

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ УГЛЯ

Б. Ф. Нифантов
В. П. Потапов
Б. А. Анфёров
Л. В. Кузнецова

УГЛИ КУЗБАССА

**ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ И ТЕХНОЛОГИИ
ИХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Кемерово

2011

УДК 622.74(571.17)
ББК 35.512
Н60

Ответственный редактор
д-р техн. наук *Е. Л. Счастливец*

Рецензенты:
д-р геол.-минерал. наук *М. Д. Скурский*
д-р техн. наук *В. А. Федорин*
канд. геол.-минерал. наук *А. Н. Кондаков*

Рекомендовано к публикации
Ученым советом Учреждения Российской академии наук
Института угля Сибирского отделения РАН

Нифантов, Б. Ф. Угли Кузбасса: химические элементы-примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений [Текст] / Б. Ф. Нифантов, В. П. Потапов, Б. А. Анфёров, Л. В. Кузнецова. – Кемерово: ИУ СО РАН, 2011. – 310 с.; ил. – Рез.: англ. – Библиогр.: с. 292-310. – 300 экз. – ISBN 978-5-902305-37-8

В монографии изложены результаты многолетних исследований в области геохимии углей Кузнецкого бассейна и технологий его комплексного освоения.

Обнаруженные промышленные содержания ценных элементов в кузнецких углях и продуктах их промышленной добычи, сжигания, обогащения, отходах могут стать новым источником значительных доходов при осуществлении глубокой переработки углей и вторичного сырья в угольной, коксохимической, энергетической и других отраслях промышленности.

Приведены результаты исследований в области комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологий, которые могут обеспечить не только добычу угля, но и сопутствующих полезных ископаемых.

Монография предназначена для специалистов научно-исследовательских институтов, проектных организаций, сфер управления, предпринимателей, а также аспирантов и студентов горных и геологических специальностей.

ББК 35.512
УДК 622.74(571.17)
ISBN 978-5-902305-37-8

©ИУ СО РАН, 2011

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH
INSTITUTE OF COAL

B. F. Nifantov
V. P. Potapov
B. A. Anfyorov
L. V. Kuznetsova

COAL OF KUZBASS

**CHEMICAL TRACE-ELEMENTS AND TECHNOLOGIES
FOR THEIR RECOVERY DURING INTEGRATED
DEVELOPMENT OF DEPOSITS**

Kemerovo

2011

UDC 622.74(571.17)
BBC 35.512
N60

Senior editor
Dr. Sci. Tech. *E. L. Schastlivtsev*

Reviewers:
Dr. Sci. Mineralogic. *M. D. Skoorskiy*
Dr. Sci. Tech. *V. A. Fedorin*
Dr. Sci. Mineralogic. *A. N. Kondakov*

Recommended for publication by
Academic Council of Institution of Russian Academy of Sciences
Institute of Coal of Siberian Branch of RAS

Nifantov, B. F. Coal of Kuzbass: chemical trace-elements and technologies for their recovery during integrated development of deposits [Text] / B. F. Nifantov, V. P. Potapov, B. A. Anfyorov, L. V. Kuznetsova. – Kemerovo: Institute of Coal SB RAS, 2011. – 310 p.:ill. – Bibliogr.: 292-310 p. – 300 cps. – ISBN 978-5-902305-37-8

The monograph sets forth the results of perennial research in the field of geochemistry of coal in Kuznetsk basin and deposits integrated development.

Commercial amounts of precious elements disclosed in kuznetsk coal and in its mining, incineration, processing, waste products may become a new source of significant income for coal mining, by-product coking, power generation and other industries, when deep processing of coal and recycled resources is implemented.

The research outcomes are provided in the sphere of combined physical-technical and physical-chemical geotechnologies, that may ensure both coal and byproduct minerals mining.

The monograph intends for experts of scientific research institutions, design organizations, administration bodies, entrepreneurs, as well as for students and postgraduates of mining and geological professions.

BBC 35.512

UDC 622.74(571.17)

ISBN 978-5-902305-37-8

©Institute of Coal SB RAS, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Кузнецкий угольный бассейн обладает уникальными запасами каменных углей различных марок, которые являются объектом промышленной добычи. Высокое качество кузнецких углей определило широкую сферу их применения. Они используются как энергетическое топливо, для производства металлургического кокса и как технологическое сырье. Общие ресурсы кузнецких углей до глубины 1800 м составляют 524 млрд. т. Из них 74,1 млрд. т – запасы, учтенные Государственным балансом; 33,1 млрд. т – запасы Отраслевого баланса. В 2010 г. добыча угля в Кузбассе составила 185,5 млн. т, в том числе 50,2 млн. т коксующегося.

Однако проблемы комплексного освоения угольных месторождений Кузбасса остаются нерешенными. Традиционные физико-технические геотехнологии добычи и переработки угля в большей или меньшей степени влекут за собой техногенное разрушение окружающей природной среды, являются опасными производственными процессами, не позволяют добывать сопутствующие полезные ископаемые и не обеспечивают минимизации потерь угля.

В углях различных месторождений Кузбасса обнаружено более 60 химических элементов-примесей. Содержания некоторых из них иногда удовлетворяют современным постоянным или временным кондициям на извлечение из продукции и отходов. Наиболее значительными критериями потребительской ценности углей, пригодных для глубокой переработки, являются высокие (кондиционные) содержания главных или «малых» химических элементов для их комплексного или индивидуального извлечения, или пригодность вторичного сырья для переработки в цемент, песок, иные минеральные продукты. Однако кроме наличия эффективных технологий передела новой продукции необходимо учитывать спрос и прибыль от ее реализации.

