

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	12
1 Комплексное использование углей .....	17
2 Минеральная часть углей и направления ее использования.....	26
3 Постановка задачи исследования.....	41
4 Экспериментальная часть.....	42
4.1 Объект исследования.....	42
4.2 Методика работы.....	42
5 Результаты проведенного исследования.....	45
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	67
7 Социальная ответственность.....	86
Заключение.....	98
Список литературы.....	100
Приложение А. ....	103
Приложение Б.....	124

## **Введение**

Минусинский угольный бассейн расположен в центральной части Алтае-Саянской складчатой области в пределах одноименной впадины. Бассейн характеризуется небольшими размерами, компактностью и благоприятными условиями эксплуатации, позволяющими вести добычу угля на значительной части его территории открытым способом. Некогда обширная площадь угленосных отложений бассейна большей частью эродирована, и в настоящее время он представлен группой разрозненных месторождений, из которых промышленное значение имеют только четыре: Черногорское, Изыхское, Бейское, Аскизское [16].

В то же время Минусинский бассейн уже почти 40 лет рассматривается как потенциально германиеносный объект. Выполненная в 1960-е г.г. Красноярским геологическим управлением оценка германиеносности углей Черногорского и Изыхского месторождений привлекла внимание к нему как к возможному источнику германиевого сырья, но в связи с невысоким средним содержанием германия в угольных постах эти работы не получили дальнейшего развития [16].

Геохимия редких элементов в углях – это одна из наименее исследовательных областей знаний. По некоторым из месторождений не оценены даже средние содержания минеральных примесей в углях, не говоря уже о закономерностях накопления и формах концентрирования.

Возросшие требования к экологической безопасности топливной энергетики и кризис германиевого производства в России предопределили необходимость предопределения комплексных геохимических исследований в Минусинском угольном бассейне. Такие работы были организованы по инициативе Комитета природных ресурсов по Республике Хакасия за счёт средств на воспроизводство минерально-сырьевой базы и бюджета Республики Хакасия и выполнялись силами малого государственного предприятия (МГП) «Экогеос» кафедры полезных ископаемых и геохимии

редких элементов Томского политехнического университета с 1997 по 2001 г[16].

В процессе исследований получены новые оригинальные данные. Кроме того, проведена ревизия ранее выполненных работ в свете современных представлений о геологическом развитии территории, состояния экономики и уровня технологических решений.

Особое внимание в работе уделено вопросам комплексного освоения угольных месторождений Минусинского бассейна. С этой целью анализируются перспективы извлечения из углей и продуктов их переработки попутных ценных компонентов, особенно наиболее дорогостоящих и пользующихся высоким спросом на мировом рынке сырья редких металлов. Специальный раздел посвящён экологическим проблемам, связанным с освоением угольных месторождений бассейна, и сжиганием угля в промышленных котельных и на тепловых электростанциях.

Отрицательное воздействие отходов добычи и переработки углей и сланцев на окружающую среду привело к необходимости предельно ускорить создание малоотходных и безотходных технологий в угольной промышленности. Однако решение этой задачи требует, прежде всего, глубокого знания природы образующихся при добыче и обогащении отходов. Среди твердых углеотходов самыми крупнотоннажными и наиболее изученными являются вскрышные породы угольных разрезов и отходы гравитационного обогащения углей [17]. По данным М.Я. Шпирта, на 1 тонну угля при открытой разработке получают в среднем 4 тонны вскрышных пород, при шахтной — 200–300 кг вскрышных пород и 200–300 кг отходов обогащения [18]. Менее всего изучены отходы флотации мелких классов углей – наиболее сложные в отношении использования.

Вскрышные породы чаще всего представлены осадочными породами – конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, а так же песками, суглинками, супесями, гравийно-песчаными, реже известняками.

Значительно реже встречаются вулканогенные породы, такие как диабазы и базальты.

Отходы гравитационного обогащения отличаются от вскрышных пород своей литологией. В них преобладают аргиллиты и углистые аргиллиты, далее идут песчаники, алевролиты и затем карбонатные породы. Большая часть отходов гравитационного обогащения представлена породами, образованными глинистыми минералами, содержание которых в отходах составляет в среднем 66,2%, достигая 81% от объема в некоторых случаях.

Отходы флотационного обогащения мелких классов углей – это тонкодисперсные глинистые минералы, тонкоизмельченные обломочные породы и органическое вещество, содержание которого достигает 40%. Отходы флотации по своей химико-минералогической природе очень близки к неорганической части углей. Поэтому состав и свойства отходов будут зависеть как от технологии обогащения, так и от генезиса рядовых углей [17].

Утилизация их возможна в ряде случаев лишь как комплексного сырья. При этом возникает необходимость избавиться от токсичных элементов. Первый путь – извлечение вредных и ценных компонентов из уже имеющихся зол и шлаков. Эта задача в настоящее время трудноразрешима в связи с невысокой рентабельностью таких производств. Необходимы новые более эффективные и дешевые технологические решения. Второй путь – извлечение ценных и токсичных элементов из углей на стадии, предшествующей энергетическому, либо другому использованию, или непосредственно в процессе их утилизации.

Главная проблема, сдерживающая получение ценных элементов из углей, – это низкое их содержание. Вместе с тем, известны пласты углей, концентрация отдельных элементов – примесей в которых достигает величин, сопоставимых с их содержанием в рудах отработываемых месторождений. Так, обнаружены угли с промышленным содержанием урана, германия, скандия, золота, ниобия и других элементов. Уголь является одним из основных источников получения германия, разработаны и

апробированы технологии извлечения урана, скандия, галлия и золота. В перспективе намечается получение из углей и продуктов их переработки и других микро– и макроэлементов. Рентабельность такой переработки будет выше, если извлекаться будут не единичные элементы, а их комплекс. Особенно, если в этот комплекс будут входить наиболее дорогостоящие редкие, редкоземельные и благородные металлы. По расчетам американских специалистов R.B. Finkelman и R.D. Brown, выполненным для США, уголь и угольные золы могут обеспечивать не менее половины ежегодной потребности страны в большинстве редких и редкоземельных элементов.

Бейское каменноугольное месторождение расположено в центральной части Минусинского угольного бассейна на правом берегу р. Абакан.

В разрезе угленосной толщи Бейского месторождения насчитывается до 56 угольных пластов мощностью от 0,6 до 22 м и 32 угольных пропластка мощностью от 0,05 до 0,6 м. коэффициент угленосности составляет 6,7 %, в том числе по рабочим пластам – 4%. Большая часть угольных пластов, особенно тонких и средних, имеют простое строение. Пласты сложного строения включают чаще всего тонкие породные прослои, не оказывающие существенного влияния на среднепластовую зольность угля. В состав пластов сложного строения входят обычно 2 – 3, реже 4 – 5 угольных пачек. Породные прослои маломощные и в сумме составляют от 0,05 до 0,5 м [16].

Наиболее угленасыщенными являются отложения черноморской свиты, мощность которых достигает 150 м. на детально изученном участке Чалпан они включают 20 угольных пластов и пропластков суммарной мощностью до 42-43 м; 12 пластов имеют промышленную мощность. Основные угольные пласты на этом участке характеризуются сложным строением и непостоянным количеством породных прослоев. В них отмечаются включения пирита, халькопирита и карбонатов. По данным главного геолога разреза Чалпан В.М. Соболенко, этот пласт характеризуется повсеместным распространением инъекционных нарушений с формированием «кластических даек» песчаников.

Среди пластов нижней части свиты преобладают фюзито-липоидогелитины [16]. Содержание витринита в пластах колеблется в пределах 55 – 79 %, липтинита – 5 – 24% и инертинита – 3 – 40%. В верхней части свиты преобладают липоидо-фюзито-гелитины и фюзито-гелитины, отмечены также миксто-гуминиты и гелито-липоидо-фюзизиты. Содержание витринита в пластах составляет 41 – 76%, липтинита – 6 – 22% и инертинита – 13 – 52% [1].

По марочному составу угли Бейского месторождения длиннопламенные. Угли каменные, гумусового происхождения, с характерной неоднородностью состава вследствие переслаивания петрографических разностей. В некоторых пластах по наслоению наблюдаются налёты пирита, зерна сферосидерита.

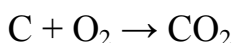
Высокая теплотворная способность и невысокая зольность позволяет считать угли Бейского месторождения высококачественным энергетическим топливом.

## 1 Комплексное использование углей

Угли главным образом используются для получения электрической и тепловой энергии и производства кокса. Основными потребителями углей для энергетических целей являются тепловые электростанции, для которых уголь в перспективе будет также основным видом топлива, промышленные котельные, коммунально-бытовой сектор, различные отрасли промышленности и сельского хозяйства. Наибольшее количество кокса расходуется в металлургической промышленности — в доменном производстве, при агломерации руд, на ферросплавных заводах и т.д. [1].

### Сжигание

Углерод при сгорании вступает в следующую реакцию с кислородом:



Как правило, источником кислорода для котлов является атмосферный воздух. Данная реакция является экзотермической. При окислении углерода выделяется 32800 кДж/кг. Однако теплоту сгорания ископаемого топлива нельзя рассчитать. Оптимальный процесс горения обеспечивает полное выделение теплоты сгорания, минимизируя потери, связанные с неполным сгоранием топлива и избыточными объемами воздуха. Для осуществления реакции горючих компонентов топлива с кислородом необходима достаточно высокая температура для воспламенения, тщательное перемешивание топлива или турбулентность, обеспечивающая такое перемешивание, а также время, достаточное для полного сгорания.

В топке котла (где не совершается механической работы) тепловая энергия, полученная в результате реакции горения, определяется только составом исходных веществ и конечных продуктов реакции, независимо от того, какие промежуточные продукты возникают в процессе горения.

В качестве простого примера рассмотрим реакцию одного килограмма углерода с кислородом для получения тепловой энергии. Реакция может происходить в одну стадию, когда углерод сразу же окисляется до диоксида

углерода. Но при определенных условиях тот же процесс может происходить в две стадии: сначала образуется СО (с образованием значительно меньшего количества энергии), а затем СО доокисляется до СО<sub>2</sub>. Однако при двухстадийной реакции выделяются те же 32800 кДж/кг, что и при образовании СО<sub>2</sub> в одну стадию.

Сжигание в кипящем слое. Метод сжигания в кипящем (псевдооживленном) слое (СКС), главным образом, используется в промышленности для сжигания различных видов твердого топлива, включая каменный уголь, бурый уголь, торф и, в особенности, биомассу. Существует два основных варианта этой технологии: сжигание в стационарном (пузырьковом) кипящем слое и сжигание в циркулирующем кипящем слое. Котлы с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) чаще используются на крупных предприятиях, где важно обеспечить устойчивое воспламенение топлива.

Сжигание в стационарном (пузырьковом) кипящем слое – современная технология сжигания, которая особенно хорошо приспособлена для сжигания неоднородного биотоплива. В качестве наполнителя (инертного материала) используются такие материалы, как песок, зола, доломит, известняк, находящиеся на воздухораспределительной решетке. При этом высота засыпки составляет 0,5 - 1,5 м. Плотность материала слоя составляет около 1000 кг/м<sup>3</sup>, а скорость псевдооживляющего потока воздуха – 1 м/с. Размер частиц наполнителя, как правило, находится в пределах 0,5-1,5 мм, поскольку частицы меньшего размера уносятся газовым потоком, а большего – оседают на распределительную решетку.

Сжигание в циркулирующем кипящем слое (СЦКС) отличается от сжигания в стационарном слое в двух отношениях. Частицы наполнителя в этом случае меньше (0,1 - 0,6 мм), а скорость псевдооживляющего потока – больше (4 - 5 м/с). Благодаря этому поток воздуха выносит частицы из слоя и проносит их через топку во вторую ступень котла. В дальнейшем частицы, покинувшие топку, отделяются от дымовых газов при помощи циклона или



каким–либо иным методом и возвращаются в кипящий слой. Отделение частиц может осуществляться в середине второй ступени или, частично, на выходе из котла, где также могут применяться электрофильтры или тканевые фильтры [17].

### **Коксование**

Коксохимические заводы являются одним из крупнейших потребителей каменного угля – до 25% мировой добычи.

Коксование – тепловая обработка каменных углей определенных марок в коксовых печах без доступа воздуха при температуре 800 – 1200°C. Для коксования подготавливают шихту из обогащенных малозольных углей нескольких марок. При подготовке шихты для коксования учитывают коксуюемость (пластометрические характеристики), выход летучих веществ, массовую долю серы и остальные характеристики отдельных углей.

При коксовании получают кокс, смолу и газ. Кокс употребляют в основном для доменного производства, смолу – для химической переработки в соответствующие продукты, коксовый газ – для отопления коксовых, мартеновских и остальных промышленных печей, также поставляют для коммунально-бытовых нужд.

Данный технологический процесс состоит из следующих стадий: подготовка к коксованию, собственно коксование, улавливание и переработка летучих продуктов.

Подготовка включает обогащение (для удаления минеральных примесей) низкосернистых, малозольных, коксующихся углей, измельчение до зёрен размером около 3 мм, смешение нескольких сортов угля, сушка полученной шихты [18].

## **Полукоксование**

Полукоксование - тепловая обработка твёрдых топлив (каменного и бурого углей, сланцев, торфа) без доступа воздуха при температуре 500 - 550°С в камерных ретортных печах с наружным либо внутренним обогревом. При полукоксовании получают последующие продукты: полукоккс, который применяется при производстве генераторного либо водяного газа, также в шихте для коксования; смолу, применяемую для получения светлых товаров; высококалорийный газ, являющийся сырьем для химической индустрии и применяющийся для газификации промышленных и бытовых установок.

## **Газификация**

Газификация — получение искусственного горючего газа из угля и антрацита методом неполного окисления воздухом (кислородом, водяным паром) при высочайшей температуре в газогенераторах. Главным продуктом газификации антрацита является газ, а при газификации бурых и каменных углей – газ и смола.

До настоящего времени в России пока не создано ни одной промышленной энергетической установки с газификацией угля полного цикла. Кроме того, в процессе горения происходит непрерывное образование шлакового расплава, который может быть разделен на тяжелую и легкую фракции. Тяжелая фракция может быть переработана для последующего использования при изготовлении чугуна, легкая – в экологически чистые строительные материалы. Низкий температурный режим в такой установке позволяет с сохранением низкого уровня вредных выбросов утилизировать в активной зоне различные горючие и негорючие отходы.

Генераторный газ применяется для сжигания в печах, в металлургической, машиностроительной, стекольной, глиняной и остальных отраслях индустрии. Угли и антрациты, используемые для газификации, обязаны иметь повышенную механическую крепкость, низкие зольность и массовую долю серы. Для энергетического использования направляют в

основном угли, не применяемые для производства кокса и остальных технологических целей.

Особое место занимает подземная газификация угля. Сущность технологии заключается в бурении скважин до угольного пласта с последующим их соединением по пласту. После этого в толще угольного пласта создается управляемый очаг горения, в котором протекает процесс газификации. Во входную скважину происходит дутье (воздушное или парокислородное), из выходной скважины выходит генераторный газ. На поверхности газ очищается и служит топливом для парогазовых установок либо используется другим образом. Особенности технологии позволяют использовать даже те месторождения, разработка которых традиционными способами неэффективна [18].

### **Требования к качеству углей**

Выбор горючего для энергетического использования (марка, сорт, характеристики свойства) зависит от конструктивных особенностей топок и определенного вида использования (слоевое, пылевидное сжигание, сжигание в топках паровозов, морских и речных судов, энергопоездов и др.).

При выборе горючего для определенного вида использования должны учитываться его физико-химические характеристики и предъявляемые к нему требования, обусловленные необходимостью получения наибольшего технологического и экономического эффекта.

В России принято выделять три вида углей: бурый уголь, каменный уголь и антрацит. Границы видов проведены по среднему показателю отражения витринита ( $R_0, \%$ ), теплоте сгорания на влажное беззольное состояние ( $Q_s^{af}$ , МДж/кг) и выходу летучих веществ ( $V^{daf}, \%$ ). Каждый вид угля объединяет определённый перечень марок, технологических групп и подгрупп, отличаясь многообразием свойств и обуславливая характер использования углей.

В соответствии с ГОСТом 25543–88 бурые угли (Б) представлены одной маркой с тремя технологическими группами: первый бурый (1Б),

второй бурый (2Б) и третий бурый (3Б). Угли этих групп существенно различаются как по внешним признакам, так и по составу, качеству и направлениям использования.

Каменные угли – представлены 15 марками с 21-й технологической группой, являются наиболее ценным энергетическим, технологическим и стратегическим сырьём России.

Антрациты – одна марка (А) с тремя технологическими группами: первый антрацит (1А), второй антрацит (2А) и третий антрацит (3А).

### **Бурые угли**

Весьма разнообразные по составу и свойствам угли тем не менее имеют такие общие черты, как низкое значение  $R_o$  (менее 0,6%), высокую влагоемкость ( $W^p$  до 70%), слабую устойчивость к выветриванию, что существенно отличает их от каменных углей и антрацитов.

По внешним признакам в петрологии выделяют угли бурые землистые, бурые плотные матовые и бурые плотные блестящие, что приблизительно соответствует трем технологическим группам – 1Б, 2Б и 3Б.

Угли группы 1Б ( $R_o$ , %  $\gg$  0,20-0,30) – отличаются рыхлостью, пористостью и схожестью с торфом. Имеют различную окраску: от разных оттенков коричневого цвета до светло-палевых тонов. Естественная влажность углей 1Б превышает 40%, а максимальная влагоемкость ( $W_{max}^{af}$ ) составляет 50% и более. Выходы смолы полукоксования варьируются в пределах (в %): 5-35, битумов – 2-20, гуминовых кислот – 30-80, содержание серы – 0,2-5. Угли практически не поддаются обогащению.

Угли 1Б в основном используются на ТЭЦ с пылевидным и частично слоевым сжиганием, а также применяются в виде брикетов, являясь перспективным сырьем для производства горного воска и препаратов различного назначения из основе гуминовых кислот.

Угли группы 2Б – имеют разнообразный состав (в %); из-за вариаций микрокомпонентов группы инертинита (от 14 до 30 - 40) и липтинита (от 0 до 10 - 17), а также степень минерализации и дисперсность отдельных

составляющих. По этой причине в угольных пластах наблюдается многообразие литотипов, отличающихся структурно-текстурными особенностями. Как правило, показатель отражения витринита менее 0,5%, зольность изменяется от 3 до 45% и более, по сернистости они также различны: от малосернистых (0,3 - 0,8%) до многосернистых (4 - 7 %). Степень обогатимости углей выше, чем первых бурых.

Используются как энергетическое топливо с пылевидным и слоевым сжиганием, а также в коммунально-бытовом секторе. В то же время результаты исследований этих углей свидетельствуют о возможности их применения как сырья для получения синтетических топлив и для производства гуматов в качестве стимуляторов роста растений.

Угли технологической группы 3Б ( $R_0$ , % = 0,38 - 0,49) – приурочены преимущественно к отложениям юрского возраста, а так же палеогенового и палеоген-неогенового возраста. Угли характеризуются разнообразием состава (благодаря колебаниям содержания мацералов группы инертинита) и качественных показателей. Особенно это свойственно зольности, которая меняется от 10 до 40 %, а в противоположность ей — сернистость углей не превышает 1 - 2%, т.е. угли малосернистые.

Направления использования углей 3Б идентичны вышеописанным для углей группы 2Б, т.е. они применяются в основном как энергетическое и коммунально-бытовое топливо. Кроме того, их можно использовать в процессах газификации.

### **Каменные угли**

Имеют средний показатель отражения витринита  $R_0$  (от 0,4 до 2,59%) и теплоту сгорания  $Q_s^{af}$  24 МДж/кг и выше.

Основные угольные бассейны и месторождения, содержащие каменные угли, каменноугольного и пермского возрастов, меньшая часть – юрского и мелового.

Характерная особенность этих углей – широкий спектр марочного состава, обусловленный содержанием основных групп мацералов (витринита,

инертинита, липтинита), степенью восстановленности органической массы, проявлением регионального, термального и контактового метаморфизма.

В результате каменные угли различаются по качеству и направлениям использования.

Одна из наиболее важных технологических характеристик каменных углей – их обогатимость, т.е. возможность получения из них концентратов. По обогатимости угли разделены на четыре группы (I, II, III, IV) в зависимости от выхода концентрата и его зольности.

Угли марки Д – отмечаются во всех геохронологических уровнях углеобразования: карбон, пермь, юра, мел, палеоген-неоген и весьма широко распространены на территории России. Применяются в основном как энергетическое и коммунально-бытовое топливо. Кроме того, их можно использовать в процессах газификации.

По составу они разнообразны: наряду с инертинитом они бывают обогащены липтинитом. В эту марку входят угли с  $R_0$  – от 0,40 до 0,79% как витринитового, так и фюзинитового состава с  $V^{daf} > 28-30\%$ . Они отличаются повышенной механической прочностью и незначительной хрупкостью. Влажность длиннопламенных углей колеблется от 8 до 20, зольность – от 7 до 40, содержание серы – от 0,2 до 6%. Нелетучий остаток порошкообразный или слабоспекшийся.

Эти угли преимущественно используются как энергетическое и бытовое топливо, являясь в то же время хорошим сырьем для полукоксования (при обогащении угля мацералами группы липтинита) и для производства синтетического жидкого (в случае витринитового состава), синтетического газообразного и бездымного твердого топлив.

