

***авторские свидетельства, патенты, ноу-хау***

1. А. с. 1491145 СССР, МКИ G 01 N 21/35. Способ определения окисленности углей / Станкевич А. С., Станкевич Ф. М., Иванов В. П. ; ФЛ Вухин. – № 4255045 ; заявл. 02.06.87 ; опубл. 01.03.89.
2. А. с. 009.08.А. Российская Федерация, ГРНТИ 38.25.37. Методика создания угольных смесей на основе химико-петрографических параметров и рефлектограммного анализа углей / Иванов В. П. –№ 09.08.08 ; заявл. 10.11.2008 ; зарег. 13.11.2008. – Зарегистрировано в реестре Регистратора-Депозитария ноу-хау Кемеровской региональной общественной организации «Кузбасская инженерная академия».
3. А. с. 010.08.А. Российская Федерация, ГРНТИ 61.53.03. Методика определения технологической ценности углей и степени их значимости для производства кокса / Иванов В. П. – № 10.12.08 ; заявл. 09.12.2008 ; зарег. 11.12.2008. – Зарегистрировано в реестре Регистратора-Депозитария ноу-хау Кемеровской региональной общественной организации «Кузбасская инженерная академия».
4. А. с. 012.10.А. Российская Федерация, ГРНТИ 61.53.03. Способ прямого определения коксуемости спекающихся углей / Иванов В. П. – № 01203-10 ; заявл. 11.03.2010 ; зарег. 11.03.2010. – Зарегистрировано в реестре Регистратора-Депозитария ноу-хау Кемеровской региональной общественной организации «Кузбасская инженерная академия».

5. А. с. 013.10.А Российская Федерация, ГРНТИ 38.33.21. Способ определения ассоциативных рядов в углях / Иванов В. П. – № 013.03.10 ; заявл. 11.11.2010 ; зарег. 15.11.2010 – Зарегистрировано в реестре Регистратора-Депозитария ноу-хау Кемеровской региональной общественной организации «Кузбасская инженерная академия».
6. Пат. на изобретение 2496850, Российская Федерация, МПК8 С10В 39/02. Способ сухого тушения кокса / В.М. Динельт, А.Е. Аникин, В.П. Иванов. – № 2010144088, заявл. 27.10.2010; опубл. 27.10.2013. – 7 с.