Новая генеральная потребность использования углей и остаточных продуктов заключена не только в известной тенденции получения набора минеральных продуктов – металлов, соединений, коагулянтов, концентратов, комплексов сырьевых компонентов, но, в значительной мере, в соци-

альной и экологической необходимости осуществления процессов глубокой переработки избранного вида отходов или углей.

Золошлаковые отходы от ТЭС и местных котельных в Кузбассе ранее не представляли почти никакого интереса для их передела. На территории Кемеровской области отвалы золошлаков от крупных теплоэлектростанций занимали площадь свыше 1125 га с учтенными к 2000 г. ресурсами свыше 70,1 млн. т. Ежегодно к ним добавлялось до 5-7 млн. т твердых отходов, хранящихся, главным образом, на поверхности. Частичное или полное (временное) осушение последних приводит к экологически опасному местному запылению атмосферы, нередко вблизи населенных пунктов. Это, наряду с другими вредными воздействиями, повышает риск непрофессиональной заболеваемости населения пневмокониозами, аллергиями, другими заболеваниями, вызванными распространением токсичных компонентов минеральной пыли в виде химических соединений в водной или воздушной среде.

Рост выбросов пыли от теплоэнергетических производств и других источников привел к катастрофически высокому уровню загрязнения атмосферы в г. Новокузнецке, а в городах Белово, Кемерово, Мысках, Тёмиртау – к высокому уровню по классификации местных экологических служб.

Таким образом, сложившиеся традиционные физико-технические геотехнологии добычи и переработки угля не позволяют вести комплексное освоение угольных месторождений. Необходимо разработать такие геотехнологии, которые бы обеспечили добычу и последующую переработку не только угля с максимальным экономическим эффектом, но и сопутствующих полезных ископаемых с минимальными последствиями для экологии региона.

Цель монографии – определить комплекс полезных и токсичных компонентов в кузнецких углях, отходах его добычи, переработки и потребления, выявить целесообразность и разработать направления развития технологий их извлечения.

INTRODUCTION

Kuznetsk coal basin possesses unique resources of hard coal of different grades and here industrial mining of coal is accomplished in a big scale. High quality of kuznetsk coal has defined a sphere of its wide application. Coal is used as the energy resource for production of metallurgical coke and also as the technological feedstock. Total resources of kuznetsk coal till the depth of 1,800 meters quantify 524 bln. tons. Out of them 74,1 bln. tons – reserves of Sectoral balance. In 2010 the coal output in Kuzbass made 185,5 mln. tons, including 50,2 mln. tons of coking coal.

But the issues of integrated development of Kuzbass coal deposits still remain unsolved. Conventional physical-technical geotechnologies of coal mining and processing in a more or less extent entail anthropogenic destruction of natural environment, appearing to be dangerous production processes, don't allow to recover associated minerals and don't ensure a minimal loss of coal.

In coal of different Kuzbass deposits more than 60 chemical admixture - elements were detected. In some cases substance content of them meet the requirements of modern, invariable or temporal standards, effective for the recovery from products and wastes. The top significant criteria of consumer value of coal qualified for deep processing treatment are high (conditional) content of main or “minor” chemical elements that affords their complex or individual extraction, or applicability of secondary raw materials for recycling into cement, sand and other mineral commodities. However, besides the availability of efficient processing technologies it is important to consider the demand for innovative commodity and ex ante revenues of it realization.

The new, general need for coal and its waste products use includes not only a known tendency of getting a set of mineral products like metals, compounds, coagulants, concentrates, complexes of raw material elements, but to a great extent relates to social and ecological necessity to implement deep processing of selected type of coal or waste.

In the past ash- and- slag waste of co-generation plants and public utilities in Kuzbass was, mostly, of no interest for processing procedures. On the territory of Kemerovskaya oblast ash-and-slag dumping areas that belong to big

co-generation utilities occupied in excess of 1,125 ha, with comprised resources, according to 2000 yr. record, quantifying in excess of 70,1 mln. tons. Annually, up to 5-7 mln. tons of solid waste, stored mainly on the surface, are added. Complete or partial (temporal) drainage of such areas entails ecologically hazardous dusting of local atmosphere, quite often in the vicinity of residential areas. This fact alongside with other negative impacts, enhances the risk of nonoccupational sickness of population with pneumoconiosis, allergy and other diseases, caused by distribution of toxic components of mineral dust in a form of chemical compounds in the aqueous and air medium.

The dust waste growing rate induced by co-generation and other energy plants operation has resulted in disastrous pollution of atmosphere in Novokuznetsk, and in a high level atmosphere contamination, according to local environmental services classification, in Belovo, Kemerovo, Myski and Temirtau cities.

Therefore, existing traditional physical-technical geotechnologies of coal mining and processing don't make it possible to implement integrated development of coal deposits. It is essential to elaborate such geotechnologies, that will ensure best economically efficient recovery and processing of coal together with associated minerals, producing minimal negative impact on the region's environment.