Угли марки ДГ – переходные между длиннопламенными и газовыми, отличаются от первых наличием спекаемости, а от газовых с аналогичной спекаемостью – более низкой стадией метаморфизма ( $R_0$  – от 0,5 до 0,79%). Встречаются угли марки ДГ в тех же бассейнах и на месторождениях, в которых сосредоточены угли марок Д и Г.

По внешнему облику и составу угли длиннопламенные газовые аналогичны углям марки Д. Влажность описываемых углей не превышает 11-15%, зольность колеблется от 6-10 до 25-35%.

Среди углей этой марки самыми сернистыми являются иркутские угли ( $S_t^d$  – до 6%), а кузнецкие, минусинские, буреинские, сахалинские угли – низкосернистые (от 0,3 до 0,8%). Угли отличаются повышенной механической прочностью.

Угли марки ДГ – преимущественно энергетическое и коммунально-бытовое топливо. В ограниченном объеме используются в качестве компонента коксовой шихты и как основное сырье для получения полукокса на Ангарском заводе нефтеоргсинтеза.

Угли марки Г – имеют преимущественно витринитовый состав ( $\Sigma OK < 40\%$ ), показатель отражения витринита 0,50-0,99%, выход летучих веществ 30% и выше, толщину пластического слоя более 10 мм. В них хорошо выражена эндогенная трещиноватость. Влажность свежедобытого газового угля не превышает 10%, зольность изменяется в широких пределах – от 7 до 35%, но преобладающая часть газовых углей содержит 10-15% золы. Сернистость этих углей также варьирует: от 0,6% до 5%. Газовые угли используются в энергетике и коксохимической отрасли промышленности (в составе коксовой шихты применяют угли технологической группы 2Г и витринитовые угли 1Г классов 08 и 09) [16].

Газовые угли с толщиной пластического слоя менее 8 мм могут служить сырьем для газификации и полукоксования, а витринитового состава с  $V^{daf} > 42\%$  – для производства синтетического жидкого топлива методом деструктивной гидрогенизации.

## **2 Минеральная часть твердых горючих ископаемых**

(Аналитический обзор)

Изучение минеральной части твердых горючих ископаемых начато сравнительно недавно, но четкого определения для термина «минеральные компоненты» до сих пор не дано [19].

Понятие «минеральные компоненты» охватывает все элементы, содержащиеся в твердых горючих ископаемых, за исключением углерода, водорода, кислорода и азота, которые составляют основную массу органических веществ в каустобиолитах. Отличительной особенностью твердых горючих ископаемых по сравнению с нефтью и газом являются значительно большие массы неорганических соединений, сопровождающих органические вещества. Поэтому при разработке любых способов добычи или использовании твердых горючих ископаемых необходимо учитывать присутствие в них соединений минеральных компонентов [20].

Чаще всего минеральные примеси углей состоят на 95 % из соединений кремния, алюминия, железа, кальция и магния, калия и натрия (табл. 2). Остальные 5 % приходятся на долю соединений ванадия, цинка, титана, марганца, рассеянных, редких элементов и др. В некоторых углях концентрация этих и им подобных соединений оказывается настолько высокой, что позволяет рассматривать минеральные примеси углей как источник сырья для попутного их извлечения [19].

В минеральных веществах твердого топлива найдены многие редкие и рассеянные элементы. В углях содержится до 30 редких элементов (бериллий, бор, скандий, иттрий, палладий, радий, платина и др.) и что в угольной золе происходит естественное накопление некоторых из них (германий, бериллий, мышьяк, галлий и др.), в результате чего их содержание во много раз (10 – 100) больше, чем в земной коре. В табл. 3 помещены обработанные и систематизированные Медведевым данные многих исследований по определению содержания микроэлементов в золе бурых и каменных углей различных месторождений мира. Коэффициенты



обогащения подсчитаны по отношению к кларковому содержанию того или иного микроэлемента в земной коре [21].

Таблица 1.1 — Минеральные примеси в углях [18]

Элементы	Минералы	Формула
Кремний	Кварц	$\text{SiO}_2$
	Каолиновые минералы	$n\text{SiO}_2 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}$
	Силикаты	$n\text{SiO}_2 \cdot m\text{MeO} \cdot p\text{H}_2\text{O}$
Алюминий	Каолиновые минералы	
	Глинозем	$\text{Al}_2\text{O}_3$
Железо	Серный колчедан, марказит	$\text{FeS}_2$
	Окислы	$\text{FeO}; \text{Fe}_2\text{O}_3; \text{Fe}_3\text{O}_4$
	Сульфаты	$\text{FeSO}_4$
	Карбонаты	$\text{FeCO}_3$
Кальций и магний	Кальцит, магнезит	$\text{CaCO}_3; \text{MgCO}_3$
	Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Калий и натрий	Силикаты	$\text{CaSiO}_3; \text{MgSiO}_3$
	Силикаты	$\text{Na}_2\text{SiO}_3; \text{K}_2\text{SiO}_3$
	Карбонаты	$\text{Na}_2\text{CO}_3; \text{K}_2\text{CO}_3$
	Хлориды	$\text{NaCl}; \text{KCl}$

Минеральные вещества постоянно присутствуют во всех твердых горючих ископаемых, причем определение их количества и состава имеет большое научное и практическое значение. Сложность состава минеральных веществ, содержащихся в ископаемых углях, а также различие форм их связи с органической массой углей, вызывает большие трудности непосредственного аналитического определения собственно минеральных веществ в неизменном состоянии. Поэтому о содержании минеральных веществ в угле (М) приходится судить косвенно, по количеству золы (А), остающейся после сжигания навески угля при свободном доступе кислорода воздуха и представляющей собой продукт полного окисления и термических превращений минеральных компонентов угля. В результате сжигания угля органическая масса его удаляется в виде окислов ( $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ), а минеральные вещества претерпевают глубокие превращения, связанные в большинстве случаев с потерей в весе [22], [23].

Таблица 1.2 — Содержание и коэффициенты обогащения микроэлементов в золе бурых и каменных углей [21]

Элемент	Содержание, г/т		Коэффициент обогащения	
	максимальное	Среднее	максимальное	среднее
Li	5000	825	100	18
Be	1000	300	238	72
B	20000	4400	1538	334
P	13300	3000	15	3
Sc	150	42	12	3
Ti	50000	9200	11	2
V	44000	500	489	6
Cr	1000	70	9	0,6
Mn	15000	755	15	0,76
Co	2000	60	111	3
Ni	4500	297	45	3
Cu	4200	411	60	6
Zn	16000	1226	200	15
Ga	10000	83	400	3
Ge	10000	60	5000	30
As	2300	465	1150	231
Br	700	60	389	3
Rb	1100	157	4	0,6
Sr	20000	1500	57	4
Y	1000	112	50	6
Zr	4000	1530	24	9
Nb	150	66	8	3
Mo	330	65	194	38
Ag	85	5,4	425	27
Sn	1500	54	47	2
Sb	400	120	1333	400
Cs	111	32	11	3
Ba	60000	1740	91	3
La	10000	102	250	
Ce	2000	1100	87	5
Hf	100	-	33	-
Ta	2	-	1	-
Au	14	1,75	14000	1750
Pb	2500	281	156	18
Bi	200	27	2 000	270
Th	100	50	8	4
U	1000	445	385	171

В твердых горючих ископаемых обнаружены практически все элементы периодической системы Д.И.Менделеева. Однако их концентрации изменяются в очень широких пределах - как меньше, так и значительно

больше кларка. Поэтому целесообразно, применяя принцип, предложенный В.И. Вернадским, разделить их на следующие группы, отличающиеся значениями концентрации элементов в углях.

1. Главные элементы - содержание их в углях превышает 0,1% или 1000 г/т (в зарубежных источниках чаще применяется единица «часть на миллион частей» - ppm). К этим элементам относят углерод, водород, кислород, азот, серу, кремний, алюминий, железо, магний, натрий, калий, титан, кальций. Вышеперечисленные элементы называют макрокомпонентами минеральной части или, за исключением серы, основными золообразующими элементами, так как они образуют основную массу золы (остатка после окисления твердого топлива в определенных условиях).

2. Малые элементы - содержание их в углях не превышает 1000 г/т. Эту группу принято подразделять еще на три подгруппы: Собственно малые элементы — содержание колеблется от 1000 до 10 г/т. К ним относятся бор, фтор, фосфор, хлор, иногда титан, ванадий, хром, марганец, никель, медь, цинк, мышьяк, свинец, барий, цирконий. Редкие элементы - содержание их чаще всего составляет от 0,1 до 10 г/т угля. К этим элементам относят литий, бериллий, скандий, кобальт, галлий, германий, селен, стронций, бром, рубидий, иттрий, ниобий, молибден, кадмий, олово, сурьму, йод, цезий, лантан, вольфрам, висмут, уран, иттербий.

Ультраредкие элементы - их содержание не превышает 0,1 г/т угля. К этим элементам относятся золото, серебро, индий, рений, ртуть, иридий, платина [20].

Малые элементы изучаются в целях установления возможности их попутного извлечения и народнохозяйственного использования, а так же при оценке значения этих элементов как токсичных, технологически вредных или полезных компонентов, в частности как микроэлементов полезных или вредных при использовании углей в сельском хозяйстве.

Ценные компоненты. Промышленное значение в твердых горючих ископаемых в настоящее время имеют германий и уран. Запасы этих элементов при содержаниях, соответствующих кондициям, подсчитываются и утверждаются в установленном порядке. Одновременно, при необходимости (при наличии и совместном извлечении с германием или ураном) подсчитываются запасы галлия, свинца, цинка, молибдена, силена. Имеются предпосылки для выявления повышенных (потенциально пригодных для извлечения) концентрации золота, серебра и платиноидов, ванадия, хрома, никеля (в комплексе), вольфрама, бора, ртути. Эти элементы рассматриваются как потенциально ценные.

Токсичными (с позиций создания при сжигании твердого топлива опасных концентраций в атмосфере, водах и почвах) в настоящее время считаются сера, ртуть, мышьяк, бериллий, фтор при концентрациях выше предельных. Эти же элементы, а так же свинец, ванадий, никель, хром и марганец при концентрациях ниже предельных, относятся к потенциально токсичным.

## **2.1 Состав минеральных компонентов твердых горючих ископаемых**

Как правило, минеральное вещество твердых горючих ископаемых представляет собой полиминеральную систему, состав (качественный и количественный) которой может сильно различаться для различных месторождений и даже для отдельных пластов одного месторождения. В минеральном веществе обнаружено более 50 минералов (алюмосиликаты, кварц, карбонаты, оксиды, сульфаты, сульфиды, фосфаты, хлориды). Однако практическое значение имеют не более 6-7 минералов, так как содержание остальных обычно не выше 1% [21].

Кратко рассмотрим особенности основных минералов твердых горючих ископаемых.

**Кварц.** Кварц обычно содержится в углях в количестве 2-5%. Большая часть кварца имеет терригенное происхождение и встречается в виде мелких

зерен различной степени окатанности. Халцедон образует выделения неправильной формы, которые при скрещенных николях обнаруживают радиально-лучистое, остоватое, поперечно-волокнистое строение, а также имеют форму розетчатых сростков и веерообразных пучков. Эпигенетический кварц и халцедон, по-видимому, образуются за счет раскristализации кремнекислоты, выделяющейся при каолинизации алюмосиликатов. Для образований халцедона и кварца характерно наличие включений (ксенолитов) угольного вещества.

**Алюмосиликаты.** Из алюмосиликатов наиболее распространены глинистые минералы, полевые шпаты и в некоторых углях - вулканическое стекло. Чрезвычайное разнообразие глинистых минералов, слагающих глины, затрудняет определение точного минералогического типа минерала. Но решение этой сложной задачи чаще всего не требуется для практических целей. Для прогнозирования поведения глин в тех или иных технологических процессах переработки углей достаточно лишь установить минералы, какой группы доминируют в смеси. Принято различать каолиниты, иллиты (гидрослюды) и монтмориллониты. В твердых горючих ископаемых и других осадочных породах встречаются так же минералы, представляющие собой не механическую смесь иллитов и монтмориллонитов, а так называемые смешанно-слоистые иллит-монтмориллониты. Каждая из этих групп обладает своими, достаточно специфическими свойствами, особенно по отношению к воде. Будучи плотными физическими телами, породы, размокают в воде несколько по-иному, чем чистые минералы [24].

**Сульфиды.** Сульфиды присутствуют в твердых горючих ископаемых преимущественно в виде пирита, редко марказита и имеют эпигенетическое происхождение. В твердых горючих ископаемых пирит находится в виде конкреций различной формы, и размеров (от долей мм до 1 м), пластовых тел, псевдоморфоз по органическим компонентам, прожилков и налетов по напластованию и эндогенным трещинам и в тонко-рассеянном виде. В наибольшей степени распространены высокодисперсные включения пирита

(<100 или <40 мкм), тесно связанных с органическим веществом. Дисульфиды железа устойчивы в водных растворах щелочей и кислот, не являющихся окислителями, и их разложение достигается окислением  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , кислородом воздуха (при температурах  $>200^\circ\text{C}$ ), а также восстановлением или термической диссоциацией.

**Карбонаты.** Карбонатные породы широко распространены в земной коре и представляют собой осадочные образования, на 50% и более сложенные преимущественно кальцитом и доломитом. Кроме этого, карбонаты представлены в твердых горючих ископаемых сидеритом, редко анкеритом и имеют эпигенетическое происхождение. Карбонаты (при их значительном содержании) могут быть определены в углях достаточно легко по реакции на 5%-ную соляную кислоту.

**Оксиды, фосфаты, хлориды и другие соединения.** Минералы этой группы представлены в основном оксидами кремния, железа, алюминия, фосфатом кальция и хлоридами калия и кальция.

Соединения фосфора в торфах, как и в других осадочных породах, на 95% представлены апатитом. Весьма эффективно обнаружение апатита качественной реакцией с раствором молибдата аммония в азотной кислоте. Уже при содержании 0,01%  $\text{P}_2\text{O}_5$  через 1 - 2 минуты после обработки минерала на нем появляются отдельные желтые крупинки.

**Сера.** Сера обычно присутствует в углях при концентрациях, в целом существенно превосходящих кларк, но варьирующихся в широких пределах для торфов различных месторождений (от 0,1 до 10—15%). Сера в основном сосредоточена в виде  $\text{FeS}_2$ — пирита (марказита).

В твердых горючих ископаемых, вероятно, нет индивидуальных сероорганических соединений. Понятием органическая сера ( $\text{So}$ ) определяют суммарное количество серы, химически присоединенной к органическому веществу различными типами связей, при этом предполагается присутствие сульфидных, дисульфидных, бистиоэфирных, тионных, тиофенных, тиофаных группировок. Эти связи очень устойчивы в водных растворах

(кислых и щелочных) и разрушаются лишь при термообработке (в окислительной или восстановительных средах). Одновременно происходит, как правило, деструкция углеродных связей.

**Железо.** Железо вследствие особенностей условий образования твердых топлив представлено в основном соединениями Fe(II), чаще всего это дисульфиды и сидерит. Только в зонах окисления обнаружены заметные количества соединений Fe (III), главным образом сульфата. Содержание железа в алюмосиликатных минералах обычно составляет <3% (в пересчете

на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), поэтому алюмосиликатная форма может преобладать над остальными формами соединений железа только при содержании Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в золе) менее 2%.

В углях присутствуют органоминеральные соединения железа, точнее, его комплексные гуматы.

**Кальций и магний.** Кальций и магний содержатся в виде органоминеральных соединений (гуматов), карбонатов, сульфатов, алюмосиликатов. Как правило, содержание магния существенно меньше, чем кальция. При этом чем больше концентрация кальция в образце, тем меньше соотношение MgO:CaO, т.е. содержание кальция в твердых горючих ископаемых изменяется в более широких пределах, чем магния. Повышенной концентрацией кальция (CaO>10%) характеризуются твердые горючие ископаемые наиболее низких стадий метаморфизма.

В торфах, а также углях с повышенным содержанием кальция и, вероятно, магния их основными соединениями являются гуматы. Одним из основных свойств гуматов кальция является возможность обмена его на другие катионы, сопровождающегося переходом кальция в раствор.

«Обменные» свойства также зависят от строения гуматных соединений.

Полное выщелачивание кальция из всех гуматов наблюдается только при действии 5-10%-х сильных кислот, и в отличие от карбонатов при этом не выделяется CO<sub>2</sub>. Если кальций и магний существенно не выщелачиваются

5-10%-й хлороводородной кислотой и содержание  $\text{CaO} + \text{MgO}$  (в расчете на золу)  $<10\%$ , то они сосредоточены главным образом в виде алюмосиликатов. Содержание сульфатных соединений кальция и магния обычно незначительно и может повышаться в зонах окисления.

**Натрий и калий.** Натрий и калий содержатся в твердых горючих ископаемых большинства месторождений в концентрациях  $<0,2\%$  или 1 — 3% (в расчете на золу). В твердых горючих ископаемых со средним (или пониженным) содержанием натрия и калия их основными соединениями являются алюмосиликаты с характерным соотношением  $\text{K}:\text{Na}=2:2,1$ . Однако в твердых горючих ископаемых с повышенным содержанием щелочных металлов соотношение  $\text{K}:\text{Na}$  существенно меньше, чем для алюмосиликатов, и алюмосиликаты не могут быть основными видами соединений по крайней мере для натрия. Вподобных твердых горючих ископаемых щелочные металлы могут содержаться главным образом в виде хлоридов или гуматов. Не исключено также присутствие небольших количеств карбонатов и сульфатов натрия и калия.

**Золото.** Au в не зависимости в основной массе приурочено к органическому веществу. В настоящее время остается неясным вопрос, в какой форме оно сконцентрировано в органической массе: в виде металлоорганических комплексов или в тонкодисперсной минеральной фазе, не извлекаемой при обогащении.

Очевидно, что на ранних стадиях накопления в торфе и буром угле преобладающая часть золота концентрируется в гумусовых кислотах и, возможно, в лигнине в виде прочных соединений. В процессе унификации гумусовые кислоты изменяются, теряя в значительной мере реакционно-способные группы, что должно приводить к высвобождению части металла и отложению его в виде собственных минеральных фаз.

**Серебро.** Серебро накапливается как в органическом, так и в минеральном веществе угля. Зола угля легких фракций существенно обогащена серебром по сравнению с золами тяжелых фракций. Балансовые



расчеты показывают, что во фракциях  $<1,5$  г/см в обоих случаях сосредоточено более 70 % Ag. Следовательно, легкие фракции в изученных пробах являются основным носителем серебра.

Связь элемента с органическим веществом на ранних стадиях углеобразования можно оценить по результатам анализ группового состава угля. Установлено, что в золе гуминовых и фульвокислот из угля содержание Ag достигает 59,2 г/т, тогда как в золе негидролизованного остатка 0,92-3,4 г/т. В пересчете на исходное вещество это составляет 0,47 г/т и 0,079 - 0,29 г/т соответственно. Установлено, что гуминовые кислоты являются носителем и основным концентратором серебра на стадии торфообразования [21].

Проведенные ранее исследования показали, что в стадию торфонакопления и на ранних этапах углефикации основная масса серебра сосредоточена в гумусовых кислотах в виде прочных комплексных гуматов. В бурых и каменных углях Ag находится в нескольких формах: в составе органических соединений и в минеральных фазах: в сульфидах, в самородной форме, в галогенидах и в виде примеси в других минералах.

**Скандий.** Несмотря на относительную простоту аналитических методов определения скандия и сравнительно высокий кларк этого элемента, формы его нахождения в торфах до сих пор в достаточной мере не изучены. Сравнительно немногочисленные данные по распределению скандия во фракциях торфа разной плотности, данные о его распределении в групповом составе, отрывочные сведения о содержании в отдельных минералах и мацералах не позволяют сформировать целостную картину его концентрирования в торфах [25].

Проведенные исследования показали, что на ранних стадиях углеобразовательного процесса в низкосреднезольных торфах и бурых углях основная масса Sc связана с органическим веществом. Основным носителем и концентратором Sc являются гумусовые кислоты (ФК+ГК). В процессе углефикации его форма нахождения изменяется. Он входит в состав

силикатов, алюмосиликатов, фосфатов, алюмофосфатов и, возможно, образует собственные минеральные формы.

**Тантал и ниобий.** Проведенный анализ опубликованных материалов о формах нахождения Ta и Nb в углях позволяет сделать вывод об отсутствии убедительных данных, позволяющих оценить роль органического и минерального вещества в накоплении этих элементов [22].

Вероятно, основная масса этих металлов накапливается в составе оксидов металлорганических комплексов, на разрушаемых концентрированными HF и HCl. Наиболее вероятной формой нахождения Ta и Nb можно считать оксиды титана (рутил, лейкоксен, анатаз), установленные при электронно-микроскопических исследованиях.

Проведенные исследования показали, что накопление Ta и Nb в углях связано как с минеральным, так и с органическим веществом угля. На стадии седиментогенеза и диагенеза в нормальнозольных торфах и бурых углях основная масса тантала и ниобия концентрируется в органическом веществе, преимущественно в составе гумусовых кислот (ГК+ФК). В зольных углях при кларковом содержании металлов может преобладать минеральная форма. В процессе угольного метаморфизма возрастает роль минеральных форм в концентрировании как Ta, так и Nb. Основная масса этих элементов в зрелых каменных углях содержится в оксидах или, возможно, в виде металлорганических комплексов. Алюмосиликатные и растворимые в HF силикатные минералы не играют существенной роли в накоплении Ta и Nb в углях.