The main objective of the monograph – to define a complex of useful and toxic components in kuznetsk coal, in wastes of coal mining, processing and use, and to reveal practicability and to develop progress trends of technologies aimed for components recovery.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- БД** – база данных
ВГМ – высокоградиентная магнитная технология разделения сыпучих минеральных продуктов с применением соответствующих конструкций сепараторов
ВДЗУ – высокодисперсная зола уноса
ЕРН – естественные радионуклиды
ГЭР – геолого-экономический район
ЗУ – зола уноса
ЗШМ – золошлаковый материал
ЗШО – золошлаковые отходы
ИНАА – инструментальный нейтронно-активационный метод
КК – коэффициент концентрации
ККУ – коэффициент концентрации по углям
ККЗУ – коэффициент концентрации по золе углей
ККГП – коэффициент концентрации по глинистым породам
КН – коэффициент накопления
КНС – крутонаклонный сепаратор
КОД – коэффициент концентраций по осредненным данным
КРЗУ – кондиционные редкоземельные угли
МКК – местный коэффициент концентраций
МСБ – минерально-сырьевая база
МСК – Международный стратиграфический комитет
МХЭ – «малые» химические элементы-примеси
ОМ – отсадочная машина
ОРЗМ – оксид редкоземельного металла
ОРЗЭ (OREE) – оксид редкоземельного элемента
ОУ – обогатительная установка
ПГМ (PGM) – платиновая группа металлов
РГМ – разубоженная горная масса
РЗМ – редкоземельный металл
РЗУ – редкоземельные угли
РЗЭ, TR (REE) – редкоземельные элементы, в т. ч. **LREE** – легкие; **HREE** – тяжелые
РК – региональный «кларк»
РКК – районный коэффициент концентраций
РККУ – районный коэффициент концентрации по углям
РРС – рентгеновская и радиометрическая сепарация
ТПТ – токсичные и потенциально токсичные элементы
ЦЦЦ – ценные и потенциально ценные элементы
ЭП – элементы-примеси
ICP – метод исследования в холодной плазме
ICP-MS – метод исследования в холодной плазме с масс-спектрометрией
ОТР – оксиды редкоземельных элементов
РС – персональный компьютер
(?) – данные необходимо уточнить

1 Геохимическое размещение элементов-примесей в кузнецких углях в естественном залегании пластов

1.1 Направления развития геохимических и технологических исследований

Геохимия углей, как раздел науки геохимии (космохимии), основанной нашим великим соотечественником В. И. Вернадским (1863 – 1945), является достаточно молодой отраслью знаний. В. И. Вернадский дал геохимии определение науки двадцатого столетия [30] и, обращаясь к истории геохимии, назвал десятки имен известнейших ученых, среди которых, у самых истоков этого научного знания, упоминается Роберт Бойль (1627 – 1691) как человек, впервые осознавший «круг и значение явлений, охватываемых современной геохимией». Свыше 300 лет человечество заинтересовано в разрешении проблем геохимии, а также, в последствии, космохимии. Прикладная геохимия в настоящее время весьма разветвленная наука, опыт и знания которой позволяют находить месторождения полезных ископаемых [15, 88]; определять перспективы использования химических элементов в технологиях [146], например, учитывая данные кристаллохимии [85]; находить новые технологии получения ценных металлов [73, 74]; раскрывать закономерности накопления и рассеяния химических соединений в природной среде, в т. ч. при техногенных процессах [151].

Десятки химических элементов в наше время используются человеком в технологиях, бытовых машинах, приборах, устройствах. Во второй половине XX века в технологии стали входить и использоваться в различных отраслях промышленности редкие (редкоземельные) металлы – Sc, Y, Zr, Nb, La, (Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), Hf, Ta, Th, U и другие. Все они в различных содержаниях присутствуют в составе углей, углевмещающих, внутрипластовых породах или минеральных включениях [154].

Одной из современных прикладных задач геохимии углей является выявление рудных концентраций химических элементов в углях [158, 159], породах, сопутствующих минеральных включениях в целях извлечения

ценных металлов из отходов технологического превращения углей [150]. В нашей и других странах мира в последние три десятилетия этой проблеме посвящено множество исследований [154]. Наибольший интерес всегда вызывают находения высоких концентраций ценных металлов [93]. Так, например, в зольной части углей бериллий и уран [155, 156] в максимальных концентрациях в единичных пробах и десятках проб выявлены в угольных пластах месторождений Чехословакии, Венгрии, Германии, Бельгии в содержаниях свыше 100 г/т; галлий от 100 до 780 г/т найден в золах углей Англии, Германии, Венгрии, Болгарии, Индии [156]; германий, в особенности в низкозольных углях, найден в золах в количествах 100-2900 г/т в Англии, Польше, Румынии, Венгрии, в США (Западный бассейн, ураноносный каменный уголь), Бразилии, Индии, Китае; титан (в золах углей) в высоких концентрациях обнаружен в ряде угольных месторождений России (0,8-5,6 %), в т. ч. в ЗШМ пластов кузнецких углей. Отметим, что в углях пласта Мощного, опробованных при технологическом сжигании, результаты которого приводятся в настоящей работе, максимальное расчетное содержание титана на золу составило 15,15 %. В золе углей Новой Зеландии найдено 2,3 % Ti; цирконий также присутствует в золах в пределах 0,004-0,29 % в Днепровском, Подмосковном, Кизеловском, Минусинском, Таймырском бассейнах, и также в месторождениях углей Казахстана, Венгрии. Уран в угольных золах в содержаниях 0,017-7,8 % найден в Англии, Франции, Испании, Италии, Польше, Венгрии, Японии, США. В углях мира отмечены весьма высокие содержания V, Mo, Cu, Zn, Pb, Cr, Mn, Co, Ni и других элементов [155, 156].

Современные успехи геохимии углей базируются на научных открытиях В. И. Вернадского, в частности, о химическом единстве мира [30], что позволило ему сформулировать основы новейшей отрасли знаний – биогеохимии и создать в 1927 году в г. Москве первую научную лабораторию этого направления. Мировоззрения В. И. Вернадского формировались на основе знаний, опыта, трудов великих ученых И. Ф. Руэлля (1703 - 1770), А. Лавуазье (1743 - 1794), Леклерка де-Бюффона (1707 - 1788), М. В. Ломоносова (1711 - 1765), Г. Дэви (1778 - 1829), А. фон Гумбольдта (1769 - 1859), Э. Ф. Хладни (1756 - 1827), Ж. Б. Дюма (1800 - 1884), Ж. Буссенго

(1802 - 1887), К. Шпренгеля (1787 - 1859), Ю. Либиха (1803 - 1873). Они исследовали картину геохимического значения земных растений, определили смысл «зольных элементов». Древнейшая наука минералогия была точно названа И. Б. Берцелиусом «химией земной коры». Именно химические процессы, как теперь известно, создавали в недрах планеты месторождения полезных ископаемых, в т. ч. угольные [118]. Термин «геохимия» был введен Х. Шенбейном (1799 - 1868). По-видимому, М. Фарадей (1791 - 1867) совместно с Г. Дэви были основоположниками идей об истории элементов в земной коре. К. Г. Х. Бишоф (1792 - 1870), Эли де-Бомон (1798 - 1874), И. Брейтгаупт (1791 - 1873) и последующие поколения ученых сформулировали комплекс понятий о физико-химических условиях возникновения минералов и их парагенезисах.

Д. И. Менделеев заложил основу геохимии и космической химии; его периодический закон и система химических элементов удивительно точно отражаются в геологических ассоциациях металлов рудных месторождений, элементном составе разнообразных пород, включая органогенные, например, уголь. Ф. Кларк (1847 - 1931) в последние годы жизни в соавторстве с Г. Вашингтоном в книге «Data of geochemistry» (1908 г.) и в последующих пяти переизданиях привел огромный фактический материал по составу земной коры. Термин «кларк элемента» утвердился в геологической литературе, как понятие о содержании элемента в глобальных объектах (земной коре, океанской воде и т. д.), вычисленного на базе огромного числа проверенных данных.

После 1917 года в России А. П. Карпинский (1847 - 1936) внес существенный вклад в создание школы советских геологов, будучи с 1917 года избранным Президентом АН СССР. Его работы по геохимии золота, ртути, железа, марганца, хрома, никеля, кобальта, цинка и других металлов хорошо известны геологам Урала, где А. П. Карпинским также изучены месторождения углей, драгоценных камней. Полезные ископаемые Донбасса, Харьковской, Псковской областей, регионов Европейской России также были им изучены.

Ф. Н. Чернышев (1856 - 1914), И. В. Мушкетов (1850- 1902), С. Н. Никитин (1851 - 1909), В. А. Обручев (1863 - 1956), А. П. Павлов (1854 -

1929), Е. С. Федоров (1853 - 1919), Ф. Ю. Левинсон – Лессинг (1861 - 1939), И. Д. Лукашевич (1863 - 1928), Н. И. Андрусов (1861 - 1924), В. П. Амалицкий (1860 - 1917), М. М. Пригоровский (1881 - 1949), И. М. Губкин (1871 - 1939), В. С. Ильин (1888 - 1930), Я. В. Самойлов (1870 - 1925), А. Е. Ферсман (1883 - 1945), А. Н. Заварицкий (1884 - 1952), Д. С. Белянкин (1876 - 1953), С. С. Смирнов (1859 - 1947), П. И. Степанов (1880 - 1947), Н. В. Белов (1891 - 1982), Л. И. Лутугин (1864 - 1915), П. Н. Чирвинский (1880 - 1955), М. А. Усов (1883 - 1939) в Сибири и ученые его школы А. М. Кузьмин (1891 - 1980), К. В. Радугин (1899 - 1984), Ю. А. Кузнецов (1903 - 1982), В. А. Кузнецов (1906 - 1985), Ф. Н. Шахов (1894 - 1972), И. К. Баженов (1890 - 1982), А. Я. Булытников (1892 - 1972), Л. Л. Халфин (1902 - 1977), А. Г. Сивов (1904 - 1968), Ф. П. Нифантов (1908 - 1980), П. А. Удодов (1903 - 1964), В. К. Черепнин (1916 - 1985), Г. М. Рогов (1930 – 2008) и другие ученые геолого-разведочного факультета Томского политехнического института внесли существенный вклад в развитие геохимии в различных отраслях геологических и смежных знаний, в т. ч. в общей геологии, стратиграфии, петрографии, кристаллографии, учении о каустобиолитах, учении о рудных месторождениях, гидрогеологии, инженерной геологии. Многие из них были блестящими педагогами, работали в ведущих высших учебных заведениях бывшего СССР в Москве, Ленинграде, Киеве, Томске и других городах [135].