**Цирконий и гафний.** Основной формой их нахождения в углях, по мнению большинства исследователей, является циркон, который может присутствовать в углях как в виде кластогенных, так и аутигенных минералов. Доказано, аутигенными считаются цирконы, установленные в порах инертинита (Finkelman, 1981).

Анализ относительно немногочисленных публикаций, в которых в той или иной мере рассматриваются формы нахождения циркония и гафния в

торфах, позволяет допускать существование как минеральной, так и органической формы их концентрирования. Остается неясным вопрос соотношения этих форм в разных углях. Кажется вероятным изменение форм нахождения элементов в процессе углефикации, связанное с изменением структуры органического вещества [22].

Проведенные ранее исследования показали, что накопление Zr и Hf в углях обусловлено как минеральным, так и органическим веществом угля. На ранних стадиях углеобразовательного процесса в период седиментогенеза и диагенеза основная масса Zr и Hf в нормальнозольных торфах, бурых углях и лигнитах содержится в органическом веществе в виде прочных комплексов с гумусовыми кислотами (ГК+ФК). В зрелых каменных углях значительная часть Zr и Hf концентрируется в цирконах. Другие минералы, растворимые в концентрированных HCl и HF (силикаты, алюмосиликаты и др.) не играют существенной роли в накоплении Zr и Hf. Следовательно, в процессе углеобразования происходит изменение формы нахождения элементов. В торфах, бурых углях и лигнитах существенно преобладает органическая форма нахождения Zr и Hf, а в каменных углях — минеральная.

**Рубидий и цезий.** Исследования показали, что на ранних стадиях угленакопления основная масса Rb и Cs содержится в ионообменной форме, извлекаемой во фракцию водорастворимых и легкогидролизуемых веществ. В существенно меньшем количестве в Rb и Cs накапливаются в виде прочных комплексных соединений в гумусовых кислотах и в нерастворимом остатке. В низкосольном угле роль собственных минеральных форм в накоплении Cs второстепенна.

**Германий.** С повышением степени метаморфизма угля содержание в нем германия постепенно снижается, что связано с изменением молекулярной структуры угля.

Накопление германия в углях может происходить несколькими путями:

- 1) в результате жизнедеятельности растений
- 2) привноса поверхностными растворами в период углеобразования

Однако основные промышленные скопления германия образовались в период торфонакопления в результате взаимодействия органического вещества с водными растворами, поступившими в торфяник.

**Торий.** Угли (или их золы), обогащенные торием, известны в России, Украине, Болгарии, Турции, Южной Африке, США и Канаде. Являясь радиоактивным элементом, торий в углях не представляет серьезной экологической угрозы [22].

Геохимия тория в углях изучена ещё не достаточно. Опубликованные материалы по формам нахождения Th в торфах свидетельствуют о преобладании его минеральных форм [26]. Отмечено, что основным концентратом Th в торфах является монацит. В меньших количествах он присутствует в ксенотиме, апатите и цирконе (Finkelman, 1981, Palmer, Filby, 1984, Хоментовский и др., 1993 и др.). Однако такие простые схемы распределения Th требуют объяснения фактов аномального его накопления в низко- и среднезольных углях, а также в торфах. В золах отдельных углей и торфов содержание тория может достигать 100 -300 г/т.

Основными концентраторами Th в угле являются гумусовые кислоты и остаточные фракции, состоящие из негидролизуемого остатка и минерального вещества. Доля Th, приходящаяся на остаточную фракцию, составляет около 30%, изменяясь от 20,9 до 46,1%. Наибольший выход металла в эту фракцию характерен для малозольного слаборазложившегося верхового торфа. Следовательно, на стадии торфонакопления роль минеральной формы нахождения Th существенно уступает роли органического вещества.

Важная роль гумусовых кислот в концентрировании Th отмечается вплоть до окончательного их превращения в нерастворимые в NaOH комплексы. Об этом свидетельствует необычайно высокое его содержание в остаточных гумусовых кислотах. Выход гуминовых веществ (ГК+ФК) здесь составляет лишь 0,6%, но содержание тория в них достигает 30,8 г/т, что при их зольности около 1% превышает 300 г/т золы. Поэтому, несмотря

на низкий выход гуминовых веществ, на них приходится 28,5% от суммарного содержания тория в пробе.

Концентратором тория в торфе и буром угле являются гумусовые кислоты. В процессе углефикации происходит изменение формы нахождения тория с образованием его собственных минеральных фаз. Основными минералами-концентраторами тория в каменных углях являются редкоземельные фосфаты и другие акцессорные минералы.

**Уран.** Формы нахождения урана и условия его концентрирования в углях и торфах изучены лучше, чем большинства других редких элементов.

Результаты исследования угля свидетельствуют, что даже в пробах с крайне низким содержанием урана (0,09-0,36 г/т) кластогенное вещество имеет второстепенное значение в его концентрировании. Дальнейшее накопление U в процессе эволюции угольного пласта может быть обусловлено только инфильтrogenно-диффузионными процессами, в основе которых лежит сорбционное концентрирование металла[27].

Приближенно оценить тип минерального вещества и его роль в накоплении U можно с использованием методов химической деминерализации угля и с помощью радиографических методов.

В результате метаморфизма происходит уменьшение доли сорбированных форм металла за счет изменения структуры органического вещества, уменьшения его сорбционной способности и формирования аутогенных минералов.

Радиографические исследования показали, что основная масса урана в углях с околосларковыми его содержаниями представлена рассеянной формой. Скопления урана в виде "звезд" распространены, ограничено и играют второстепенную роль в балансе металла. Метод f-радиографии не позволяет идентифицировать минералы микро- и нанометровой размерности. Приближенно оценить роль урансодержащих микро- и наноминералов в концентрировании урана в углях позволяет сопоставление результатов нейтронно-активационного анализа и данных f-радиографии. Согласно

полученным результатам, до от 5 до 70 % содержания урана в углях может быть связано с минеральными микровключениями.

Таким образом, во всех типах твердых горючих ископаемых органическое вещество играет важную роль в концентрировании урана.

## **2.2 Направления использования угля, исходя из минерального состава.**

Вопрос о минеральных веществах и золе твердых горючих ископаемых связан с их практическим использованием. Эти вещества — балласт, уменьшающий горючую массу. При использовании угля в энергетике минеральные примеси понижают его тепловой эффект за счет уменьшения горючей массы, а также вследствие расхода тепла для их нагревания, разложения и шлакования. Большие затруднения вызывает и удаление образовавшегося шлака. Кроме того, в золе всегда остается некоторое количество несгоревшего угля. Когда уголь используется для получения кокса, все количество золы концентрируется в коксе и поэтому его зольность значительно больше зольности исходного угля. Для получения чугуна необходим кокс с самой низкой зольностью (10 – 11 %).

Важно знать не только общее содержание минеральных компонентов в угле, но и их химический состав. В доменном производстве можно использовать кокс с зольностью выше 10 %, если в состав золы входят в больших количествах некоторые окислы, играющие роль руды или флюсов окислы железа, кальция, магния и др. [24].

Многообразие углей и особенности состава их минеральной части позволяют создать ряд оригинальных направлений комплексного использования неорганической части твердых горючих ископаемых: для извлечения редких и рассеянных элементов; для получения глинозема из минеральной части отходов угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности; в производстве строительных материалов и непосредственно в строительстве [21].

### 3 Постановка задачи исследования

Минусинский угольный бассейн расположен в центральной части Алтае-Саянской складчатой области. Бассейн характеризуется небольшими размерами, компактностью и благоприятными условиями эксплуатации, позволяющими вести добычу угля на значительной части его территории открытым способом.

В настоящее время он представлен группой разрозненных месторождений, из которых промышленное значение имеют только четыре: Черногорское, Изыхское, Бейское и Аскизское. В настоящее время на Бейском месторождении производятся незначительные работы по добычи угля.

Уголь является одним из основных энергоносителей, а также многотоннажным источником сырья для химической промышленности органического происхождения.

Разнообразие углей по структуре и свойствам ставит перед исследователями задачу поиска путей оптимального использования их энергохимического потенциала, что в свою очередь определяет круг научных исследований, направленных на процессы переработки углей топливного и нетопливного назначения.

Цель нашей работы – определить свойства 88 проб угля и дать рекомендации по направлениям их использования. Исследования проводились с использованием данных технического анализа ( $W^a$ ,  $A^d$ ,  $V^{daf}$ ) и рентгено-флюоресцентный анализ (РФА) 20 проб угля и золы угля.

## **4 Экспериментальная часть**

### **4.1 Объект исследования**

Исследование 88 проб углей Бейское месторождения.

Бейское месторождение - наиболее перспективное - содержит угли ценных коксующихся марок. Месторождение находится, на Северо - Западном Кирбинском участке крупного Бейского месторождения в Республике Хакасия.

Угли месторождения относятся к гумусовым, в основном малой и средней зольности. Степень метаморфизма отдельных угольных пластов, их спекаемость и теплотехнические характеристики по площади их распространения примерно одинаковы.

Цвет углей черный, черта так же черная. Блеск обычно стекловатый в витреновых разностях до шелковистого в фюзеновых. Полуматовый и металлический блеск присущ углям, измененным в зонах контактового воздействия интрузий до состояния антрацитов. Текстура, как правило, полосчатая за счет чередования слойков, сложенных фюзеном и витреном, либо штриховато - полосчатая. Излом ступенчатый, угловатый; в высокозольных разностях, что наблюдается крайне редко, до раковистого.

### **4.2 Методика работы**

Методика исследования угольных включает в себя, пробоподготовку, лабораторно-аналитические исследования, методы обработки и интерпретацию результатов.

В соответствии с программой работ выполнена пробоподготовка, определение зольности, влажности и выхода летучих 88 проб углей, рентгено-флюоресцентный анализ (РФА) 20 проб угля и золы угля.

Оценка проводилась влажности по ГОСТ 27314-91 15[28], зольности по ГОСТ 11022-95 [26], выхода летучих веществ по ГОСТ 6382-2001 [17].

Анализ методом РФА выполнен в лаборатории рентгеноспектральных методов анализа института Геологии и минералогии СО РАН (г.



Новосибирск).

Выполнен анализ 20 проб золы угля и углевмещающих пород.

**Таблица 4.1-Пределы обнаружения макрокомпонентов методом РФА, %**

Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SO <sub>3</sub>	п.п.п.
0,04	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,2

Примечание: п.п.п. – потери при прокаливании.

**Таблица 4.2- Пределы обнаружения микроэлементов методом РФА, ppm**

Элемент	Пределы обнаружения	Элемент	Пределы обнаружения	Элемент	Пределы обнаружения
V	30	Cl	150	Hf	14
Cr	20	Co	100	Mo	15
Ni	20	Ga	20	Th	20
Zn	17	Y	15	U	25
Cu	30	Pb	30	As	–
Rb	10	Nb	10	Ce	–
Zr	10	Ge	20	La	–
Sr	10	Sc	30	Sb	–

Для определения полного макро- и микроэлементного состава образцы золы угля и углевмещающие породы также исследованы на полностью автоматизированном высокопроизводительном рентгено-флуоресцентном спектрометре ARL-9900XP (ThermoElectronCorporation, Швейцария), оснащенный мощной рентгеновской трубкой с родиевым анодом тонким (0,075 мм) бериллиевым окном, по программе полуколичественного анализа QuantAS, включенной в комплект поставки прибора, использующей спектры сканирования и позволяющей измерять 70 элементов от F до U.

Излучатели подготавливаются путем прессования 1 г пробы с использованием пресса HERZOGHTP 40 (HERZOGMaschinenfabrikGmbH, Германия). Прессование как золы, так и породы выполняли на подложку из порошка полистирола без добавления к пробе связующих компонентов по следующей программе: сила пресса поднималась в течение 15 сек от 0 до 195

кН и после удерживания в течение 30 сек снижалась в течение 20 сек до 95 кН, затем в течение 10 сек

– до 0 кН. Образцы пород перед прессованием высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 1 часа и выдерживали в течение 1,5 часов при температуре 960 °С в муфеле для определения потерь при прокаливании. Так как при прокаливании может наблюдаться эффект спекания, то пробы пород истирали в агатовой ступке в течение 1–3 минут до получения тонкого порошка. Приготовленные таким образом излучатели анализируются в течение 1 часа для увеличения статистики счета и, соответственно, снижения пределов обнаружения. В программе QuantAS анализ выполняется при ускоряющем напряжении 50 кВ и токе 30 мА.

## 5 Результаты проведенного исследования

В ходе исследования было изучено 88 проб угля Бейского месторождения.

Полученные результаты технического анализа приведены в сводной таблице 5.4 и в Приложении А.

**Таблица 5.4- Сводная таблица технического анализа**

Шифр пробы	Va ср, %	Wd, %	Ad , %	Vdaf , %	Характеристика нелетучего остатка
Ap 4-15	26,9	6,9	21,7	37,6	слипшийся
Ap 7-15	30,4	8,0	8,4	36,2	слипшийся
Ap 13-15	30,8	8,8	7,6	36,7	слипшийся
Ap 14-15	36,5	8,2	4,5	41,0	слипшийся
Ap 21-15	30,6	8,9	8,1	36,7	слипшийся
Ap 25-15	30,9	8,9	8,3	37,3	слипшийся
Ap 17-15	24,9	5,8	37,6	43,9	слипшийся
Ap 19-15	32,3	8,8	6,7	38,0	спекшийся не сплавленный
Ap 26-15	30,9	7,9	6,3	35,8	спекшийся не сплавленный
Ap 28-15	32,1	8,8	5,4	37,6	спекшийся не сплавленный
Ap 3-15	24,7	3,8	33,2	39,2	спекшийся не сплавленный
Ap 1-19-5	8,8	1,4	66,2	9,9	спекшийся не сплавленный
Ap 27-15	33,7	5,3	2,6	36,6	порошкообразный
Ap 35-19-15	35,4	4,5	4,9	36,7	порошкообразный
Ap 23-19-15	32,4	3,9	9,1	37,2	спекшийся не сплавленный
Ap 25-19-15	23,2	5,0	5,9	25,9	спекшийся не сплавленный
Ap 15-19-15	17,6	5,6	57,0	47,9	слипшийся
Ap 15-15	29,1	5,9	12,6	35,6	слипшийся
Ap 12-15	33,6	6,8	10,3	40,6	спекшийся не сплавленный
Ap 14-19-15	32,8	7,6	10,2	39,9	спекшийся не сплавленный
Ap 18-19-15	31,7	6,6	3,2	35,2	Спекшийся не сплавленный

Продолжение таблицы 5.4

Ар 11-15	22,5	6,5	11,2	27,3	Спекшийся не спл
Ар 9-18а-15	28,1	7,7	4,3	32,0	Спекшийся не сплавленный
Ар 9-15	37,0	4,8	27,9	33,8	Спекшийся не сплавленный
Ар 10-19-15	32,6	7,1	12,1	36,2	Спекшийся не сплавленный
Ар 10-15	23,9	4,0	50,8	37,1	слипшийся
Ар 7-19-15	28,6	4,0	34,5	25,9	Спекшийся не сплавленный
Ар 6-15	34,1	6,3	2,5	36,8	Спекшийся не сплавленный
Ар 7-19а-15	16,2	2,0	61,5	44,3	спекшийся не сплавленный
Ар 2-18-15(2)	26,7	1,5	48,0	52,4	не спекшийся
Ар 3-19-15	33,6	3,8	3,4	36,1	слипшийся
Ар 2-18-15(1)	25,6	2,0	49,0	50,0	слипшийся
Ар4-18а-15	21,5	2,6	44,0	39,4	слипшийся
Ар 34-19-15	24,4	4,4	18,4	32,4	слипшийся
Ар 23-15-2	25,1	1,8	44,9	47,2	слипшийся
Ар 23-15-1(1)	15,6	3,3	9,2	17,8	слипшийся
Ар 20-19-15	15,3	1,6	66,9	48,2	слипшийся
Ар 15-19а-15	20,8	4,3	5,4	22,9	Спекшийся не сплавленный
Ар 13-19-15	12,8	4,2	62,9	36,8	Спекшийся не сплавленный
Ар 4-19-15	14,9	1,6	64,3	42,3	слипшийся
Ар 3-18а-15	16,7	1,3	72,1	64,7	слипшийся
Ар 2-15	12,1	1,5	60,0	48,6	слипшийся
Ар 16-19а-15	32,7	4,0	4,3	35,9	Спекшийся не сплавленный
Ар 16-19-15	39,6	4,5	4,7	38,2	слипшийся
Ар 17-18а-15	21,0	1,3	61,8	56,5	не спекшийся
Ар 33-19-15	30,7	3,5	4,6	32,9	спекшийся не сплавленный
Ар 32-19-15	33,3	3,6	3,5	35,8	спекшийся не сплавленный
Ар 31-19-15	30,3	3,8	3,7	33,0	спекшийся не сплавленный
Ар 30-19-15	27,5	3,5	5,9	30,3	спекшийся не сплавленный
Ар 29-19-15	26,6	1,4	60,7	69,3	не спекшийся

Продолжение таблицы 5.4

Ар 28-19-15(2)	29,1	3,6	4,5	31,5	слипшийся
Ар 27-19-15	33,3	3,6	3,3	35,8	слипшийся
Ар 15-18а-15	32,8	4,0	7,0	37,2	слипшийся
Ар 14-19а-15	31,5	4,7	3,4	33,9	Спекшийся не сплавленный
Ар 14-18а-15	25,0	4,5	5,7	27,5	Спекшийся не сплавленный
Ар 13-19а-15	22,4	5,4	10,1	27,1	Спекшийся не сплавленный
Ар 13-18а-15	32,1	3,8	14,3	39,6	слипшийся
Ар 12-19а-15	17,2	4,7	23,6	22,3	Спекшийся не сплавленный
Ар 12-18а-15	28,1	1,3	69,6	68,7	слипшийся
Ар 11-18а-15	37,4	3,4	10,3	43,4	слипшийся
Ар 10-19а-15	21,1	3,7	16,8	26,4	Спекшийся не сплавленный
Ар 10-18а-15	33,5	4,1	3,6	35,9	Спекшийся не сплавленный
Ар 6-18а-15	23,1	5,6	6,1	25,8	Спекшийся не сплавленный
Ар 8-19а-15	19,1	6,6	5,5	21,6	Спекшийся не сплавленный
Ар 8-19а-15(1)	15,8	6,8	16,0	21,2	слипшийся
Ар 8-18а-15	32,3	5,5	5,6	36,6	слипшийся
Ар 7-18а-15	33,7	5,2	2,4	37,4	Спекшийся не сплавленный
Ар 6-19а-15	15,0	6,6	20,3	21,7	Спекшийся не сплавленный
Ар 5-19-15	26,9	3,7	26,5	39,5	слипшийся
Ар 5-19а-15	16,9	5,8	10,7	20,4	Спекшийся не сплавленный
Ар 5-18-15	36,7	1,3	47,6	71,3	слипшийся
Ар 4-18-15	33,0	4,0	7,2	37,2	Спекшийся не сплавленный
Ар 3-19а-15	18,0	6,6	3,5	20,3	слипшийся
Ар 2-19а-15	31,9	6,3	3,2	35,2	слипшийся
Ар 2-19-15	28,0	5,4	12,0	31,1	Спекшийся не сплавленный
Ар 2-18а-15	23,5	4,1	25,5	34,3	Спекшийся не сплавленный

Продолжение таблицы 5.4

Ар 3-18-15	32,8	4,8	5,2	36,2	Спекшийся не сплавленный
Ар 2-17-15	38,5	3,9	3,2	41,6	Спекшийся не сплавленный
Ар 1-19а-15	12,5	1,4	77,4	58,7	слипшийся
Ар 1-18а-15	11,3	2,1	71,6	43,0	слипшийся
Ар 18-19а-15	30,5	3,4	15,2	37,9	Спекшийся не сплавленный
Ар 19-19-15	31,2	3,3	10,9	36,1	Спекшийся не сплавленный
Ар 19-19а-15	18,2	1,8	56,0	42,9	слипшийся
Ар 21-19-15	30,5	3,3	10,5	35,3	слипшийся
Ар 24-19-15	34,0	4,1	3,6	37,4	Спекшийся не сплавленный
Ар 26-19-15	26,8	3,9	8,3	30,5	Спекшийся не сплавленный
Ар 4-17-15	35,9	4,7	3,9	39,2	Спекшийся не сплавленный
Ар 1-17-15	19,4	1,6	65,1	59,1	слипшийся

Опираясь на данные таблицы 5.4 построены графики зависимости минеральных прослоек на свойства углей пластов 17, 18, 18<sup>а</sup>, 19, 19<sup>а</sup>, результаты которых отображены в приложении Б.

Как видно из данных, таблицы 5.4 и графиков Приложения Б зольность исследованных углей изменяется в широких пределах от 2.6 % до 77.4%, а выход летучих веществ от 9.9% до 71.3%. Исследуя графики зависимости минеральных прослоек от свойств углей пласт, можно сделать вывод, о том, что, чем больше минеральных прослоек в пласте, тем выше колебание зольности и выхода летучих веществ. Это связано с тем, что минеральные прослойки влияют на процентное содержание зольности и летучих веществ в углях.

По зольности угли подразделяются на малозольные  $A^d$  до 10%, средnezольные  $A^d$  от 10% до 20%, и высокозольные  $A^d$  выше 20%. Согласно этой классификации исследованные угли можно подразделить:

Малозольные: Ap 13-15, A<sup>d</sup> -7,6%; Ap 14-15-4,5%; Ap 21-15-8,1% ;  
Ap 25-15-8,3%; Ap 19-15-6,7%; Ap 26-15-6,3%; Ap 28-15-5,4%; Ap 27-15-  
2,6%; Ap 35-19-15-4,9%; Ap 23-19-15-9,1%; Ap 25-19-15-5,9%; Ap 18-19-15-  
3,2%; Ap 9-18a-15-4,3%; Ap 6-15-2,5%; Ap 3-19-15-3,4%; Ap 23-15-1(1)-9,2%;  
Ap 15-19a-15-5,4%; Ap 16-19a-15-4,3%; Ap 16-19-15-4,7%; Ap 33-19-15-4,6%;  
Ap 32-19-15-3,5%; Ap 31-19-15-3,7%; Ap 30-19-15-5,9%; Ap 28-19-15(2)-4,5%;  
Ap 27-19-15-3,3%; Ap 15-18a-15-7,0%; Ap 14-19a-15-3,4%; Ap 14-18a-15-5,7%;  
Ap 8-18a-15-5,6%; Ap 7-18a-15-2,4%; Ap 10-18a-15-3,6%; Ap 6-18a-15-6,1%;  
Ap 8-19a-15-5,5%; Ap 8-18a-15-5,6%; Ap 7-18a-15-2,4%; Ap 4-18-15-7,2%; Ap  
3-19a-15-3,5%; Ap 2-19a-15-3,2%; Ap 3-18-15-5,2%; Ap 2-17-15-3,2%; Ap 24-  
19-15-3,6%; Ap 26-19-15-8,3%; Ap 4-17-15-3,9%.

Среднезольные:

Ap 15-15, A<sup>d</sup> -12,6%; Ap 12-15-10,3%; Ap 14-19-15-10,2%; Ap 11-15-  
11,2%; Ap 10-19-15-12,1%; Ap 34-19-15-18,4%; Ap 13-19a-15-10,1%; Ap 13-  
18a-15-14,3%; Ap 11-18a-15-10,3%; Ap 10-19a-15-16,8%; Ap 8-19a-15(1)-  
16,0%; Ap 5-19a-15-10,7%; Ap 2-19-15-12,0%; Ap 18-19a-15-15,2%; Ap 19-19-  
15-10,9%; Ap 21-19-15-10,5%.

Высокозольные: Ap 4-15, A<sup>d</sup> -21,7%; Ap 17-15-37,6%; Ap 3-15-33,2%;  
Ap 1-19-5-86,2%; Ap 15-19-15-57,0%; Ap 9-15-27,9%; Ap 10-15-50,8%; Ap 7-  
19-15-34,5%; Ap 7-19a-15-61,5%; Ap 2-18-15(2)-48,0%; Ap 2-18-15(1)-49,0%;  
Ap 4-18a-15-44,0%; Ap 23-15-2-44,9%; Ap 13-19-15-62,9%; Ap 4-19-15-64,3%;  
Ap 20-19-15-66,9%; Ap 3-18a-15-72,1%; Ap 2-15-73,8%; Ap 17-18a-15-61,8%;  
Ap 29-19-15-60,7%; Ap 12-19a-15-23,6%; Ap 12-18a-15-69,6%; Ap 6-19a-15-  
20,3%; Ap 5-19-15-26,5%; Ap 5-18-15-47,6%; Ap 2-18a-15-25,5%; Ap 1-19a-15-  
77,4%; Ap 1-18a-15-71,6%; Ap 19-19a-15-56,0%; Ap 1-17-15-65,1%.

В ходе исследования , опираясь на данные таблицы 5.4 можно  
определить марку угля, из таблицы 5.5.

Таблица 5.5 - Торгово- промышленная маркировка[1 ]

Наименование марки угля	$V^{daf}, \%$	Характеристика твердого нелетучего остатка
Длиннопламенный	более 42	неспекшийся или слипшийся
Газовый	42-35	спекшийся, сплавленный, иногда вспученный (рыхлый)
Паровичный жирный	35-26	спекшийся, сплавленный, вспученный, плотный или умеренно плотный
Коксовый	26-18	спекшийся, сплавленный, вспученный, плотный или умеренно плотный
Паровичный спекающийся	18 - 12	спекшийся или сплавленный, от плотного до умеренно плотного
Тощий	менее 12	неспекшийся или слипшийся

К видно из данных таблицы 5.4 к длиннопламенным (Д) относятся угли имеющие выход летучих более 42% и имеющие неспекшийся или слипшийся твердый нелетучий остаток, а именно пробы[1]: Ар 17-15-43,9%; Ар 15-19-15-47,9%; Ар 7-19а-15-44,3%; Ар 2-18-15(2)-52,4%; Ар 2-18-15(1)-50,0%; Ар 23-15-2-47,2%; Ар 20-19-15-48,2%; Ар 4-19-15-42,3%; Ар 3-18а-15-64,7%; Ар 2-15-48,6%; Ар 17-18а-15-56,5%; Ар 29-19-15-69,3%; Ар 12-18а-15-98,7%; Ар 11-18а-15-43,4%; Ар 5-18-15-71,3%; Ар 1-19а-15-58,7%; Ар 1-18а-15-43,0%; Ар 19-19а-15-42,9%; Ар 1-17-15-59,1%.

К газовым (Г) относятся угли имеющие выход летучих в пределах от 35 до 42 % и характеризующиеся спекшимся, сплавленным нелетучим остатком, а именно пробы[1]: Ар 4-15-37,6%; Ар 7-15-36,2%; Ар 13-15-36,7%; Ар 14-15-41,0%; Ар 21- 15-36,7%; Ар 25-15-37,3%; Ар 19-15-38,0%; Ар 26-15-



35,8%; Ap 28-15-37,6%; Ap 3-15-39,2%; Ap 27-15-36,6%; Ap 35-19-15-36,7%; Ap 23-19-15-37,2%; Ap 15-15-35,6%; Ap 12-15-40,6%; Ap 14-19-15-39,9%; Ap 18-19-15-35,2%; Ap 10-19-15-36,2%; Ap 10-15-37,1%; Ap 6-15-36,8%; Ap 3-19-15-36,1%; Ap 4-18a-15-39,4%; Ap 13-19-15-36,8%; Ap 16-19a-15-35,9%; Ap 16-19-15-38,2%; Ap 32-19-15-35,8%; Ap 27-19-15-35,8%; Ap 15-18a-15-37,2%; Ap 12-19a-15-22,3%; Ap 10-18a-15-35,9%; Ap 8-18a-15-36,6%; Ap 5-19-15-39,5%; Ap 4-18-15-37,2%; Ap 2-19a-15-35,2%; Ap 3-18-15-36,2%; Ap 2-17-15-41,6%; Ap 18-19a-15-37,9%; Ap 19-19-15-36,1%; Ap 21-19-15-35,3%; Ap 24-19-15-37,4%; Ap 4-17-15-39,2%.

Угли марки Д – отмечаются во всех геохронологических уровнях углеобразования: карбон, пермь, юра, мел, палеоген-неоген и весьма широко распространены на территории России. Применяются в основном как энергетическое и коммунально-бытовое топливо. Кроме того, их можно использовать в процессах газификации.

По составу они разнообразны: наряду с инертинитом они бывают обогащены липтинитом. В эту марку входят угли с  $R_0$  – от 0,40 до 0,79% как витринитового, так и фюзинитового состава с  $V^{daf} > 28-30\%$ . Они отличаются повышенной механической прочностью и незначительной хрупкостью. Влажность длиннопламенных углей колеблется от 8 до 20, зольность – от 7 до 40, содержание серы – от 0,2 до 6%. Нелетучий остаток порошкообразный или слабоспекшийся[29].

Эти угли преимущественно используются как энергетическое и бытовое топливо, являясь в то же время хорошим сырьем для полукоксования (при обогащении угля мацералами группы липтинита) и для производства синтетического жидкого (в случае витринитового состава), синтетического газообразного и бездымного твердого топлив.

Угли марки ДГ – переходные между длиннопламенными и газовыми, отличаются от первых наличием спекаемости, а от газовых с аналогичной спекаемостью – более низкой стадией метаморфизма ( $R_0$  – от 0,5 до

0,79%)[6]. Встречаются угли марки ДГ в тех же бассейнах и на месторождениях, в которых сосредоточены угли марок Д и Г.

По внешнему облику и составу угли длиннопламенные газовые аналогичны углям марки Д. Влажность описываемых углей не превышает 11-15%, зольность колеблется от 6-10 до 25-35%.

Среди углей этой марки самыми сернистыми являются иркутские угли ( $S_t^d$  – до 6%), а кузнецкие, минусинские, буреинские, сахалинские угли – низкосернистые (от 0,3 до 0,8%). Угли отличаются повышенной механической прочностью.

Угли марки ДГ – преимущественно энергетическое и коммунально-бытовое топливо. В ограниченном объеме используются в качестве компонента коксовой шихты и как основное сырье для получения полукокса на Ангарском заводе нефтеоргсинтеза.

Угли марки Г – имеют преимущественно витринитовый состав ( $\Sigma OK < 40\%$ ), показатель отражения витринита 0,50-0,99%, выход летучих веществ 30% и выше, толщину пластического слоя более 10 мм. В них хорошо выражена эндогенная трещиноватость. Влажность свежедобытого газового угля не превышает 10%, зольность изменяется в широких пределах – от 7 до 35%, но преобладающая часть газовых углей содержит 10-15% золы. Сернистость этих углей также варьирует: от 0,6% до 5%. Газовые угли используются в энергетике и коксохимической отрасли промышленности (в составе коксовой шихты применяют угли технологической группы 2Г и витринитовые угли 1Г классов 08 и 09).

Газовые угли с толщиной пластического слоя менее 8 мм могут служить сырьем для газификации и полукоксования, а витринитового состава с  $V^{daf} > 42\%$  – для производства синтетического жидкого топлива методом деструктивной гидрогенизации.

Так как на разрезе «Аршановский» распространены угли марки Д, ДГ, Г, то рекомендации по направлению их использования будут даваться

согласно ГОСТ 25543-88 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам».

Рассмотрим согласно ГОСТ 25543-88 направления исследования углей марок, существующих на разрезе «Аршановский».

Представленные выше данные могут свидетельствовать о том, что аналитическая влажность углей Аршановского месторождения незначительна, колеблется в пределах от 1,7 до 2,9%, т.е. согласно(б) данные угли могут быть отнесены к маркам Д,Г,Ж,К ( $W^a$  колеблется от 8,7-0,4).

### **5.1 Основные направления использования углей:**

1) Угли марки Д – преимущественно используются как энергетическое и коммунально-бытовое топливо. Кроме того, их можно использовать в процессах газификации; в качестве сырья для полукоксования, при обогащении угля мацералами группы липтинита; для производства синтетического жидкого топлива, в случае витринитового состава; синтетического газообразного и бездымного твердого топлива.

2) Угли марки Г – используются в энергетике и коксохимической отрасли, в составе коксовой шихты. Являются сырьем для процессов газификации и полукоксования, также используются для производства синтетического жидкого топлива методом деструктивной гидрогенизации.

Опираясь на данные технического анализа можно рекомендовать следующие направления использования углей:

- для проб Ар 13-15,  $A^d$  -7,6%; Ар 14-15-4,5%; Ар 21-15-8,1% ; Ар 25-15-8,3%; Ар 19-15-6,7%; Ар 26-15-6,3%; Ар 28-15-5,4%; Ар 27-15-2,6%; Ар 35-19-15-4,9%; Ар 23-19-15-9,1%; Ар 25-19-15-5,9%; Ар 18-19-15-3,2%; Ар 9-18a-15-4,3%; Ар 6-15-2,5%; Ар 3-19-15-3,4%; Ар 23-15-1(1)-9,2%; Ар 15-19a-15-5,4%; Ар 16-19a-15-4,3%; Ар 16-19-15-4,7%; Ар 33-19-15-4,6%; Ар 32-19-15-3,5%; Ар 31-19-15-3,7%; Ар 30-19-15-5,9%; Ар 28-19-15(2)-4,5%; Ар 27-19-15-3,3%; Ар 15-18a-15-7,0%; Ар 14-19a-15-3,4%; Ар 14-18a-15-5,7%; Ар 8-18a-15-5,6%; Ар 7-18a-15-2,4%; Ар 10-18a-15-3,6%; Ар 6-18a-15-6,1%; Ар 8-

19a-15-5,5%; Ap 8-18a-15-5,6%; Ap 7-18a-15-2,4%; Ap 4-18-15-7,2%; Ap 3-19a-15-3,5%; Ap 2-19a-15-3,2%; Ap 3-18-15-5,2%; Ap 2-17-15-3,2%; Ap 24-19-15-3,6%; Ap 26-19-15-8,3%; Ap 4-17-15-3,9%, использование как энергетическое и коммунально-бытовое топливо. Кроме того, их можно использовать в процессах газификации; в качестве сырья для полукоксования.

- для Ap 15-15, A<sup>d</sup> -12,6%; Ap 12-15-10,3%; Ap 14-19-15-10,2%; Ap 11-15-11,2%; Ap 10-19-15-12,1%; Ap 34-19-15-18,4%; Ap 13-19a-15-10,1%; Ap 13-18a-15-14,3%; Ap 11-18a-15-10,3%; Ap 10-19a-15-16,8%; Ap 8-19a-15(1)-16,0%; Ap 5-19a-15-10,7%; Ap 2-19-15-12,0%; Ap 18-19a-15-15,2%; Ap 19-19-15-10,9%; Ap 21-19-15-10,5%, применение в качестве компонента шихты в коксохимической промышленности. Часть угля употребляется для слоевого сжигания в промышленных котельных. Можно применять для получения синтетического газа, также его можно использовать при производстве некоторых строительных материалов, например, извести, цемента.

для проб Ap 4-15, A<sup>d</sup> -21,7%; Ap 17-15-37,6%; Ap 3-15-33,2%; Ap 1-19-5-86,2%; Ap 15-19-15-57,0%; Ap 9-15-27,9%; Ap 10-15-50,8%; Ap 7-19-15-34,5%; Ap 7-19a-15-61,5%; Ap 2-18-15(2)-48,0%; Ap 2-18-15(1)-49,0%; Ap 4-18a-15-44,0%; Ap 23-15-2-44,9%; Ap 13-19-15-62,9%; Ap 4-19-15-64,3%; Ap 20-19-15-66,9%; Ap 3-18a-15-72,1%; Ap 2-15-73,8%; Ap 17-18a-15-61,8%; Ap 29-19-15-60,7%; Ap 12-19a-15-23,6%; Ap 12-18a-15-69,6%; Ap 6-19a-15-20,3%; Ap 5-19-15-26,5%; Ap 5-18-15-47,6%; Ap 2-18a-15-25,5%; Ap 1-19a-15-77,4%; Ap 1-18a-15-71,6%; Ap 19-19a-15-56,0%; Ap 1-17-15-65,1%, применение в качестве компонента шихты в коксохимической промышленности. Часть угля употребляется для слоевого сжигания в промышленных котельных. Можно применять для получения синтетического газа, также его можно использовать при производстве некоторых строительных материалов, например, извести, цемента.

Рассмотрим результаты полученные рентгено-флюоресцентным методом анализа по определению состава минеральных примесей и зол.

Для оценки среднего содержания использовался преимущественно расчёт средневзвешенного по мощности и, где необходимо, по зольности содержания элементов в углях и золах углей по сечениям опробования, применяемый при исследованиях такого рода [24], что позволяет получить более достоверные оценки средних содержаний в угольных пластах.

Угли изученных угольных пластов участка Аршановский отличаются сравнительно низкими содержаниями основной массы изученных элементов-примесей. (табл. 5.5).

Наиболее беден элементами-примесями пласт 17. Для изученного угленосного разреза пласт характеризуется наименьшей зольностью (табл. 4.1), в два раза меньшей, чем средние данные для углей мира.

В углях пласта отмечены выше, чем средние данные для углей мира In (0,18 г/т), Co, Cr, Se, Mo, Zr, Hf, Th и U. Ни один из них не содержится в количествах, позволяющих рассматривать их как возможный источник для промышленного получения.

В маломощном пласте 18 отмечены повышенные содержания по сравнению с кларком для углей Cr (550 г/т), Co (24,8 г/т), Se (26 г/т), а также Zr (124 г/т), Mo (2,9 г/т), Sb (22,5 г/т) и Sr (970 г/т). При этом содержание циркония более 120 г/т угля и кобальта более 20 г/т согласно инструктивным материалам может рассматриваться как возможно промышленно значимое.

В пласте 18<sup>a</sup> аномально повышено содержание Cr (730 г/т), Zr (121 г/т) и Co (31 г/т), повышено содержание Sc (6,1 г/т), Ti (1200 г/т), Mn (107 г/т), Mo (3,6 г/т), Hf (4,3 г/т).

В пласте 19 возможно промышленно значимые концентрации образует галлий (27,3 г/т), селен (32,4 г/т), кобальт (26,0 г/т) и стронций (1413 г/т), а повышенные по сравнению с угольным кларком – хром (0,15 г/т) и цирконий (538 г/т).

Пласт 19<sup>a</sup> обогащен скандием (5,2 г/т), кобальтом (7,5 г/т), стронцием (217 г/т) и молибденом (6,1 г/т).

Детальнее рассмотрим отдельные наиболее значимые для энергетических углей месторождения элементы-примеси[24].

**Германий.** Угли Минусинского бассейна 60-х годов прошлого века рассматриваются как германиеносные. Промышленная германиеносность была установлена для углей Черногорского месторождения [24]. Угли Бейского месторождения как германиеносные не рассматривались. Вместе с тем, в золе угля в пробе из нижней части пласта 15 (интервал мощностью 30 см) методом рентгенофлуоресцентного анализа установлено содержание германия 0,19% (в форме оксида). В пересчете на уголь для этой пробы весьма низкого содержания угля содержание составит 40 г/т оксида германия или 28 г/т чистого металла. При этом следует учитывать, что пробоподготовка для данного вида анализа проводится с прокаливанием пробы и ее сплавлением, что неблагоприятно для сохранности германия в пробе и обуславливает значительные его потери. Это также довольно высокое содержание, поэтому необходимо более детально исследовать германиеносность углей. Методом ICP MS отмечен еще ряд проб с его содержанием до 30,8 г/т. Интерес к германию обусловлен высоким спросом на этот металл и имеющимися технологиями его получения из углей.

**Таблица 5.6-Содержание элементов-примесей в углях разреза Аршановский**

Элемент	Угольный пласт					среднее	Угольный кларк*
	17	18	18 <sup>a</sup>	19	19 <sup>a</sup>		
1	2	3	4	5	6	7	8
Li	4,4	4,5	3,7	3,8	2,9	3,8±0,3	14±1
Be	0,6	0,6	0,9	1,3	0,7	0,83±0,12	2,0±0,1
F	149	73	110	48,0	58	88±19	82±6
P	250	310	510	2750	428	850±470	250±10
Cl	101	100	100	100	100	100±0,2	340±40
Sc	1,5	2,8	6,1	2,7	5,2	3,6±0,9	3,7±0,2
Ti	790	610	1200	800	530	786±116	890±40
Cr	619	550	731	441	<50	468±126	17±1

Продолжение таблицы 5.6

Mn	11,3	22,1	107	32	49,3	44±14	71±0,5
Fe	0,17	0,96	0,88	0,43	0,45	0,58±0,15	
Co	10,7	24,8	31,0	26,0	7,5	20,0±5	6,0±0,2
Ni	14,9	37,2	23,9	28,4	11,4	23,2±4,6	17±1
Cu	11,8	30,7	12,5	10,2	5,4	14,1±4,3	16±1
Zn	19,5	18,7	26,1	14,7	<5,0	15,8±4,4	28±2
Ga	8,8	14,4	13,2	27,3	5,3	13,8±3,7	6,0±0,2
Ge	2,5	2,8	1,5	1,4	<1	1,6±0,5	2,4±0,2
As	<10	<10	<10	<10	<10	<10	9,0±0,7
Se	15,4	26,0	<10	32,4	<10	14,8±6,6	1,6±0,1
Rb	0,25	12,5	6,4	0,08	3,9	4,6±2,3	18±1
Sr	99,1	276	256	1413	217	452±242	100±7
Y	6,1	3,4	8,6	5,8	5,7	5,9±0,8	8,2±0,5
Zr	98,4	124	121	85	37,3	93±16	36±3
Nb	4,0	7,5	6,5	4,3	1,9	4,8±1,0	4,0±0,4
Mo	2,6	2,9	3,7	3,6	6,1	3,8±0,9	2,1±0,1
Ag	0,05	0,037	0,008	0,019	0,07	0,04±0,01	0,10±0,016
Cd	0,07	0,093	0,021	<0,15	<0,15	0,04±0,02	0,2±0,04
In	0,18	0,028	<0,05	<0,05	<0,05	0,04±0,04	0,04±0,02
Sn	0,24	<1	<1	<1	<1	<1	1,4±0,1
Sb	0,24	1,6	0,49	1,1	0,54	0,78±0,24	1,0±0,09
Cs	0,09	0,34	1,3	0,24	0,50	0,50±0,2	1,1±0,12
Ba	87,8	144	151	538	157	216±82	150±20
La	7,9	3,9	11,1	11,5	5,17	7,9±1,5	11±1
Ce	17,9	7,9	19,6	20,4	9,6	15,1±2,6	23±1
Pr	2,0	0,87	2,3	2,3	1,04	1,7±0,3	3,4±0,2
Nd	6,2	3,1	8,3	7,8	5,1	6,1±0,9	12±1
Sm	1,5	0,20	1,26	1,1	0,87	0,98±0,22	2,2±0,1
Eu	0,09	0,07	0,07	0,03	0,24	0,10±0,04	0,43±0,02
Gd	0,83	0,33	0,71	0,62	1,49	0,80±0,19	2,7±0,2
Tb	0,07	0,06	0,03	0,02	0,13	0,06±0,02	0,31±0,02
Dy	0,57	0,12	0,52	0,13	0,81	0,43±0,13	2,1±0,1
Ho	0,07	0,04	0,06	0,03	0,21	0,08±0,03	0,57±0,04
Er	0,24	0,06	0,02	0,04	0,54	0,21±0,09	1,0±0,07
Tm	0,08	0,005	1,4	0,02	0,087	0,043±0,018	0,30±0,02
Yb	0,58	0,28	0,27	0,41	0,43	0,62±0,20	1,0±0,07
Lu	0,03	0,007	4,3	0,06	0,086	0,089±0,047	0,20±0,01
Hf	2,5	2,52	0,53	2,08	0,78	2,5±0,6	1,2±0,1
Ta	0,06	0,028	0,17	0,17	0,079	0,17±0,09	0,3±0,02
W	0,06	0,037	<0,05	0,005	0,40	0,13±0,07	0,99±0,11
Au	<0,05	<0,05	0,019	<0,05	<0,05	<0,05	
Hg	0,016	0,019	0,02	0,014	0,014	0,018±0,003	0,10±0,01
Tl	0,02	0,04	0,60	0,002	0,088	0,033±0,015	0,58±0,04
Pb	1,60	1,6	0,22	0,48	3,0	1,5±0,5	9,0±0,7

Продолжение таблицы 5.6

Bi	0,23	0,31	5,8	0,30	0,25	0,26±0,0 2	1,1±0,1
Th	4,9	1,1	3,9	2,6	1,7	3,2±0,9	3,2±0,1
U	4,3	1,3	10,6	4,2	1,0	3,0±0,7	1,9±0,1
A <sup>d</sup> , %	7,3	8,2	9	8,8	11,0	8,04±0,9	
N	20	4		8	1	42	

примечание: \* – по Ketris, Yudovich, 2009; N – количество проб.