Кузнецкий угольный бассейн является одним из семи гигантских по запасам углей (0,52 трлн. т); Канско-Ачинский – далее в скобках в трлн. т: (0,64), Ленский (1,65), Тунгусский (2,3), Таймырский (0,22); в Бразилии – Алта-Амазона (2,2), в США Аппалачский (0,28) [147].

П. А. Чихачев (1808 - 1890) изучал в 1842 году Кузнецкую котловину. Он составил первую геологическую карту бассейна и назвал его Кузнецким. Первая заявка на уголь была зарегистрирована от Михаила Волкова в 1721 году, который обнаружил на правом берегу реки Томи «горелую породу», а в 1722 году привез образцы углей, взятые на месте их залегания, на территории современного г. Кемерово [142].

Бачатские угли известны с 1850 г., они обнаружены геологом Михайловым. Бачатское месторождение было вскрыто в 1851 г. шахтой глубиной

26 м. В 1853 г. было добыто 152 т каменного угля, а к 1860 г. добыча составила 864 т. Первый период освоения месторождения Бачатскими копиями составил около 30 лет. В 1889 г. в Кузнецком бассейне начал исследование А. Н. Державин (1857 - 1919), опубликовавший результаты своей научной работы в статье «Кузнецкий угольный бассейн» в сборнике «Очерки месторождений ископаемых углей России» в 1913 г.

Последнее десятилетие XIX века, в связи с проектом строительства Транссибирской железной дороги, ознаменовано значительным повышением интереса к Кузнецкому бассейну. Тогда под руководством П. К. Яворовского (1862 - 1920) было проведено разведочное бурение на Кольчугинском месторождении, в Анжерском и других районах. Темпы освоения угольных месторождений были весьма впечатляющими. Так, в Анжерском районе в 1896 – 1897 годах были заложены три неглубокие шахты, в одной из них отобранная угольная проба успешно испытана сжиганием в котлах паровозов; в 1898 году Анжерской казенной копьей было добыто 500 тыс. пудов угля и организована добыча угля на частной Судженской копи Михельсона.

Геологоразведочные работы и добыча углей развивались достаточно стихийно до 1912 г. В том году «кабинетские земли» царского правительства были арендованы франко-бельгийским Акционерным обществом кузнецких каменноугольных копей и металлургических заводов – Копикуз. Им были построены железнодорожные ветки от ст. Юрга до ст. Кольчугино, от ст. Топки до ст. Кемерово, коксовая батарея. Копикуз обратился в 1913 году к выдающемуся исследователю Донбасса Л. И. Лутугину с просьбой организовать и возглавить геологическое изучение Кузбасса. В 1914 году Л. И. Лутугин, П. И. Бутов (1882 - 1939), А. А. Гапеев (1881 - 1958), А. А. Снятков, В. И. Яворский (1875 - 1974) выехали на работу в Кузбасс. Так начинался новый этап изучения бассейна, отличавшийся целеустремлённостью, высококвалифицированными исследованиями и руководством.

В 1925 г. была опубликована геологическая карта бассейна, составленная авторским коллективом, в который вошли П. И. Бутов, В. И. Яворский, А. А. Гапеев, С. В. Кумпан (1881 - 1948), А. А. Снятков и другие ис-

следователи. На XVI съезде ВКП(б) было принято решение о создании Урало-Кузбасского комбината на базе железных руд Урала и кузнецких углей. В 1927 – 1928 гг. добыча углей в бассейне на 11 шахтах составила 2,5 млн. т, в основном в Анжеро-Судженском районе, где действовали 4 наиболее крупные шахты. В декабре 1930 года было принято постановление о форсировании развития угледобывающей промышленности в бассейне. К 1940 году угледобывающая промышленность в бассейне, в основном, сосредоточилась в Прокопьевско-Киселевском районе, тогда из 21,5 млн. т добытого угля в Кузбассе в этом районе добыча составила 43 %; там действовали 19 шахт, добывавших 9,3 млн. т угля в год.

В годы первых пятилеток советской власти были открыты новые месторождения каменных углей. Среди них: Андреевское – открыто П. П. Грязевым; Плотниковское – П. И. Васюхичевым; Беловское и Чертинское – Ю. Ф. Адлером, Н. Ф. Карповым; Байдаевское – И. Н. Звонаревым, И. И. Молчановым; Алардинское – В. Е. Некипеловым, Л. Ф. Томчиком; Березовское – И. И. Пальмовым. Были значительно расширены перспективы Прокопьевско-Киселевского района работами Б. С. Крупенникова, А. В. Кузнецова, И. Д. Куташева; Кемеровского района – работами Н. М. Белянина, К. Ф. Гераскевича, В. И. Скока; в Осиновском районе – И. Н. Звонарева, В. В. Станова. Барзасское месторождение девонских сапромикситов изучено А. В. Тыжновым, М. М. Финкельштейном.

Липтобиолитовые барзасские угли с большим содержанием смол интересны как сырье для получения жидкого топлива. Они были открыты как месторождение в 1929 году С. В. Кумпаном и В. А. Ористовым. На основании изучения липтобиолитов И. М. Губкин выступил с гипотезой о нефтегазоносности территории Кузбасса. Нефтепоисковыми работами в конце 30-х годов установлено большое количество нефтегазопроявлений, хотя крупных залегающих нефти или газа не было выявлено.