**Галлий.** Опыта получения галлия из углей в мире нет. Спрос на него небольшой и вполне удовлетворяется имеющимися источниками. Вместе с тем, в углях месторождения установлены повышенные его содержания вплоть до промышленно значимых. В связи с этим необходимо исследование потенциальной галлиеносности углей.

**Ртуть и таллий.** Относится к группе супертоксикантов и изучается в углях сособой тщательностью. Токсичным является содержание ртути свыше 1 г/т, таллия – свыше 0,3 г/т (Инструкция..., 1987). В углях участка Аршановский среднее содержание ртути составляет 0,019 г/т. Это в пять раз ниже среднего содержания в углях мира (Ketris, Yudovich, 2009). Наибольшее ее содержание в пробах угля не превышает 0,1 г/т (табл. 4.1; табл. 4.2). Оно установлено в единичной пробе пласта 15. В среднем для пласта отмечено крайне низкое содержание ртути в углях (0,016 г/т). Максимальная концентрация установлена в угле, непосредственно контактирующем с тонштейном. По-видимому, пепловый материал был основным источником ртути в углях разреза. На это указывает как факт выявления наиболее высоких содержаний ртути именно в тонштейнах, так и обогащение притонштейновых горизонтов углей по сравнению с другими участками пласта (рис. 4.2).

Содержание ртути в угольных пластах Бейского месторождения на участке Аршановский сопоставимо с её содержанием в тех же пластах на участке Чалпан (табл. 4.6), но среднее значение несколько ниже.



**Таблица 5.7 – Содержание ртути в углях Бейского месторождения**

Элемент	Угольный пласт					Среднее
	17	18	18 <sup>a</sup>	19	19 <sup>a</sup>	
Разрез Аршановский						
Hg, г/т	0,016	0,030	0,019	0,018	0,014	0,019
Восточно-Бейский разрез						
Hg, г/т	н.о.	0,015	0,030	0,028	<0,03	0,024

В целом уровни накопления ртути в углях месторождения крайне низки (0,006– 0,099 г/т), промышленного значения не имеют и экологически не опасны.

Содержания таллия также существенно ниже предельно допустимых концентраций. Таллий, как и ртуть, отчетливо приурочен к тонштейнам, но даже на локальных участках вблизи тонштейнов его содержание не превышает опасных концентраций.

**Фтор.** Содержание фтора 500 г/т считается максимально допустимым в энергетических углях. В изученных углях среднее содержание в пластах не превышает 150 г/т, что существенно ниже предельно допустимых концентраций. Лишь в одной пробе в нижней части пласта 15 отмечено содержание фтора 878 г/т.

По содержанию фтора угли разреза Аршановский сопоставимы со средними данными для углей мира (табл. 5.5). Несколько повышено его содержание в пласте 17 и 18. В целом угли Участка Аршановский Бейского месторождения несравненно беднее фтором, чем угли участка Чалпан и по этому параметру являются экологически более чистыми.

**Хлор.** Рассматривается в углях как технологически вредный элемент, влияющий на устойчивость оборудования на ТЭС. Предельное его содержание не должно превышать 6000 г/т. В углях Бейского месторождения ранее на участке Чалпан было отмечено высокое содержание хлора, в ряде пластов превышающее максимально допустимое. Например, в пласте 18 оно составляло 7930 г/т (Арбузов и др., 2003).

В углях Аршановского участка содержание хлора крайне низкое, не

превышает 101 г/т. Оно ниже среднего содержания в каменных углях мира (Ketris, Yudovich, 2009) более чем в три раза. В этом отношении угли разреза «Аршановский» более высокого качества, чем угли Изыхского и Восточно-Бейского разрезов.

**Хром.** Отличается в целом для месторождения резко повышенными содержаниями, превышающими «порог токсичности». Учитывая, что в углях отмечено высокое содержание железа и кобальта, можно предположить, что источником его накопления были гипербазитовые интрузии из обрамления бассейна, распространенные в Западном Саяне.

Таким образом, проведенный анализ показал, что угли разреза Аршановский характеризуются в целом низкими содержаниями элементов-примесей. Содержания, превышающие «порог токсичности» установлены только для хрома. Требуется изучение распределение Cr по разрезу и уточнение результатов с проверкой их другим аналитическим методом. Содержание ценных элементов-примесей в углях также мало значимо. Во многом это обусловлено низкой зольностью углей. Повышенные содержания отмечаются вблизи тонштейнов, но это локальные зоны мощностью в несколько сантиметров. Следует обратить внимание лишь на германиеносный потенциал месторождения, на железо и молибден в пласте 18 и галлий в пласте 18<sup>а</sup>.

**Таблица 5.8-Содержание токсичных элементов в углях разреза Аршановский, г/т**

Элемент	Угольный пласт					среднее	Порог токсичности
	17	18	18 <sup>а</sup>	19	19 <sup>а</sup>		
1	2	3	4	5	6	7	8
Be	0,6	0,6	0,9	1,3	0,7	0,83±0,12	50
F	149	73	110	48	58	88±19	500
Cl	101	100	100	100	100	100±0,2	6000
Cr	619	550	731	441	<50	468±126	100
Mn	11,3	22,1	107	32	49,3	44±14	1000
Co	10,7	24,8	31,0	26,0	7,5	20,0±5	100
Ni	14,9	37,2	23,9	28,4	11,4	23,2±4,6	100
Zn	19,5	18,7	26,1	14,7	<5,0	15,8±4,4	200
As	<10	<10	<10	<10	<10	<10	300

Продолжение таблицы 5.8

Se	15,4	26,0	<10	32,4	<10	14,8±6,6	1000
Cd	0,07	0,093	0,021	<0,15	<0,15	0,04±0,02	1,2
Sb	0,24	1,6	0,49	1,1	0,54	0,78±0,24	6
Tl	0,02	0,04	0,02	0,002	0,088	0,033±0,01 5	0,3
Pb	1,60	1,6	0,60	0,48	3,0	1,5±0,5	50
Hg	0,016	0,019	0,019	0,014	0,014	0,018	1

Примечание: \* – по ценные и токсичные, 1996 и «Инструкция...», 1987; N – количество проб.

Золы углей изучены методом рентгенофлуоресцентного анализа на основные породообразующие окислы и, дополнительно - полуколичественным анализом тем же методом на сопутствующие малые элементы.

Таким образом, золы углей основных разрабатываемых пластов участка Аршановский отличаются кислым составом типичным для большинства каменных углей. Пласт 19 отличается аномальным содержанием фосфора и интересен как возможное сырье для производства комплексных фосфатных удобрений. В связи с тем, что состав золы определен всего лишь в одной пробе, требуется более детальное исследование золы угля этого пласта. Необходимо проследить изменчивость состава по простиранию, оценить форму нахождения фосфатов, состав попутных ценных и токсичных элементов.

Следует отметить в целом повышенную фосфатность золы угля изученных угольных пластов. Кроме аномального пласта 19, повышенное содержание фосфора установлено в верхней части пласта 17, в пластах 18, 18<sup>a</sup> и 19<sup>a</sup>.

Пласт 18<sup>a</sup> можно рассматривать как потенциальный источник железа. Однако, несмотря на высокое содержание железа в золе угля, ресурсы металла слишком ничтожны на фоне его потребностей для металлургического производства.

По данным приближенно-количественного анализа в золе угля пласта 17 установлено повышенное содержание V (0,06%), Sr (0,51%), Zr (0,33%), Ga (0,03%). В отдельных пробах отмечено аномально высокое содержание Ge

(0,19%), Hf (0,21%), Ni (0,17%), Co (0,3%) и У (0,04%).

**Таблица 5.9-Содержание элементов-примесей в золе угля разреза Аршановский\*, г/т**

Элемент	Угольный пласт					среднее	Максимальное	Зольный кларк**
	17	18	18 <sup>a</sup>	19	19 <sup>a</sup>			
1	2	3	4	5	6	7	8	
Li	60,0	36,6	35	42,8	29	41	81,5	82±5
Be	8,5	5,2	8,8	14,3	7,1	8,9	19,7	12±1
F	2041	599	1034	545	574	937		580±20
P	3425	2542	4794	31240	4237	9091	39800	1500±100
Cl	1384	820	940	1136	990	1072		2100±300
Sc	20,3	23,0	57	30,1	51	38,9	85	24±1
Ti	10823	5002	11280	9088	5247	8410	43000	5300±200
Cr	8483	4508	6868	5005	<50	5008	89000	120±5
Mn	155	181	1010	360	488	475	3900	430±30
Fe	2,4	7,9	8,2	4,9	4,4	6,2	29,3	
Co	147	203	291	295	74	214	4017	37±2
Ni	205	305	225	323	113	248	3900	100±5
Cu	162	252	117	116	53	151	995	100±5
Zn	267	153	245	167	<10	169	2220	170±10
Ga	120	118	124	310	52	148	314	36±1
Ge	34,1	22,7	14,0	16,2	<10	17	1900	18±1
As	<10	<10	<10	<10	<10	0	–	46±5
Se	211	214	<10	368	<10	158	3900	10,0±0,7
Rb	3,5	103	60	0,9	39	49	948	110±10
Sr	1358	2266	2407	16047	2147	4838	25500	730±50
Y	83,2	28,0	81	66	57	63	400	57±2
Zr	1348	1014	1139	965	370	996	18500	230±10
Nb	55	61	62	49	19	52	1020	22±1
Mo	35	24	34	41	60	40	167	14±1
Ag	0,7	0,31	0,08	0,21	0,74	0,42	6,9	0,63±0,01
Cd	1,0	0,76	0,19	<0,2	<0,2	0,40	9,0	1,2±0,3
In	2,5	0,23	<0,2	<0,2	<0,2	0,45	14,9	0,21±0,18
Sn	3,2	<2	<2	<2	<2	0,50	51,6	8,0±0,4
Sb	3,3	13,06	4,6	12,0	5,3	8,4	232	7,5±0,6
Cs	1,2	2,8	12,3	2,7	4,9	5,3	137	8,0±0,5
Ba	1202	1183	1419	6112	1557	2307	28172	980±60
La	109	32	104	131	51	85	668	76±3
Ce	245	65	184	232	95	161	1560	140±10
Pr	27,2	7,12	22,0	26,0	10,3	18	183	26±3
Nd	85,1	25,3	78,4	88,8	51	65	691	75±4
Sm	20,2	1,63	11,8	12,4	8,6	10,4	146	14±1
Eu	1,3	0,60	0,68	0,30	2,4	1,1	26,5	2,6±0,1
Gd	11,4	2,68	6,7	7,1	14,8	8,5	128	16±1
Tb	0,9	0,45	0,31	0,28	1,3	0,66	21,5	2,1±0,1
Dy	7,8	0,98	4,8	1,5	8,0	4,6	97,8	15±1
Ho	0,9	0,30	0,52	0,29	2,1	0,84	15,5	4,8±0,2
Er	3,3	0,47	1,5	0,45	5,4	2,2	39,6	6,4±0,3
Tm	1,1	0,04	0,21	0,18	0,86	0,46	8,8	2,2±0,1
Yb	7,9	2,3	13,0	4,7	4,3	6,6	34	6,9±0,3
Lu	0,4	0,06	2,5	0,67	0,85	1,0	1,7	1,3±0,1
Hf	34,8	20,7	41	23,6	7,7	26	200	9,0±0,3
Ta	0,9	0,23	5,0	1,9	0,78	1,9	18	2,0±0,1

Продолжение таблицы 5.9

W	0,9	0,30	1,6	0,05	4,0	1,4	10,9	7,8±0,6
Au	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	-	24 ±10
Hg	219	184	291	163	149	204	-	0,87±0,07
Tl	0,2	0,36	0,15	0,021	0,9	0,36	2,6	4,6±0,4
Pb	21,9	13,3	5,7	5,5	30	16	136	55±6
Bi	3,1	2,6	2,1	3,4	2,5	2,8	14,3	7,5±0,4
Th	67	9	55	29	17	34	303	23±1
U	59	11	37	48	10	32	107	15±1
N	20	4	9	8	1	42		

Низкая зольность угля обуславливает высокую степень концентрации элементов при озолении угля. При этом повышенные концентрации отдельных элементов, полученные в результате пересчета на золу нами не рассматриваются в связи с тем, что при реальном озолении, а особенно при сжигании угля в котельных и на ТЭС, происходят значительные их потери в виде возгонов или в наиболее тонкодисперсной золе уноса. Это такие элементы как ртуть, мышьяк, таллий.

В золе угля пласта 17 отмечены возможно промышленно значимые содержания Ti (1.08 %), Cr (0.85%), Co (147 г/т), Ga (120 г/т), Se (120 г/т), Y (83,2 г/т), Zr (0.13 %), In (2.5 г/т), Nb (55 г/т), Mo (25 г/т). При этом на локальных участках вблизи тонштейнов зола угля аномально обогащена титаном (до 4,3%), цирконием (до 1.85%), гафнием (до 200 г/т), танталом (до 18 г/т), иттрием (до 400 г/т), иттербием (до 34 г/т). Сумма редкоземельных элементов достигает 0,36%.

Золы угля пласта 18 обогащены Co (203 г/т), Ga (118 г/т), Se (214 г/т), Sr (0.23%), Zr (0.10 %), Nb (61 г/т).

Золы угля пласта 18<sup>a</sup> обогащены Sc (57 г/т), Ti (1.13 %), Co (291 г/т), Ga (124 г/т), Sr (0,24%), Y (81 г/т), Zr (0.11 %), Nb (62 г/т), Mo (34 г/т).

Золы угля пласта 19 обогащены Ti (0,9 %), Co (295 г/т), Ga (310 г/т), Se (368 г/т), Sr (1,6%), Zr (0.97 %), Mo (41 г/т).

Золы угля пласта 19<sup>a</sup> обогащены только Ga (52 г/т), Sr (0,21%), Mo (60 г/т).

Золы угля пласта 19 наряду с аномальной фосфатоносностью

отличается аномально высоким содержанием стронция (до 2,55%) и галлия (до 314 г/т). Эти золы представляют интерес как потенциальное комплексное сырье.

Разработка Бейского месторождения в связи с особенностями геолого-экономического положения началась значительно позднее, чем Черногорского и Изыхского.

Изменившаяся геолого-экономическая ситуация в связи со строительством железнодорожной и автомобильных веток в непосредственной близости от месторождения позволяет считать его одним из наиболее перспективных для отработки. Пологое, почти горизонтальное залегание угольных пластов, незначительная тектоническая нарушенность позволяют вести добычу открытым способом. Угли месторождения представлены недефицитной маркой Д и пригодны для использования в качестве энергетического топлива. Энергетическое направление является основным при использовании Бейских углей.

Другие направления, такие как газификация или гидрогенизация угля, в настоящее время малоперспективны из-за высокой себестоимости получаемой продукции и, как следствие, малой конкурентоспособностью по сравнению с природным газом и нефтью. В настоящее время наиболее реальное направление использования углей Бейского месторождения - это обеспечение нужд топливной энергетики, тем более, что угли месторождения являются высококачественным топливом. Это хорошо видно на примере ВосточноБейского разреза. Угли разреза Аршановский по своим характеристикам даже по предварительной оценке имеют более высокое качество, чем угли других разрезов Минусинского бассейна. Угли отрабатываемых в настоящее время пластов угля (17, 18<sup>а</sup>) отличаются высокой теплотворной способностью и низкой зольностью, более качественными экологическими характеристиками.

В настоящее время качество угля, добываемого угольным разрезом

Аршановский, удовлетворяет потребителей и претензий к его качеству не предъявляется. Тем не менее, ужесточение экологических требований к топливной энергетике неизбежно поставит вопрос о необходимости уменьшения токсичности отходов

Известно, что угли марки Д, составляющие на месторождении основную массу, относятся к категории сильно коптящих, дающих значительные выбросы в атмосферу вредных веществ и требующих установки эффективных фильтров для очистки дымов.

Другая возможная проблема – это избыточная концентрация некоторых элементов-примесей в золошлаковых отходах, получаемых в процессе сжигания Бейских углей. Золой и шлаки могут быть небезопасны по уровню содержания отдельных токсичных компонентов (хром, кобальт, никель, ванадий и марганец). Низкая зольность углей обеспечивает значительную концентрацию токсичных элементов в золах углей даже при сравнительно низких их содержаниях в углях.

Вместе с тем, в углях и золах углей отдельных пластов Бейского месторождения установлены высокие, возможно промышленно значимые концентрации фосфора, молибдена, циркония, ванадия, стронция, гафния, иттрия, ниобия, и других ценных элементов. Попутное извлечение их могло бы одновременно решить ряд обозначенных выше проблем очистки зол от токсичных компонентов.

На первом этапе в процессе добычи угля может быть предусмотрено раздельное извлечение углей с высоким содержанием в золах ценных перспективных для получения указанных ценных компонентов при существующих технологиях и настоящей конъюнктуре рынка сырья. К первым можно отнести пласты 18, 18<sup>а</sup>, 19. Ко вторым относится пласт 17 при условии, что германиееносность пласта получит положительную оценку.

Таким образом, анализ современного состояния вопроса по возможности комплексного использования углей, содержащих ценные

компоненты, утилизации их зольного остатка позволяет утверждать, что Бейское месторождение может рассматриваться в качестве перспективного объекта для реализации такого проекта. Здесь одновременно сочетается благоприятное геолого-экономическое положение объекта, высокие содержания комплекса ценных компонентов на уровне возможно промышленных концентраций и наличие в регионе мощных химико – металлургических производств (Красноярск, Новокузнецк, Новосибирск, Томск), на которых может быть осуществлена переработка разнообразных рудные концентратов. На базе Бейского и месторождений в перспективе может быть создано уникальное производство по добыче и малоотходной переработке углей, не имеющее аналогов в мировой практике.

В настоящее время имеет перспективы лишь переработка фосфатоносной золы пласта 19 и, возможно, германиеносных углей. Последнее возможно, если подтвердятся аномальные содержания германия, определенные в золе в нижней части пласта 17 и будут выявлены запасы металла, достаточные для организации и долгосрочного функционирования такого производства. В ближайшей перспективе необходимость переработки зол углей Бейского месторождения обусловлена их фосфатоносностью.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные комплексные геохимические исследования, основанные на данных современных количественных методов анализа, позволили оценить содержание и распределение 63 химических элементов в углях, углевмещающих породах и золах углей участка Аршановский Бейского каменноугольного месторождения. Оценен макроэлементный состав золы угля в угольных пластах, а также состав микроэлементов, в том числе редких, благородных и радиоактивных металлов в углях.

По данным технического анализа подтверждено, что исследованные угли можно отнести к маркам Д,ДГ,Г и рекомендовать их традиционное использование как энергетического и коммунально-бытового топлива, использовать в процессах газификации, полукоксовании в качестве компонента шихты коксохимической промышленности при производстве строительных материалов.

Исследования показали, что угли пластов 17, 18, 18<sup>а</sup>, 19, 19<sup>а</sup> участка Аршановский Бейского месторождения в целом отличаются низкими содержаниями ценных и токсичных элементов примесей. Наряду с высокой теплотой сгорания и низкой зольностью углей это позволяет рассматривать их как высококачественное энергетическое топливо.

Золы углей изученных угольных пластов 17, 18, 18<sup>а</sup>, 19, 19<sup>а</sup> неоднородны по содержанию элементов-примесей. Благодаря низкой зольности угля в процессе его озоления происходит существенное концентрирование ценных и токсичных элементов. В результате в золах углей некоторых пластов установлены возможно промышленно значимые содержания отдельных элементов-примесей.

В золе угля в пробе из припочвенной части пласта 17 на участке Аршановский установлено промышленно значимое содержание германия (0,19% GeO<sub>2</sub>). В пересчете на уголь это оставит 40 г/т на оксид и 28 г/т на элемент. Эти данные требуют более детальных исследований с целью

изучения распространения аномалии по латерали и оценки ресурсов германия. В золе угля этого пласта установлены повышенные содержания титана, ванадия, стронция, циркония и галлия. В верхней части пласта отмечены повышенные содержания фосфора.

Приложение А

Таблица А1-Выход летучих веществ

№ пробы	№ бюксы	Навес ка, г.	Va, %	Va ср, %	Wa, %	Ad, %	Vdaf, %	Характеристика нелетучего остатка (королька)
Ap 4-15	1	1,38	26,89	26,9	6,9	21,7	37,66	слипшийся
Ap 4-15	2	1,46	26,83				37,56	слипшийся
Ap 7-15	3	1,69	30,45	30,4	8,0	8,4	36,42	слипшийся
Ap 7-15	4	1,78	30,37				36,33	слипшийся
Ap 13-15	5	1,76	30,71	30,8	8,8	7,6	36,73	слипшийся
Ap 13-15	6	1,47	30,79				36,79	слипшийся
Ap 14-15	7	1,22	36,68	36,5	8,2	4,5	42,01	спекшийся не сплавленный
Ap 14-15	8	1,86	36,24				41,5	спекшийся не сплавленный
Ap 21-15	9	1,44	30,49	30,6	8,9	8,1	36,73	спекшийся не сплавленный
Ap 21-15	10	1,70	30,60				36,86	спекшийся не сплавленный
Ap 25-15	11	1,26	30,91	30,9	8,9	8,3	37,33	спекшийся не сплавленный
Ap 25-15	12	1,41	30,92				37,34	спекшийся не сплавленный
Ap 17-15	13	1,87	24,85	24,9	5,8	37,6	43,9	порошкообразный
Ap 17-15	14	1,70	24,98				41,13	порошкообразный
Ap 19-15	15	1,48	32,18	32,3	8,8	6,7	38,08	спекшийся не сплавленный
Ap 19-15	16	1,62	32,40				38,34	спекшийся не сплавленный
Ap 26-15	1	1,12	30,75	30,9	7,9	6,3	35,84	слипшийся
Ap 26-15	2	1,32	30,98				36,11	слипшийся
Ap 28-15	3	1,71	31,93	32,1	9,8	5,4	37,65	спекшийся не сплавленный
Ap 28-15	4	1,42	32,30				38,08	спекшийся не сплавленный
Ap 3-15	5	1,17	24,71	24,7	3,8	33,2	39,22	слипшийся
Ap 3-15	6	1,46	24,64				39,11	слипшийся
Ap 1-19-5	7	1,54	8,72	8,8	1,4	86,2	70,32	слипшийся
Ap 1-19-5	8	1,43	8,87				71,53	слипшийся
Ap 27-15	9	1,11	33,76	33,7	5,3	2,6	36,65	слипшийся
Ap 27-15	10	1,47	33,64				36,52	слипшийся <sup>69</sup>
Ap 35-19-15	11	1,54	33,29	35,4	4,5	4,9	36,74	слипшийся

Продолжение таблицы А 1

Ар 35-19-15	12	1,95	33,41				36,87	слипшийся
Ар 23-19-15	13	1,06	32,43	32,4	3,9	9,1	37,27	спекшийся не сплавленный
Ар 23-19-15	14	1,17	32,35				37,18	спекшийся не сплавленный
Ар 25-19-15	15	1,85	23,12	23,2	5,0	5,9	25,94	слипшийся
Ар 25-19-15	16	1,17	23,24				26,08	слипшийся
Ар 15-19-15	1	1,05	17,92	17,6	5,6	57,0	47,91	слипшийся
Ар 15-19-15	2	1,19	17,36				47,73	слипшийся
Ар 15-15	3	1,23	29,07	29,1	5,9	12,6	35,67	слипшийся
Ар 15-15	4	1,23	29,17				35,79	слипшийся
Ар 12-15	5	1,12	33,67	33,6	6,8	10,3	40,61	слипшийся
Ар 12-15	6	1,23	33,52				40,43	слипшийся
Ар 14-19-15	7	1,34	32,82	32,8	7,6	10,2	39,92	слипшийся
Ар 14-19-15	8	1,08	32,74				39,83	слипшийся
Ар 18-19-15	9	1,09	31,84	31,7	6,6	3,2	35,29	слипшийся
Ар 18-19-15	10	1,74	31,56				34,98	слипшийся
Ар 11-15	11	1,54	22,48	22,5	6,5	11,2	27,31	слипшийся
Ар 11-15	12	1,35	22,54				27,38	слипшийся
Ар 9-18а-15	9	1,24	28,18	28,1	7,7	4,3	32,02	спекшийся не сплавленный
Ар 9-18а-15	10	1,34	28,06				31,88	спекшийся не сплавленный
Ар 9-15	11	1,28	37,04	37,0	4,8	27,9	55,03	спекшийся не сплавленный
Ар 9-15	12	1,44	36,92				54,84	спекшийся не сплавленный
Ар 10-19-15	13	1,06	32,61	32,6	7,1	12,1	36,24	спекшийся не сплавленный
Ар 10-19-15	14	1,37	32,53				36,14	спекшийся не сплавленный
Ар 10-15	15	1,45	23,10	23,9	4,0	50,8	51,11	слипшийся
Ар 10-15	16	1,34	23,02				50,92	слипшийся

Продолжение таблицы А 1

Ар 7-19-15	6	1,20	28,53				39,88	слипшийся
Ар 6-15	7	1,07	34,17	34,1	6,3	2,5	36,86	слипшийся
Ар 6-15	8	1,10	34,05				36,74	слипшийся
Ар 7-19а-15	5	1,40	16,19	16,2	2,0	61,5	44,35	слипшийся
Ар 7-19а-15	7	0,95	16,29				44,63	слипшийся
Ар 2-18-15(2)	8	1,93	26,47	26,7	1,5	48,0	52,41	слипшийся
Ар 2-18-15(2)	6	1,72	26,91				53,24	слипшийся
Ар 3-19-15	13	1,14	33,54	33,6	3,8	3,4	36,14	Спекшийся не сплавленный
Ар 3-19-15	14	1,31	33,61				36,21	Спекшийся не сплавленный
Ар 2-18-15(1)	15	1,95	25,50	25,6	2,0	49,0	50,00	слипшийся
Ар 2-18-15(1)	16	1,93	25,70				50,39	слипшийся
Ар4-18а-15	5	1,13	21,09	21,5	2,6	44,0	39,49	слипшийся
Ар4-18а-15	7	1,12	21,87				40,95	слипшийся
Ар 34-19-15	8	0,89	24,26	24,4	4,4	18,4	32,41	Спекшийся не сплавленный
Ар 34-19-15	6	0,63	24,70				31,99	Спекшийся не сплавленный
Ар 23-15-2	13	1,33	25,17	25,1	1,8	44,9	47,22	слипшийся
Ар 23-15-2	14	1,30	25,02				46,94	слипшийся
Ар 23-15-1(1)	16	1,68	15,59	15,6	3,3	9,2	17,81	Спекшийся не сплавленный
Ар 23-15-1(1)	23	1,18	15,63				17,86	Спекшийся не сплавленный
Ар 20-19-15	5	1,67	15,21	15,3	1,6	66,9	48,28	слипшийся
Ар 20-19-15	7	1,34	15,49				49,17	слипшийся
Ар 15-19а-15	8	0,73	20,70	20,8	4,3	5,4	22,92	Спекшийся не сплавленный
Ар 15-19а-15	6	0,78	20,91				23,05	Спекшийся не

Продолжение таблицы А 1

Ар 13-19-15	13	1,20	12,14	12,8	4,2	62,9	36,89	Спекшийся не сплавленный
Ар 13-19-15	14	1,27	13,58				41,27	Спекшийся не сплавленный
Ар 4-19-15	16	2,14	14,45	14,9	1,6	64,3	42,37	слипшийся
Ар 4-19-15	23	2,01	15,41				45,19	слипшийся
Ар 3-18а-15	9	1,25	17,23	16,7	1,3	72,1	64,77	слипшийся
Ар 3-18а-15	10	1,35	16,29				61,24	слипшийся
Ар 2-15	11	1,36	12,02	12,1	1,5	73,8	48,68	слипшийся
Ар 2-15	12	1,48	12,13				49,11	слипшийся
Ар 16-19а-15	1	1,25	32,98	32,7	4,0	4,3	35,96	Спекшийся не сплавленный
Ар 16-19а-15	2	0,89	32,59				35,53	Спекшийся не сплавленный
Ар 16-19-15	3	1,07	34,74	39,6	4,5	4,7	38,26	Спекшийся не сплавленный
Ар 16-19-15	4	1,09	32,59				35,89	Спекшийся не сплавленный
Ар 17-18а-15	1	2,33	20,88	21,0	1,3	61,8	56,58	слипшийся
Ар 17-18а-15	2	1,83	21,13				57,26	слипшийся
Ар 33-19-15	3	0,81	30,24	30,7	3,5	4,6	32,90	Спекшийся не сплавленный
Ар 33-19-15	4	0,69	31,26				34,01	Спекшийся не сплавленный
Ар 32-19-15	5	1,01	33,34	33,3	3,6	3,5	35,88	Спекшийся не сплавленный
Ар 32-19-15	6	1,44	33,33				35,87	Спекшийся не сплавленный
Ар 31-19-15	7	1,10	30,54	30,3	3,8	3,7	33,01	Спекшийся не сплавленный
Ар 31-19-15	8	1,22	30,11				32,55	Спекшийся не сплавленный
Ар 30-19-15	9	0,89	27,46	27,5	3,5	5,9	30,31	Спекшийся не сплавленный
Ар 30-19-15	10	0,80	27,66				30,52	Спекшийся не сплавленный

Продолжение таблицы А 1

Ар 29-19-15	12	1,18	26,84				70,81	слипшийся
Ар 28-19-15(2)	13	0,97	29,00	29,1	3,6	4,5	31,55	Спекшийся не сплавленный
Ар 28-19-15(2)	14	0,93	29,20				31,77	Спекшийся не сплавленный
Ар 27-19-15	16	1,43	33,38	33,3	3,6	3,3	35,85	Спекшийся не сплавленный
Ар 27-19-15	23	1,21	33,34				35,81	Спекшийся не сплавленный
Ар 15-18а-15	1	1,02	33,14	32,8	4,0	7,0	37,25	Спекшийся не сплавленный
Ар 15-18а-15	2	1,01	32,52				36,51	Спекшийся не сплавленный
Ар 14-19а-15	3	1,21	31,22	31,5	4,7	3,4	33,95	Спекшийся не сплавленный
Ар 14-19а-15	4	0,83	31,71				34,51	Спекшийся не сплавленный
Ар 14-18а-15	5	1,03	24,77	25,0	4,5	5,7	27,58	Спекшийся не сплавленный
Ар 14-18а-15	6	1,32	25,37				28,22	Спекшийся не сплавленный
Ар 13-19а-15	7	1,21	22,93	22,4	5,4	10,1	27,12	слипшийся
Ар 13-19а-15	8	1,15	21,83				25,84	слипшийся
Ар 13-18а-15	9	1,44	31,99	32,1	3,8	14,3	39,64	Спекшийся не сплавленный
Ар 13-18а-15	10	1,63	32,29				39,48	Спекшийся не сплавленный
Ар 12-19а-15	11	1,19	16,05	17,2	4,7	23,6	22,34	слипшийся
Ар 12-19а-15	12	1,11	18,46				25,74	слипшийся
Ар 12-18а-15	13	2,02	28,79	28,1	1,3	69,6	98,74	порошкообразный
Ар 12-18а-15	14	2,08	29,51				101,40	порошкообразный
Ар 11-18а-15	16	1,31	37,49	37,4	3,4	10,3	43,42	Спекшийся не сплавленный
Ар 11-18а-15	23	1,30	37,42				43,34	Спекшийся не сплавленный

Продолжение таблицы А 1

Ар 10-19а-15	1	1,30	21,05	21,1	3,7	16,8	26,44	слипшийся
Ар 10-19а-15	2	1,09	21,28				26,72	слипшийся
Ар 10-18а-15	3	1,12	33,16	33,5	4,1	3,6	35,94	Спекшийся не сплавленный
Ар 10-18а-15	4	1,38	33,87				36,60	Спекшийся не сплавленный
Ар 6-18а-15	5	1,12	22,61	23,1	5,6	6,1	25,86	слипшийся
Ар 6-18а-15	6	1,29	23,65				26,24	слипшийся
Ар 8-19а-15	7	1,49	19,02	19,1	6,6	5,5	21,63	слипшийся
Ар 8-19а-15	8	1,41	19,14				21,87	слипшийся
Ар 8-19а-15(1)	9	1,60	16,81	15,8	6,8	16,0	21,20	слипшийся
Ар 8-19а-15(1)	10	1,85	14,83				19,88	слипшийся
Ар 8-18а-15	11	1,38	32,43	32,3	5,5	5,6	36,60	Слабо спекшийся
Ар 8-18а-15	12	1,19	32,22				36,82	Слабо спекшийся
Ар 7-18а-15	13	1,40	34,29	33,7	5,2	2,4	37,42	Спекшийся не сплавленный
Ар 7-18а-15	14	1,37	33,38				36,94	Спекшийся не сплавленный
Ар 6-19а-15	15	1,34	15,76	15,0	6,6	20,3	21,75	слипшийся
Ар 6-19а-15	16	1,39	14,41				19,89	слипшийся
Ар 5-19-15	1	1,40	27,6	26,9	3,7	26,5	39,55	слипшийся
Ар 5-19-15	2	1,64	26,07				37,39	слипшийся
Ар 5-19а-15	3	1,39	16,74	16,9	5,8	10,7	20,42	слипшийся
Ар 5-19а-15	4	1,53	17,09				20,56	слипшийся
Ар 5-18-15	5	1,59	36,45	36,7	1,3	47,6	71,33	Слабо спекшийся



Продолжение таблицы А 1

Ap 4-18-15	7	1,07	33,17	33,0	4,0	7,2	37,20	Спекшийся не сплавленный
Ap 4-18-15	8	1,17	33,85				36,88	Спекшийся не сплавленный
Ap 3-19a-15	1	1,12	18,27	18,0	6,6	3,5	20,32	слипшийся
Ap 3-19a-15	2	0,96	17,92				19,93	слипшийся
Ap 2-19a-15	3	1,19	31,87	31,9	6,3	3,2	35,21	Слабо спекшийся
Ap 2-19a-15	4	1,64	31,93				35,28	Слабо спекшийся
Ap 2-19-15	5	1,21	27,41	28,0	5,4	12,0	31,18	Слабо спекшийся
Ap 2-19-15	6	1,65	29,62				35,86	Слабо спекшийся
Ap 2-18a-15	7	2,16	24,16	23,5	4,1	25,5	34,32	слипшийся
Ap 2-18a-15	8	2,00	23,07				31,35	слипшийся
Ap 3-18-15	9	1,62	32,66	32,8	4,8	5,2	36,28	Слабо спекшийся
Ap 3-18-15	10	1,68	33,09				36,76	Слабо спекшийся
Ap 2-17-15	11	1,44	38,70	38,5	3,9	3,2	41,66	Спекшийся не сплавленный
Ap 2-17-15	12	1,41	38,21				41,13	Спекшийся не сплавленный
Ap 1-19a-15	13	2,07	12,46	12,5	1,4	77,4	58,77	порошкообразный
Ap 1-19a-15	14	1,89	12,58				59,33	порошкообразный
Ap 1-18a-15	15	1,22	11,31	11,3	2,1	71,6	43,00	порошкообразный
Ap 1-18a-15	16	1,24	11,25				42,77	порошкообразный
Ap 18-19a-15	1	1,10	30,88	30,5	3,4	15,2	37,93	слипшийся
Ap 18-19a-15	2	1,52	30,22				37,13	слипшийся
Ap 19-19-15	3	1,20	31,01	31,2	3,3	10,9	36,14	слипшийся

Продолжение таблицы А 1

Ар 19-19а-15	5	0,99	18,13	18,2	1,8	56,0	42,96	слипшийся
Ар 19-19а-15	6	0,95	18,19				43,10	слипшийся
Ар 21-19-15	7	1,11	30,47	30,5	3,3	10,5	35,34	слипшийся
Ар 21-19-15	8	1,04	30,47				35,34	слипшийся
Ар 24-19-15	9	1,18	33,83	34,0	4,1	3,6	37,46	Слабо спекшийся
Ар 24-19-15	10	1,19	33,98				36,81	Слабо спекшийся
Ар 26-19-15	11	1,24	26,83	26,8	3,9	8,3	30,55	Слабо спекшийся
Ар 26-19-15	12	1,26	26,74				30,45	Слабо спекшийся
Ар 4-17-15	13	1,17	35,91	35,9	4,7	3,9	39,27	слипшийся
Ар 4-17-15	14	1,22	35,88				39,25	слипшийся
Ар 1-17-15	15	1,20	19,73	19,4	1,6	65,1	59,19	порошкообразный
Ар 1-17-15	16	1,12	19,19				57,57	порошкообразный

Таблица А2- Определение зольности

№ пробы	№ чашечки	Навеска, г.	Вес золы г	Аа, %	Аа ср, %	Wa, %	Ad, %
Ap 4-15	1	1,14	0,25	21,54	21,7	6,9	23,3
Ap 4-15	2	1,33	0,29	21,86			
Ap 7-15	4	1,28	0,11	8,30	8,4	8,0	9,1
Ap 7-15	5	1,23	0,10	8,48			
Ap 13-15	6	1,24	0,09	7,51	7,6	8,8	8,3
Ap 13-15	7	1,17	0,08	7,62			
Ap 14-15	8	1,13	0,05	4,53	4,5	8,2	4,9
Ap 14-15	9	1,16	0,05	4,49			
Ap 21-15	23	1,15	0,09	8,06	8,7	8,9	8,9
Ap 21-15	24	1,16	0,09	8,11			
Ap 25-15	25	1,21	0,09	8,25	8,3	8,9	9,1
Ap 25-15	26	1,58	0,13	8,34			
Ap 17-15	10	1,37	0,52	37,56	37,6	5,8	39,9
Ap 17-15	11	1,50	0,56	37,63			
Ap 19-15	21	1,42	0,10	6,69	6,7	8,8	7,3
Ap 19-15	22	1,33	0,09	6,67			
Ap 26-15	27	1,32	0,08	6,24	6,3	7,9	7,7
Ap 26-15	28	1,29	0,08	6,26			
Ap 28-15	29	1,23	0,06	5,35	5,4	9,8	5,4
Ap 28-15	30	1,30	0,07	5,36			
Ap 3-15	4	1,73	0,45	33,41	33,2	3,8	33,2
Ap 3-15	5	1,41	0,46	32,94			
Ap 1-19-5	1	1,04	0,90	86,12	86,2	1,4	87,4
Ap 1-19-5	2	1,22	1,05	86,24			
Ap 27-15	12	1,62	0,04	2,64	2,6	5,3	2,7
Ap 27-15	17	1,31	0,03	2,63			
Ap 35-19-15	23	1,58	0,08	4,92	4,9	4,5	5,1
Ap 35-19-15	24	1,37	0,07	4,89			
Ap 23-19-15	27	1,18	0,11	9,10	9,1	3,9	9,5
Ap 23-19-15	28	1,31	0,12	9,13			
Ap 25-19-15	29	1,36	0,08	5,92	5,95	5,0	6,2
Ap 25-19-15	30	1,03	0,06	5,98			
Ap 15-19-15	25	1,46	0,83	57,02	57,0	5,6	60,4
Ap 15-19-15	26	1,61	0,92	57,03			
Ap 15-15	23	1,20	0,151	12,54	12,6	5,9	13,4
Ap 15-15	24	1,19	0,150	12,66			
Ap 12-19-15	4	1,57	0,09	5,77	5,7	6,7	6,1
Ap 12-19-15	5	1,31	0,07	5,68			