В 1945 году общая добыча кузнецких углей достигла 28 млн. т. В первые послевоенные годы была поставлена задача разведать 60 шахтных полей. Внимание промышленности сосредоточилось тогда на подготовке минерально-сырьевой базы коксующихся углей и перспективах развития открытой добычи. Для строительства разрезов были избраны, в первую очередь, Кедровское, Бачатское, Кийзакское (Томь-Усинское 3-4), Красногор-

ское, Ерунаковское и другие месторождения на производственную мощность свыше 10 млн. т в год.

За последующие 30 лет угледобыча в Кузбассе возросла до 128 млн. т, а к концу 80-х годов добыча превысила 150 млн. т в год. К сожалению, затем последовал ее резкий спад. Стремительное возрастание угледобычи в Кузбассе было, прежде всего, обусловлено потребностями промышленности, размещенной на территории бывшего СССР. Кузнецкие угли поставлялись почти во все регионы Советского Союза, направлялись на экспорт в десятки стран мира, в т. ч. и в США. Минимальная цена за 1 т добытого открытым способом угля не превышала 9 долларов США. В настоящее время в Кузбассе добывается 184 млн. т, что составляет более половины общероссийской добычи. Такое мощное освоение бассейна стало возможным, в первую очередь, благодаря научным исследованиям и деятельности по созданию минерально-сырьевой базы угольной промышленности геологическими организациями Кузбасса.

Среди многочисленных специалистов геологов, участвовавших в создании угольной минерально-сырьевой базы региона, следует отметить вклад исследователей: Г. П. Радченко, О. Г. Корсака, И. П. Стеценко, Э. М. Сендерзона, А. Г. Пospelова, Г. А. Селятицкого, А. А. Муратова, М. Н. Терещенко, Н. И. Щербакова, Н. Н. Елисафенко, К. Д. Жданова, Н. И. Погребнова, Э. М. Паха, А. И. Лежнина, В. В. Пономарева, П. И. Дорофеева, С. Н. Доброхотова, А. П. Авдеева, Г. Н. Шарова, Е. Н. Трибунского, О. В. Постниковой, И. А. Розенфарба, В. В. Новикова, Ю. К. Березикова, В. Е. Язвенко, Ю. С. Надлера, Н. И. Уразлина, В. А. Сивова, А. И. Афолина, А. В. Манаевой, Н. А. Аксариной, М. В. Карпенко, В. П. Куропаткиной, Л. Е. Бобровой, А. И. Малышевой, А. Н. Чиркина, Н. Ф. Евтушенко, В. Д. Мамушкина, Г. В. Беденко, А. Б. Цыганкова, Г. А. Зюдина, Ю. К. Танина, Ю. Ф. Латникова, А. Ф. Быча, А. И. Мостовского, В. П. Калиниченко, В. П. Дегтярева, А. З. Юзвицкого, З. С. Цадера, В. О. Яркова, В. Ф. Череповского, А. В. Черняева, А. И. Боева, С. Г. Двуреченского и других.

Интерес к геохимии кузнецких углей, заложенный трудами предыдущих ученых и специалистов, соответственно возрастал в связи с новыми фактами обнаружения комплекса ценных и токсичных химических эле-

ментов в углях. По данным Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис, А. В. Мерца [157], русскоязычная опубликованная литература по геохимии углей составила 292 наименования. По нашим расчетам, из этой выборки до 1929 года индекс интереса к геохимии органогенных образований составлял не многим более 1 %. В период с 1930 по 1959 годы аналогичный суммарный индекс составил около 13 %. Наибольший информационный максимум по этой проблеме был отмечен в 60 – 70 гг. – 77,4 %, в т. ч. с 1960 по 1969 гг. – 42,1 %; с 1970 по 1979 гг. – 35,3 %. За 1980 – 1985 гг. количество публикаций снизилось и составило от их общего количества 8,6 %.

Период максимальной информативности не был случайным и не отражал чисто научный взрыв интереса к этому кругу вопросов. В эти годы происходило накопление ядерного оружия, осуществлялось строительство атомных электростанций. Именно поэтому в крупных капиталистических странах, СССР вместе со странами социалистического содружества развернулись геологические исследования по созданию минерально-сырьевой базы урановой промышленности. В этот период существенно выросло производство металлического урана, металлов для атомной технологии – Zr, Mo, Ti, Pb и других. Развитие радиоэлектроники, создание десятков новых технологий, сплавов, полупроводниковых приборов вызвало новые потребности в создании минерально-сырьевой базы редких, редкоземельных элементов, в т. ч. Li, Be, Sc, Ti, V, Co, Ni, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Cd, In, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Tl, Bi, U. Соответственно вырос интерес к переработке промышленных отходов как твердых, так и жидких.

Сбросовые воды в ряде районов различных стран содержат в максимальных концентрациях, в г/л: Li – 0,3 (Германия, Чехословакия – калийные рудники), B – 4,68 (рапа оз. Серлз, Калифорния), Mn – 1,69 (рудничные воды Норильского месторождения), Co – 3,6 (там же), Ni – 30 (там же), Cu – 45,63 (рудничные воды, Маунтаин, шт. Монтана, США), Si – 86 (г. Белово, Кузбасс, рассол в основании отвала твердых отходов цинкового завода, наши определения). Нет сомнений в перспективности глубокой комплексной переработки золошлаковых отходов от сжигания углей с извлечением Al, Fe, ряда редких и редкоземельных металлов, золота, платиноидов.