Продолжение таблицы А 2

Ар 14-19-15	22	1,25	0,127	10,14			
Ар 18-19-15	23	1,37	0,04	3,05	3,2	6,6	3,4
Ар 18-19-15	24	1,36	0,04	3,25			
Ар 11-15	29	1,42	0,15	11,17	11,2	6,5	12,0
Ар 11-15	30	1,45	0,16	11,15			
Ар 9-18а-15	23	1,68	0,07	4,33	4,3	7,7	4,7
Ар 9-18а-15	24	1,23	0,05	4,27			
Ар 9-15	21	1,50	0,42	28,00	27,9	4,8	29,3
Ар 9-15	22	1,52	0,42	27,86			
Ар 10-19-15	27	1,67	0,20	12,09	12,1	7,7	13,1
Ар 10-19-15	28	1,42	0,17	12,11			
Ар 10-15	25	1,33	0,67	50,79	50,8	4,0	52,9
Ар 10-15	26	1,29	0,65	50,77			
Ар 7-19-15	10	1,23	0,42	34,51	34,5	4,0	35,9
Ар 7-19-15	11	1,51	0,51	34,41			
Ар 6-15	8	1,38	0,04	2,56	2,5	6,3	2,7
Ар 6-15	9	1,26	0,03	2,54			
Ар 7-19а-15	10	1,23	0,43	34,51	34,5	4,0	35,9
Ар 7-19а-15	11	1,51	0,52	34,41			
Ар 18-19-15	23	1,38	0,04	3,05	3,2	6,6	3,4
Ар 18-19-15	24	1,36	0,04	3,25			
Ар 12-19-15	4	1,58	0,09	5,77	5,7	6,7	6,1
Ар 12-19-15	5	1,31	0,07	5,68			
Ар 23-15-3	6	1,44	0,09	6,45	6,5	7,0	7,0
Ар 23-15-3	7	1,18	0,08	6,59			
Ар 23-15	8	1,42	0,19	13,67	13,6	6,4	14,5
Ар 23-15	9	1,18	0,16	13,62			
Ар 22-15	10	1,14	0,06	5,36	5,4	6,9	5,8
Ар 22-15	11	1,01	0,05	5,36			
Ар 1-17-15	1	1,38	0,89	65,11	65,1	1,6	66,2
Ар 1-17-15	2	1,49	0,97	65,17			
Ар 1-18а-15	4	1,36	0,97	71,63	71,6	2,1	72,9
Ар 1-18а-15	5	1,49	1,07	71,63			
Ар 1-19а-15	6	1,43	1,11	77,47	77,4	1,4	78,5
Ар 1-19а-15	7	1,37	1,06	77,41			
Ар 2-17-15	8	1,32	0,04	3,24	3,2	3,9	3,3
Ар 2-17-15	9	1,09	0,03	3,12			
Ар 2-18а-15	10	1,51	0,39	25,67	25,5	4,1	26,6
Ар 2-18а-15	11	1,13	0,13	11,77			
Ар 2-19-15	21	1,31	0,15	11,74	12,0	5,4	12,7
Ар 2-19-15	22	1,04	0,13	12,29			

Продолжение таблицы А 2

Ар 2-19а-15	24	1,51	0,05	3,21			
Ар 3-18-15	25	1,41	0,07	5,18	5,2	4,8	5,5
Ар 3-18-15	26	1,35	0,07	5,19			
Ар 3-19а-15	27	1,23	0,04	3,57	3,5	6,6	3,7
Ар 3-19а-15	28	1,05	0,04	3,54			
Ар 4-17-15	29	1,27	0,05	3,89	3,9	4,7	4,1
Ар 4-17-15	30	1,22	0,05	3,87			
Ар 5-18-15	1	1,49	0,71	47,69	47,6	1,3	48,2
Ар 5-18-15	2	1,47	0,7	44,55			
Ар 5-19а-15	4	1,04	0,11	10,72	10,7	5,8	11,4
Ар 5-19а-15	5	1,35	0,14	10,72			
Ар 5-19-15	6	1,39	0,37	26,59	26,5	3,7	27,5
Ар 5-19-15	7	1,49	0,39	26,48			
Ар 6-18а-15	8	1,29	0,08	6,09	6,1	5,6	6,5
Ар 6-18а-15	9	1,26	0,08	6,09			
Ар 6-19-15	10	1,23	0,09	7,48	7,5	4,5	7,9
Ар 6-19-15	11	1,02	0,08	7,57			
Ар 6-19а-15	21	1,37	0,28	20,23	20,3	6,6	21,7
Ар 6-19а-15	22	1,18	0,24	20,37			
Ар 7-18а-15	23	1,09	0,03	2,40	2,4	5,2	2,5
Ар 7-18а-15	24	1,36	0,03	2,38			
Ар 8-18а-15	25	1,29	0,07	5,62	5,6	5,5	5,9
Ар 8-18а-15	26	1,20	0,07	5,61			
Ар 8-19а-15	27	1,33	0,07	5,53	5,5	6,6	5,9
Ар 8-19а-15	28	1,33	0,07	5,52			
Ар 8-19а-15/1	29	1,43	0,23	16,03	16,0	6,8	17,2
Ар 8-19а-15/1	30	1,46	0,23	15,95			
Ар 10-18а-15	1	1,24	0,04	3,59	3,6	4,1	3,8
Ар 10-18а-15	2	1,27	0,05	3,60			
Ар 10-19а-15	4	1,16	0,19	16,85	16,8	3,7	17,4
Ар 10-19а-15	5	1,10	0,19	16,85			
Ар 11-18а-15	6	1,69	0,17	10,21	10,3	3,4	10,7
Ар 11-18а-15	7	1,21	0,12	10,30			
Ар 12-18а-15	8	1,41	0,98	69,64	69,6	1,3	70,3
Ар 12-18а-15	9	1,68	1,17	69,48			
Ар 12-19а-15	10	1,37	0,32	23,54	23,6	4,7	24,8
Ар 12-19а-15	11	1,17	0,28	23,62			
Ар 13-18а-15	21	1,42	0,20	14,31	14,3	3,8	14,9
Ар 13-18а-15	22	1,48	0,21	14,25			

Продолжение таблицы А 2

Ар 13-19а-15	24	1,26	0,13	10,08			
Ар 14-18а-15	25	1,44	0,08	5,73	5,7	4,5	6,0
Ар 14-18а-15	26	1,08	0,06	5,72			
Ар 15-18а-15	29	1,37	0,1	7,04	7,0	4,0	7,3
Ар 15-18а-15	30	1,34	0,09	7,01			
Ар 14-19а-15	27	1,24	0,04	3,42	3,4	4,7	3,6
Ар 14-19а-15	28	1,13	0,04	3,44			
Ар 15-19а-15	1	1,44	0,08	5,23	5,2	4,3	5,4
Ар 15-19а-15	2	1,65	0,09	5,21			
Ар 16-19-15	4	1,42	0,06	4,48	4,5	4,5	4,7
Ар 16-19-15	5	1,40	0,06	4,45			
Ар 16-19а-15	6	1,38	0,06	4,30	4,3	4,0	4,5
Ар 16-19а-15	7	1,10	0,04	4,26			
Ар 17-18а-15	8	1,62	1,10	68,14	68,1	1,3	69,0
Ар 17-18а-15	9	1,40	0,69	68,15			
Ар 18-19а-15	10	1,39	0,21	15,22	15,2	3,4	15,7
Ар 18-19а-15	11	1,09	0,17	15,23			
Ар 19-19-15	21	1,55	0,17	10,97	10,9	3,3	11,5
Ар 19-19-15	22	1,21	0,13	10,85			
Ар 19-19а-15	23	1,06	0,59	55,95	56,0	1,8	57,6
Ар 19-19а-15	24	1,07	0,60	56,09			
Ар 21-19-15	25	1,34	0,14	10,55	10,5	3,3	10,4
Ар 21-19-15	26	1,23	0,13	10,54			
Ар 24-19-15	27	1,43	0,05	3,59	3,6	4,1	3,8
Ар 24-19-15	28	1,43	0,05	3,59			
Ар 26-19-15	29	1,43	0,12	8,39	8,3	3,9	8,4
Ар 26-19-15	30	1,16	0,09	8,15			
Ар 27-19-15	21	1,52	0,05	3,23	3,3	3,6	3,4
Ар 27-19-15	22	1,54	0,05	3,43			
Ар 28-19-15	23	1,41	0,06	4,54	4,5	3,6	4,
Ар 28-19-15	24	1,27	0,06	4,56			
Ар 29-19-15	25	1,43	0,86	60,57	60,7	1,4	61,6
Ар 29-19-15	26	1,68	1,02	60,85			
Ар 30-19-15	27	1,25	0,07	5,81	5,9	3,5	6,1
Ар 30-19-15	28	0,98	0,06	5,87			
Ар 31-19-15	29	1,56	0,06	3,74	3,7	3,8	3,8
Ар 31-19-15	30	1,08	0,04	3,64			
Ар 32-19-15	1	1,19	0,04	3,48	3,5	3,6	3,6
Ар 32-19-15	2	1,07	0,04	3,47			
Ар 33-19-15	4	1,26	0,06	4,58	3,6	3,5	3,8

Продолжение таблицы А 2

Ар 2-15	2	1,36	0,99	72,71			
Ар 3-18а-15	4	1,23	0,89	71,22	71,2	1,3	72,1
Ар 3-18а-15	5	1,18	0,84	71,14			
Ар 4-13-15	6	1,52	0,96	63,32	63,3	1,6	64,3
Ар 4-13-15	7	1,15	0,73	63,22			
Ар 13-19-15	8	1,65	1,04	62,84	62,9	4,2	65,7
Ар 13-19-15	9	1,75	1,10	62,97			
Ар 20-19-15	10	1,33	0,87	65,75	65,8	1,6	66,9
Ар 20-19-15	11	1,32	0,87	65,82			
Ар 23-15-2	12	1,22	0,53	43,96	44,1	1,8	44,9
Ар 23-15-2	17	1,25	0,55	44,24			
Ар 34-19-15	25	1,27	0,23	18,47	18,4	4,4	19,2
Ар 34-19-15	26	1,14	0,21	18,42			
Ар 4-18а-15	27	1,52	0,67	44,31	44,0	2,6	45,2
Ар 4-18а-15	28	1,80	0,79	13,77			
Ар 23-15-1	1	1,44	0,13	8,96	8,9	3,3	9,2
Ар 23-15-1	2	1,26	0,11	8,83			
Ар 3-19-15	10	1,87	0,07	3,48	3,4	3,8	3,5
Ар 3-19-15	11	1,43	0,05	3,43			
ОС-4-15	30	1,54	0,47	30,88			
Ар 7-19а-15	1	1,02	0,63	61,56	61,5	2,0	62,8
Ар 7-19а-15	22	1,19	0,73	61,40			
Ар 22-19-15	25	1,28	0,66	51,15	51,4	2,1	52,5
Ар 22-19-15	26	1,42	0,73	51,56			
Ар 2-18-15(1)	27	1,35	0,65	48,10	49,0	1,7	49,8
Ар 2-18-15(1)	28	1,56	0,76	49,90			
Ар 2-18-15(2)	29	1,30	0,63	47,97	48,0	1,5	48,7
Ар 2-18-15(2)	30	1,45	0,70	48,09			

Таблица А3- Определение влажности

№ пробы	№	Навеска, г.	контр. взес Г.	убыль г	W,%	Wcp. , %
Ap 4-15	5	1,31	26,75	0,09	6,93	6,9
Ap 4-15	14	1,21	26,64	0,08	6,91	
Ap 7-15	25	1,46	26,00	0,12	7,94	8,0
Ap 7-15	34	1,56	26,74	0,13	8,10	
Ap 13-15	3(3)	1,48	15,19	0,13	8,81	8,8
Ap 13-15	17(9)	1,15	15,61	0,10	8,72	
Ap 14-15	2(18)	1,35	14,18	0,11	8,30	8,2
Ap 14-15	379	0,85	17,99	0,07	8,01	
Ap 21-15	1(3)	1,20	14,05	0,10	8,84	8,9
Ap 21-15	7(12)	1,119	14,52	0,10	9,02	
Ap 25-15	1(9)	1,41	14,35	0,13	9,11	9,0
Ap 25-15	3(3)	0,89	13,82	0,07	9,83	
Ap 17-15	8(8)	1,19	13,93	0,06	5,79	5,8
Ap 17-15	18(1)	1,73	14,62	0,09	5,72	
Ap 19-15	15(4)	1,05	14,67	0,09	8,77	8,9
Ap 19-15	20(20)	1,27	14,48	0,11	8,92	
Ap 26-15	16(14)	1,30	14,61	0,10	8,03	7,9
Ap 26-15	1(1)	1,08	14,30	0,08	7,85	
Ap 28-15	4(2)	1,63	13,79	0,16	9,78	9,8
Ap 28-15	14(7)	1,00	13,78	0,09	9,73	
Ap 3-15	2(18)	1,41	14,29	0,05	3,90	3,8
Ap 3-15	373(345)	1,07	18,24	0,04	3,74	
Ap 1-19-15	20(16)	1,40	15,93	0,02	1,52	1,4
Ap 1-19-15	18(1)	0,97	13,95	0,01	1,35	
Ap 27-15	4(2)	0,84	13,11	0,04	5,39	5,3
Ap 27-15	16(14)	1,36	14,70	0,07	5,19	
Ap 35-19-15	14(7)	1,55	14,37	0,07	4,54	4,5
Ap 35-19-15	7(12)	1,13	14,52	0,05	4,52	
Ap 23-19-15	1(9)	1,51	14,51	0,06	4,00	3,9
Ap 23-19-15	15(4)	0,76	14,44	0,03	3,80	
Ap 25-19-15	1(3)	0,97	13,86	0,04	4,90	5,0
Ap 25-19-15	1(1)	1,18	14,42	0,06	5,14	



Продолжение таблицы А 3

Ап 15-19-15	18(1)	1,82	13,79	0,10	5,67	5,6
Ап 15-19-15	3(11)	0,91	13,79	0,05	5,53	
Ап 15-15	2(18)	1,19	17,98	0,07	6,10	5,9
Ап 15-15	375(345)	0,82	14,06	0,04	5,71	
Ап 12-19-15	8(8)	1,23	13,95	0,08	6,42	6,7
Ап 12-19-15	13(20)	1,46	18,18	0,10	7,02	
Ап 14-19-15	20(19)	0,96	15,56	0,07	7,62	7,6
Ап 14-19-15	17(9)	1,13	15,60	0,08	7,62	
Ап 18-19-15	1(9)	1,06	14,05	0,06	6,37	6,6
Ап 18-19-15	16(14)	1,08	14,41	0,07	6,77	
Ап 11-15	1(3)	1,24	14,12	0,08	6,52	6,5
Ап 11-15	1(1)	1,19	14,42	0,07	6,44	
Ап 9-18а-15	4(2)	1,02	13,26	0,07	7,71	7,7
Ап 9-18а-15	14(7)	1,09	13,89	0,08	7,61	
Ап 9-15	7(12)	1,03	14,42	0,04	4,80	4,8
Ап 9-15	20(20)	1,20	14,47	0,05	4,70	
Ап 10-19-15	15(4)	1,51	15,11	0,11	7,74	7,7
Ап 10-19-15	16(14)	1,04	14,37	0,08	7,58	
Ап 10-15	1(9)	1,20	14,22	0,04	4,04	4,0
Ап 10-15	3(3)	0,97	13,94	0,03	3,99	
Ап 7-19-15	12(4)	0,95	14,04	0,03	3,98	4,0
Ап 7-19-15	20(19)	0,95	15,58	0,03	4,06	
Ап 6-15	3(11)	0,92	14,18	0,05	6,32	6,3
Ап 6-15	13(20)	0,93	17,69	0,05	6,25	
Ап 7-19а-15	1	0,60	13,88	0,01	1,95	1,98
Ап 7-19а-15	7	0,70	13,57	0,01	2,0	

Продолжение таблицы А 3

Ап 2-18-15(2)	3	0,94	13,88	0,01	1,51	
Ап 3-19-15	9	1,14	15,65	0,04	3,81	3,8
Ап 3-19-15	11	1,34	14,91	0,05	3,84	
Ап 2-18-15(1)	14	1,50	14,88	0,02	1,71	1,7
Ап 2-18-15(1)	2	1,20	13,49	0,02	1,68	
Ап4-18а-15	19	1,54	16,18	0,04	2,60	2,6
Ап4-18а-15	8	1,71	14,47	0,04	2,59	
Ап 34-19-15	1	0,90	13,85	0,04	4,45	4,4
Ап 34-19-15	4	0,92	14,00	0,04	4,43	
Ап 23-15-2	18	1,10	14,02	0,02	1,88	1,8
Ап 23-15-2	34	0,63	17,82	0,01	1,71	
Ап 23-15-1(1)	16	0,96	15,48	0,03	3,29	3,3
Ап 23-15-1(1)	20	0,84	17,63	0,02	3,28	
Ап 20-19-15	2	1,32	13,61	0,02	1,57	1,6
Ап 20-19-15	3	1,13	14,13	0,02	1,59	
Ап 15-19а-15	11	1,82	14,71	0,10	5,67	5,6
Ап 15-19а-15	1	0,91	14,49	0,05	5,53	
Ап 13-19-15	9	2,24	15,20	0,09	4,14	4,2
Ап 13-19-15	7	2,54	15,31	0,10	4,31	
Ап 4-19-15	12	0,81	14,23	0,01	1,53	1,6
Ап 4-19-15	20	1,22	14,52	0,02	1,65	

Продолжение таблицы А 3

Ар 3-18а-15	14	1,30	14,69	0,01	1,28	
Ар 2-15	4	2,07	15,74	0,03	1,53	1,5
Ар 2-15	3	1,24	14,18	0,02	1,45	
Ар 16-19а-15	2	1,53	13,78	0,06	4,05	4,0
Ар 16-19а-15	1	1,08	14,34	0,04	3,96	
Ар 16-19-15	24	1,46	14,72	0,06	4,5	4,5
Ар 16-19-15	9	0,87	13,89	0,04	4,46	
Ар 17-18а-15	14	2,29	15,67	0,03	1,33	1,3
Ар 17-18а-15	3	1,66	14,60	0,02	1,20	
Ар 33-19-15	4	1,16	14,82	0,04	3,51	3,5
Ар 33-19-15	7	0,99	13,84	0,03	3,41	
Ар 32-19-15	20	1,38	14,65	0,05	3,53	3,6
Ар 32-19-15	12	1,15	14,55	0,04	3,66	
Ар 31-19-15	1	1,52	14,45	0,05	3,74	3,8
Ар 31-19-15	18	1,43	14,31	0,05	3,83	
Ар 30-19-15	11	1,35	14,92	0,04	3,56	3,5
Ар 30-19-15	16	0,89	15,41	0,03	3,49	
Ар 29-19-15	9	3,02	17,53	0,04	1,43	1,4
Ар 29-19-15	34	1,64	18,82	0,02	1,37	
Ар 28-19-15(2)	19	1,49	16,05	0,05	3,57	3,60
Ар 28-19-15(2)	20	0,72	17,70	0,03	3,53	
Ар 27-19-15	8	1,55	14,30	0,05	3,57	3,6

Продолжение таблицы А 3

Ap 15-18a-15	20	1,44	18,19	0,06	4,07	4,0
Ap 15-18a-15	21	1,12	14,0	0,04	4,02	
Ap 14-19a-15	19	1,13	15,75	0,05	4,83	4,7
Ap 14-19a-15	18	0,82	13,72	0,03	4,65	
Ap 14-18a-15	16	1,00	15,51	0,04	4,42	4,5
Ap 14-18a-15	17	1,17	18,33	0,05	4,52	
Ap 13-19a-15	4	1,24	14,30	0,06	5,26	5,4
Ap 13-19a-15	11	1,18	14,74	0,06	5,6	
Ap 13-18a-15	9	1,07	15,59	0,04	3,78	3,8
Ap 13-18a-15	8	1,10	13,86	0,04	3,86	
Ap 12-19a-15	1	1,09	14,34	0,05	4,67	4,6
Ap 12-19a-15	14	1,25	14,60	0,06	4,68	
Ap 12-18a-15	20	1,49	14,78	0,02	1,32	1,3
Ap 12-18a-15	4	2,02	15,70	0,02	1,20	
Ap 11-18a-15	3	1,55	14,46	0,05	3,43	3,3
Ap 11-18a-15	2	1,09	13,37	0,03	3,29	
Ap 10-19a-15	3	1,82	14,14	0,05	2,86	3,6
Ap 10-19a-15	9	1,10	14,12	0,04	4,44	
Ap 10-18a-15	12	1,74	15,10	0,07	4,10	4,1
Ap 10-18a-15	7	1,22	14,05	0,05	4,15	
Ap 6-18a-15	8	0,99	13,74	0,06	5,43	5,5

Продолжение таблицы А 3

Ар 8-19а-15	12	1,27	14,62	0,08	6,58	6,6
Ар 8-19а-15	4	1,80	14,83	0,08	6,67	
Ар 8-19а-15(1)	7	1,57	14,76	0,10	6,84	6,8
Ар 8-19а-15(1)	1	1,21	14,09	0,08	6,77	
Ар 8-18а-15	14	1,70	15,01	0,09	5,51	5,5
Ар 8-18а-15	3	0,97	13,93	0,05	5,57	
Ар 7-18а-15	7	1,49	14,57	0,09	5,07	5,2
Ар 7-18а-15	9	1,22	14,13	0,06	5,31	
Ар 6-19а-15	20	1,50	14,72	0,10	6,70	6,6
Ар 6-19а-15	2	1,23	13,46	0,08	6,59	
Ар 5-19-15	19	1,34	15,97	0,05	3,70	3,7
Ар 5-19-15	4	0,88	13,97	0,03	3,74	
Ар 5-19а-15	1	1,54	14,44	0,08	5,77	5,7
Ар 5-19а-15	34	1,06	18,21	0,06	5,73	
Ар 5-18-15	11	1,48	15,08	0,02	1,33	1,3
Ар 5-18-15	16	1,62	16,15	0,02	1,33	
Ар 4-18-15	3	1,78	14,75	0,04	2,17	2,1
Ар 4-18-15	20	0,80	14,10	0,02	2,02	
Ар 3-19а-15	1	1,30	14,21	0,08	6,60	6,5
Ар 3-19а-15	4	0,95	14,01	0,06	6,52	
Ар 2-19а-15	18	0,84	15,24	0,05	6,24	6,3

Продолжение таблицы А 3

Ап 2-19-15	19	0,79	15,42	0,04	5,39	5,4
Ап 2-19-15	9	1,08	15,58	0,06	5,47	
Ап 2-18а-15	3	1,18	14,09	0,04	3,82	4,1
Ап 2-18а-15	14	0,84	14,21	0,03	4,38	
Ап 3-18-15	8	0,65	13,42	0,03	4,30	4,8
Ап 3-18-15	34	1,19	18,33	0,06	5,45	
Ап 2-17-15	7	1,08	13,92	0,04	3,87	3,8
Ап 2-17-15	4	14,71	14,72	0,04	3,84	
Ап 1-19а-15	1	1,33	14,61	0,02	1,40	1,4
Ап 1-19а-15	12	1,38	14,79	0,02	1,49	
Ап 1-18а-15	1	0,71	13,97	0,05	6,36	6,4
Ап 1-18а-15	2	0,78	13,04	0,05	6,42	
Ап 18-19а-15	3	1,28	14,25	0,04	3,34	3,4
Ап 18-19а-15	12	1,85	15,22	0,06	3,54	
Ап 19-19-15	11	1,26	14,83	0,04	3,27	3,3
Ап 19-19-15	19	1,14	15,77	0,03	3,30	
Ап 19-19а-15	16	1,17	15,70	0,02	1,84	1,8
Ап 19-19а-15	9	1,30	15,83	0,02	1,85	
Ап 21-19-15	8	0,92	13,83	0,03	3,31	3,3
Ап 21-19-15	20	0,99	17,78	0,03	3,26	
Ап 24-19-15	2	1,59	18,64	0,06	4,15	4,1

Продолжение таблицы А 3

Ар 26-19-15	34	1,49	18,64	0,06	3,94	3,9
Ар 26-19-15	4	0,80	13,89	0,03	3,941	
Ар 4-17-15	11	0,78	14,36	0,03	4,69	4,7
Ар 4-17-15	20	0,89	17,66	0,04	4,70	
Ар 1-17-15	2	1,58	13,86	0,02	1,72	1,6
Ар 1-17-15	9	1,68	14,71	0,02	1,57	

Приложение Б

Рисунок Б1 - Зависимость минеральных прослоек на свойства угля пласта 17

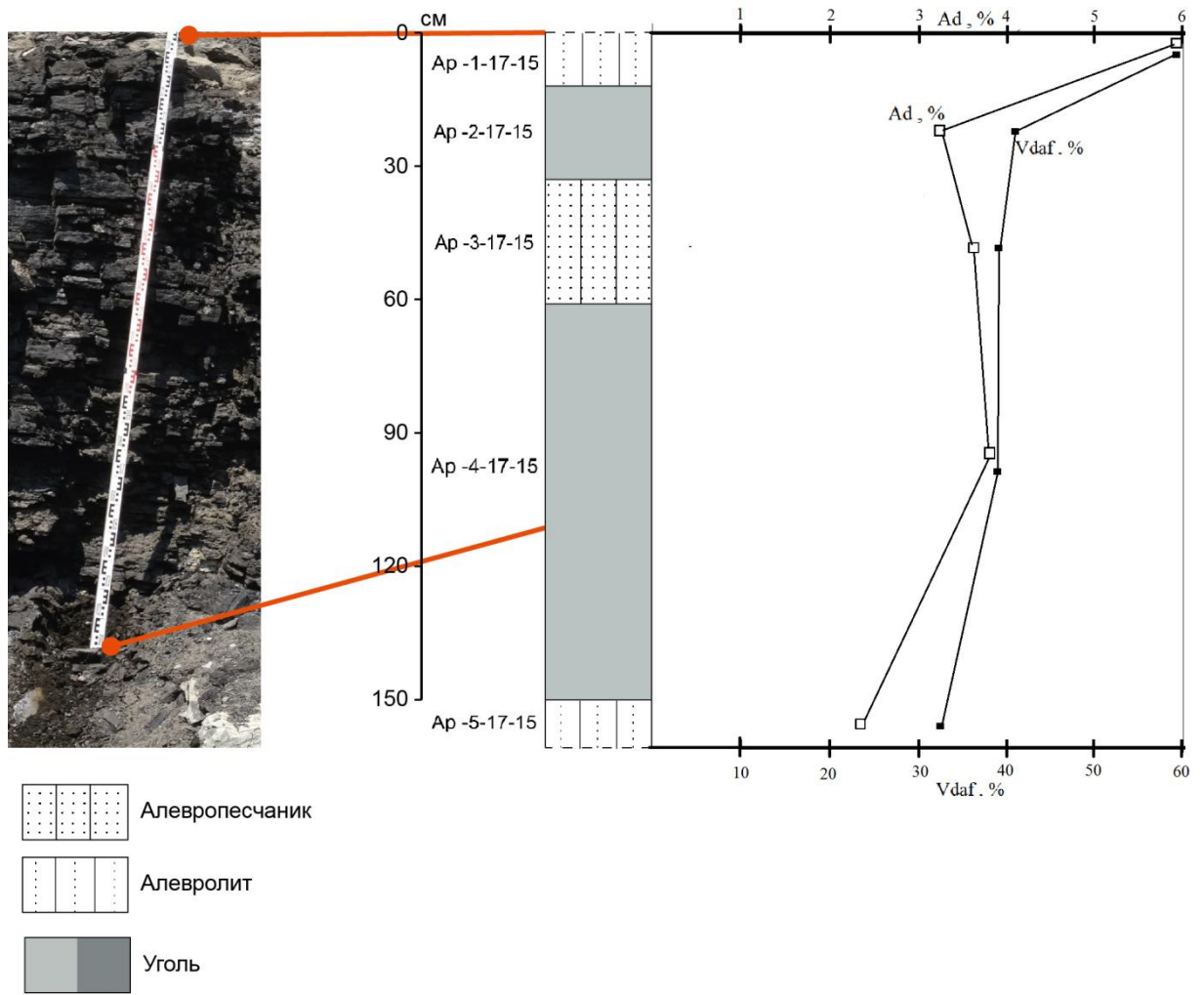




Рисунок Б2 - Зависимость минеральных прослоек на свойства угля пласта 18

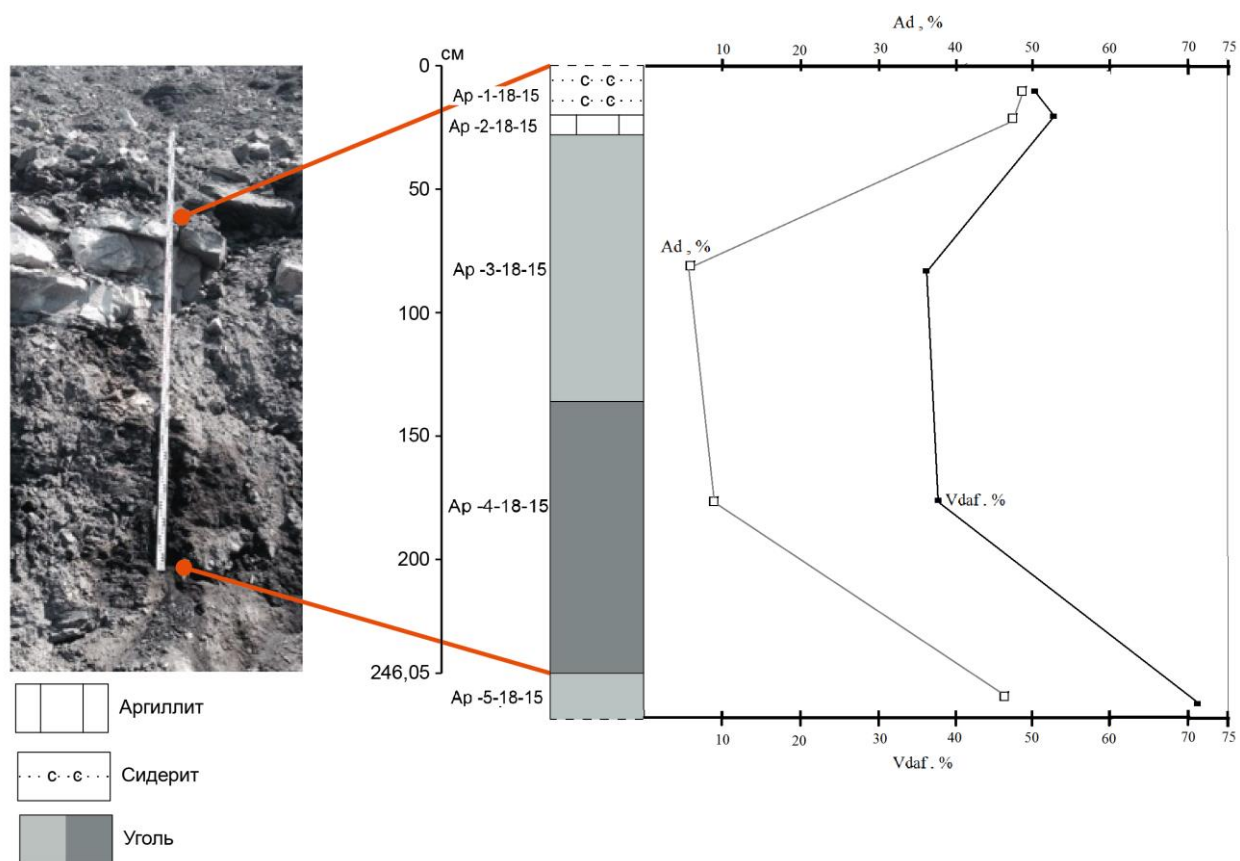


Рисунок БЗ- Зависимость минеральных прослоек на свойства угля пласта 18<sup>а</sup>

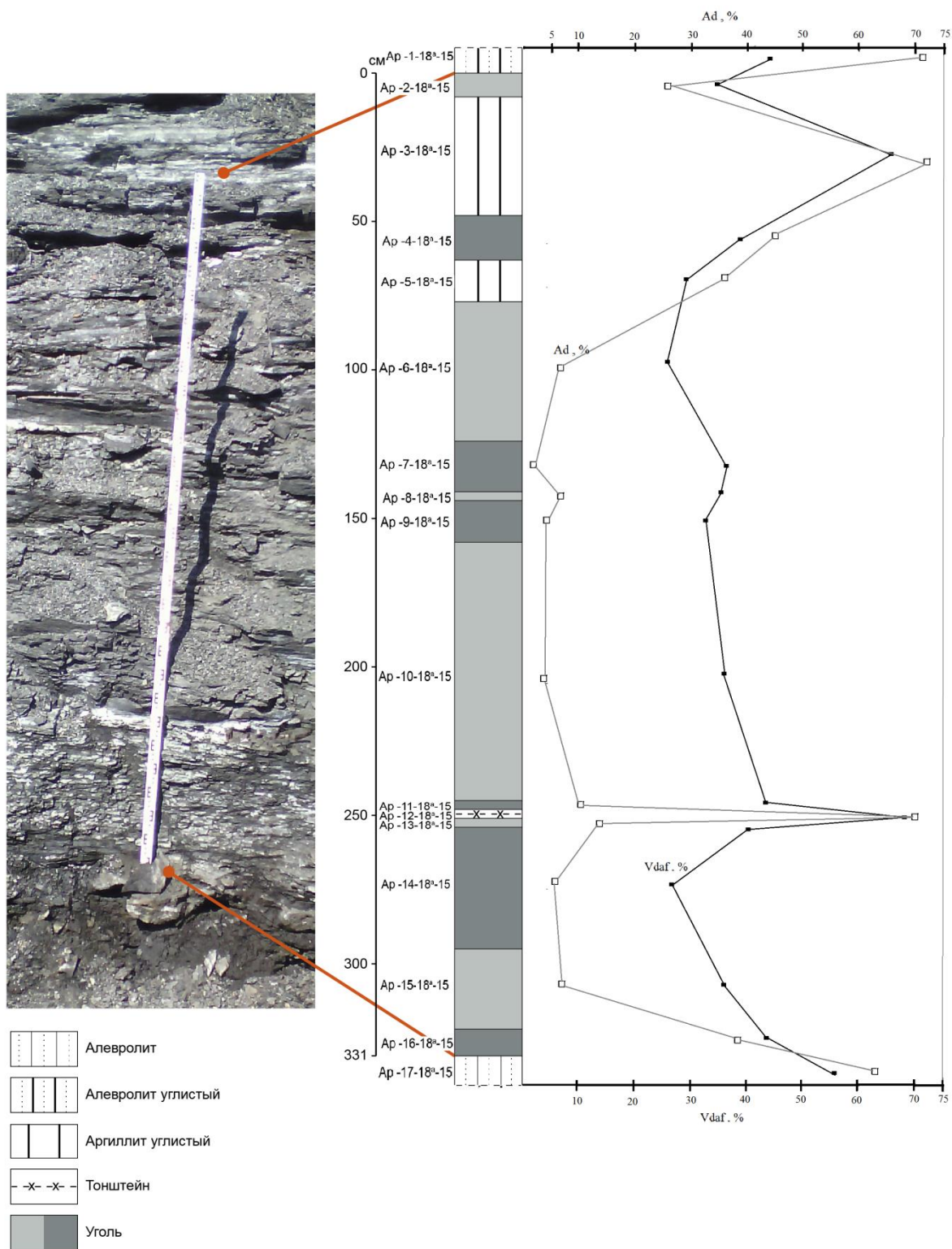


Рисунок Б4- Зависимость минеральных прослоек на свойства угля пласта 19

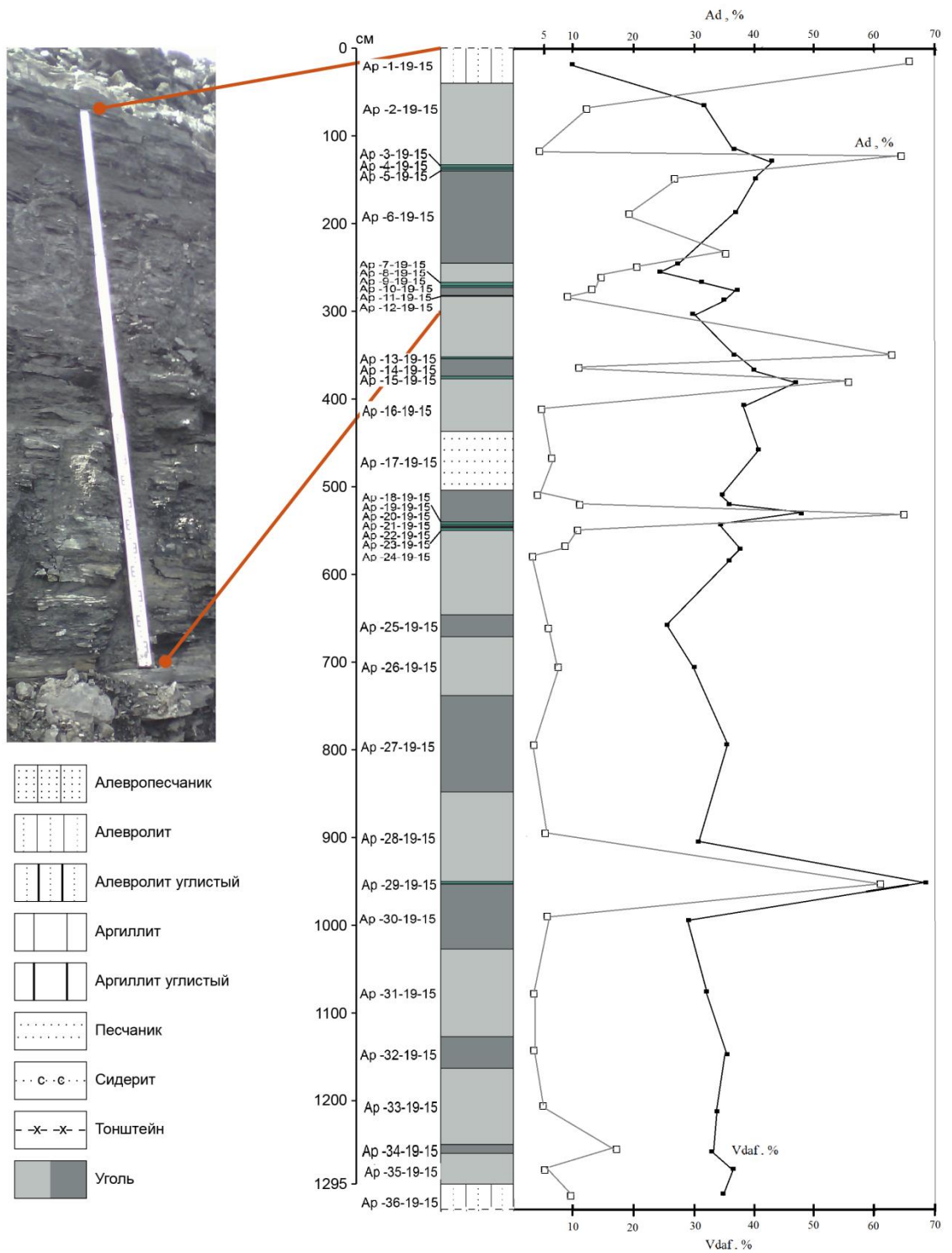
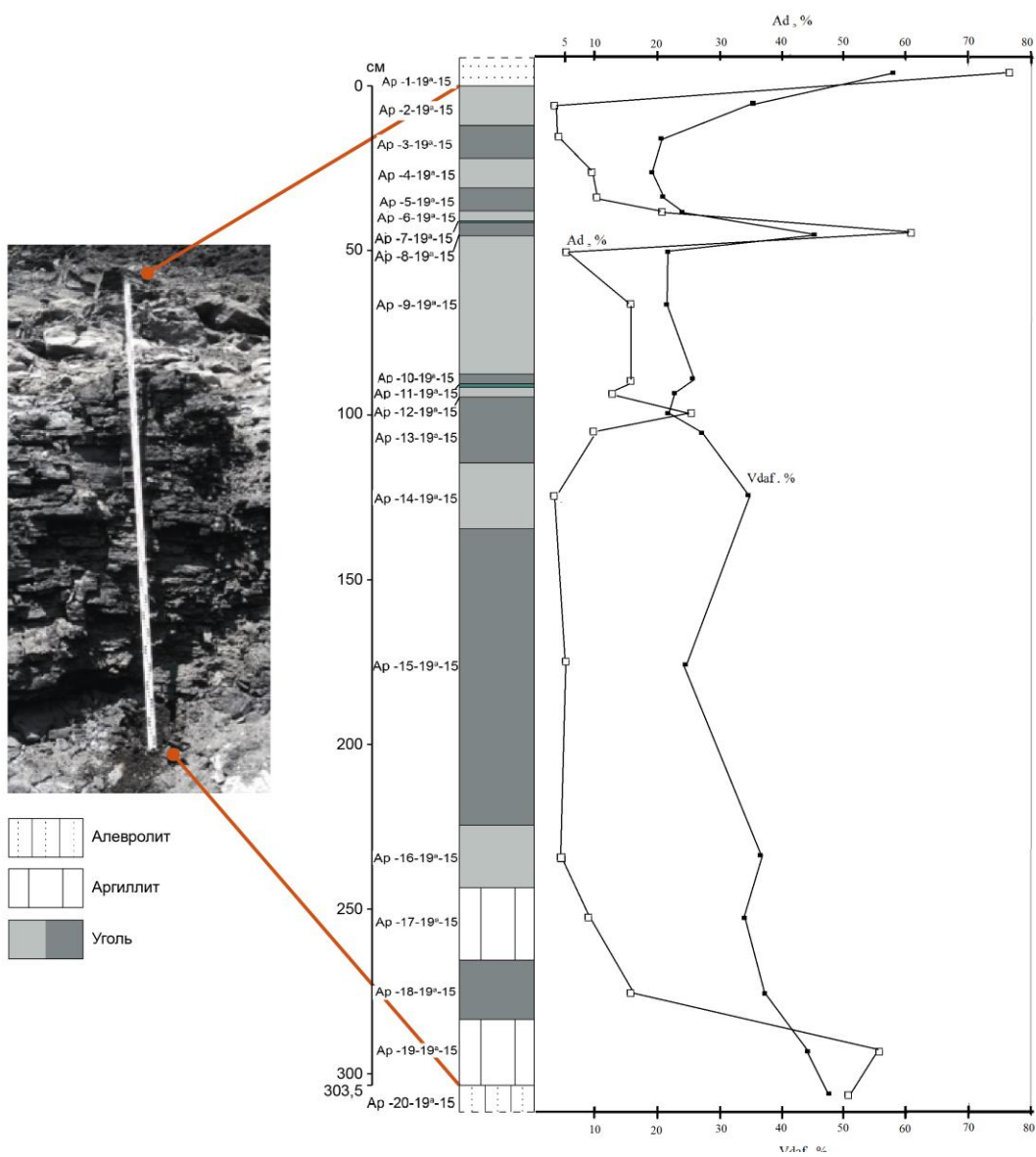


Рисунок Б5- Зависимость минеральных прослоек на свойства угля пласта 19<sup>а</sup>



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 123 страницы; 39 таблиц; 29 источников; графический материал оформлен в виде презентации Microsoft Power Point.

Ключевые слова: Уголь, месторождение, пласт, разрез.

Объектом исследования являются 88 образцов угля участка Аршановский Бейского месторождения каменного угля.

Цель работы – дать рекомендации по направлениям комплексного использования исследуемых углей. В ходе работы определяли содержание влаги в угле, зольность, выходе летучих веществ и дали характеристику твёрдого нелетучего остатка, определяли количество ценных и токсичных элементов в углях, расчет которых основан на данных рентгено-флюоресцентного анализа (РФА) 20 проб угля и золы.

Исследованные пробы углей могут быть использованы в энергетических целях (в топках транспортных средств), как сырье для коксохимии, а так же для производства синтетического жидкого топлива, углеграфитовых материалов и др. Из отходов углеобогащения можно извлечь U<sub>b</sub>, Co, Nd, Ce, Eu, Th, Sc, Tb, Rb и La.