В настоящее время разрабатываются оценочные характеристики для технологий различных способов извлечения ценных металлов из золошлаковых отходов. Перспективной является технология извлечения ферромагнитных (парамагнитных, диамагнитных) минералов из ЗШО углей с применением магнитных сепараторов, монтируемых в тракты пульпового удаления золошлаков на крупных ТЭС. Эта технология позволяет не только извлечь кондиционный железорудный концентрат для черной металлургии, но и обеспечить извлечение тяжелой минеральной фракции с Ti, Zr, TR, Au, PGM и другими ценными металлами [90, 92].

Отметим далее группу ученых и специалистов различных стран мира, работы которых составили и дополнили основы геохимии, в том числе углей за последние десятилетия, а также наметили технологические направления переработки отходов, в т. ч. золошлаковых: Е. А. Азаров, Л. С. Алексеев, Л. В. Анфимов, Ю. А. Балашов, И. Л. Башаркевич, Е. Бежарова, В. К. Беляев, А. А. Беус, С. А. Боровик, Дж. Бреггер, Е. С. Бурксер, Г. И. Бушинский, А. В. Ван, В. И. Вернадский, И. Х. Володарский, А. В. Внуков, А. А. Герасимов, М. В. Голицын, Е. А. Голынский, С. А. Гордон, В. И. Данчев, А. Г. Дворников, Г. Ескенази, Ю. Н. Жаров, В. В. Золотова, В. А. Зильберминц, М. А. Карасик, С. М. Катченков, Л. Я. Кизильштейн, В. В. Кирюков, Л. В. Китаев, В. Р. Клер, Л. Н. Комиссарова, Ю. П. Костин, О. Р. Кулиненко, В. В. Лебедев, В. В. Левицкий, А. В. Македонов, Е. С. Мейтов, Д. Минчев, В. Ф. Ненахова, Б. Ф. Нифантов, Л. С. Павлова, А. И. Перельман, Р. Г. Пискарева, Н. И. Погребнов, В. И. Подолян, А. Попович, А. Г. Портнов, Н. С. Прокопов, В. Ф. Раздорожный, В. М. Ратынский, Г. М. Рогов, В. М. Роговой, В. А. Рубан, И. В. Рязанов, С. М. Ряховский, Ф. Я. Сапрыкин, А. А. Сауков, В. В. Середин, Б. И. Смирнов, К. М. Смирнов, Н. М. Страхов, М. Г. Сулова, П. П. Тимофеев, П. А. Удодов, Й. Узунов, А. В. Федоров, А. Е. Ферсман, В. Ф. Череповский, И. Г. Шарова, В. В. Шаталов, Ф. Н. Шахов, В. М. Шацкий, С. Л. Шварцев, М. Я. Шпирт, Э. Я. Юдович, А. З. Юровский; R. F. Abernethy, M. L. Berrow, V. Bouska, R. W. Boyle, T. J. Chow, M. A. Daubree, G. Eskenazy, R. B. Finkelman, H. J. Gluskoter, V. M. Goldschmidt, I. M. Inagaki, J. H. Jones, E. J. Kennedy, B. J. Kronberg, F. H. Kunstmann, R. Lessing, F. Leutwein, A. Martin, P. D. Rao, R. R. Rich, R. Soong, H. Shuetz, T.

M. Stadnichenko, K. Venkataraman, J. D. Vine, I. Widawska-Kismierska, H. D. Zeller, P. Zubovic и другие ученые.

Опубликованные работы о геохимии отдельных элементов в кузнецких углях появились в 30-х годах. Весьма знаменательно, что одна из первых публикаций Е. С. Бурксера, В. В. Кондогурина, Н. П. Капустина, П. П. Потапова в 1934 году была посвящена радиоактивности каменных углей Кузнецкого бассейна [24]. С. А. Боровик, В. М. Ратынский изучили содержания олова в углях Кузнецкого бассейна (1944 г.). А. В. Ван отметил роль пирокластического материала в угленосных отложениях бассейна [28, 29]. Е. Л. Копелиович (1959 г.), В. Ф. Добронравов (1965 г.) отметили роль фосфора в кузнецких углях [65]. Ф. Н. Шахов, М. Е. Эфенди (1946 г.) впервые подвели итоги изучения геохимии кузнецких углей [148]. П. А. Удодов, П. Н. Паршин, Б. М. Левашов и др. (1971 г.) изложили итоги работ по гидрогеохимическим исследованиям Колывань-Томской складчатой зоны [143]; П. А. Удодов, С. Л. Шварцев, Н. М. Рассказов (1973 г.) разработали методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. Г. М. Рогов, В. К. Попов (1985 г.) исследовали гидрогеологию и катагенез пород Кузбасса [116]. В схеме классификации подземных вод Г. М. Рогова (1966 г.) приводится характерный комплекс из 18 элементов (Be, B, F, P, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Ag, Sb, Ba, Pb). Они представляют 41,3 % от числа элементов, выявленных нами в кузнецких углях [146]. В цитированный справочник внесены Б. Ф. Нифантовым результаты изучения геохимии товарных кузнецких углей за 1988 – 1991 годы. Эта госбюджетная работа была организована Госпланом СССР в рамках подпрограммы 2.3 «Комплексное использование углей для получения микроэлементов». В дальнейшем, включая 1996 г., геохимические работы в Кузбассе проводились нами тогда по договорам с предприятиями угольной промышленности, энергетиками, частными фирмами. Территориальная комплексная программа охраны окружающей среды Кемеровской области до 2005 г. включала также и наши предложения, Т. 6 [136].

Работами СГГЛ ВНИГРИУголь, ИУУ СО РАН выполнено геохимическое обследование всех товарных марок кузнецких углей по арбитражным пробам и почти всех разрабатываемых угольных пластов выемочных полей [146].

В дальнейшем, нами будут использованы для сравнения данные геохимической выборки из базы данных, включающей 59 угольных предприятий, в т. ч. 43 подземных и 16 открытых работ. Массив составленной до 2000 г. автоматизированной базы данных включал 184 шахтопласта по 10 свитам кольчугинской и балахонской серии угленосных отложений. В их числе по предприятиям подземной добычи угля представлены свиты (количество пластов / процентное выражение количества пластов к 184):

- в отложениях верхней перми, кольчугинская серия (ленинская свита, P_2ln 4 / 2,2; ускатская свита, P_{2us} 32 / 17,4; казанково-маркинская свита, P_{2km} 5 / 2,7);

- в отложениях нижней перми, верхнего карбона, среднего карбона, балахонская серия (кемеровская свита, P_{1kr} 46 / 25; ишановская свита, $P_{1i\check{s}}$ 5 / 2,7; промежуточная свита, P_{1pr} 14 / 7,6; алыкаевская свита, C_{3al} 10 / 5,4; мазуровская свита, C_{2mz} 1 / 0,5).

Аналогично по предприятиям открытой добычи:

- в отложениях верхней перми, кольчугинская серия (тайлуганская свита, P_{2tl} 3 / 1,6; грамотеинская свита, P_{2gr} 1 / 0,5; ленинская свита, P_{2ln} 4 / 2,2; ускатская свита, P_{2usk} 2 / 1,1);

- в отложениях нижней перми, балахонская серия (кемеровская свита, P_{1kr} 36 / 19,6; ишановская свита, $P_{1i\check{s}}$ 9 / 4,9; промежуточная свита, P_{1pr} 12 / 6,5).

Из приведенных данных видно, что максимальная геохимическая изученность угольных пластов отвечала свитам (в сумме по вышеприведенным показателям): кемеровской (82 / 44,6); ускатской, в основном, по подземной добыче (34 / 18,5); промежуточной (26 / 14,1). Географическая сосредоточенность изученных пластов по геолого-экономическим районам Кузбасса следующая (%): Прокопьевско-Киселевский (20,9); Ленинский (15,6); Кондомский (12,4); Кемеровский (10,8); Байдаевский и Мрасский (по 7,5); Бачатский и Томь-Усинский (по 7); Анжерский (3,8); Беловский и Бунгуро-Чумышский (по 2,2); Ерунаковский (1,6); Завьяловский, Ускацкий, Терсинский (по 0,5). Неравномерность изученности объясняется, прежде всего, распределением и концентрацией добывающих предприятий угольной промышленности на территории Кемеровской области.

По качественному составу изученные угли отнесены к 16 маркам по ГОСТ 25543-88, среди них 15 марок (Д, ДГ, Г, ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КСН, КС, ОС, ТС, СС, Т) отвечают каменным углям; А – антрациту. Лишь одна марка – ОК, не обозначенная в классификации [48], вероятно, относится к окисленным коксовым углям. Распределение массива проб (184) по маркам следующее (в %): Т (17,9); СС (11,4); Г и КС (по 10,9); К и КО (по 8,2); Д (7,1); ГЖ (6,5); Ж (4,3); ОК (3,8); КСН и ОС (2,7); ДГ (1,6); ТС, КЖ, А (по 1,1); ГЖО (0,5).

1.2 Основные закономерности природного размещения химических элементов в углях

Массив данных, включавший 476-536 проб (30406-32635 элементопределений), по выборке подразделился по значениям зольности на 5 групп (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Распределение элементов по зольности и мощности пластов

Зольность, $A^{d}_{ср.}$, %	Интервал, A^d , %	Средняя мощность пластов, м	Количество проб	Количество элементопределений	Количество элементов
8,06	7,29-8,44	6,19	187	12151	55
13,86	12,14-15,55	2,92	228	14935	55
22,24	18,60-23,80	1,69	38	2134	53
35,34	32,80-37,42	1,64	19	929	51
46,60	45,25-48,40	0,56	4	257	43

Для каждой группы изучено распределение элементов по трем категориям зольностей в интервалах S, M, L, соответственно, с малыми, средними и высокими показателями (рис. 1.1). Наборы элементов, при этом, распределились следующим образом (табл. 1.2). Выделенные группы характеризуются общей закономерностью вхождения наибольшего числа исследованных элементов в середину интервалов M. Поэтому для каждой группы особым диагностическим значением обладают наборы элементов в интервалах S, L (табл. 1.1, 1.3, рис. 1.1).

Таблица 1.2 – Распределение наборов элементов

Зольность, A^d ср., %	S, %	M, %	L, %
8,06	4,1	83,7	12,2
13,86	4,3	89,3	6,4
22,24	2,2	66,7	31,1
35,34	2,0	84,3	13,7
46,60	9,3	88,4	2,3

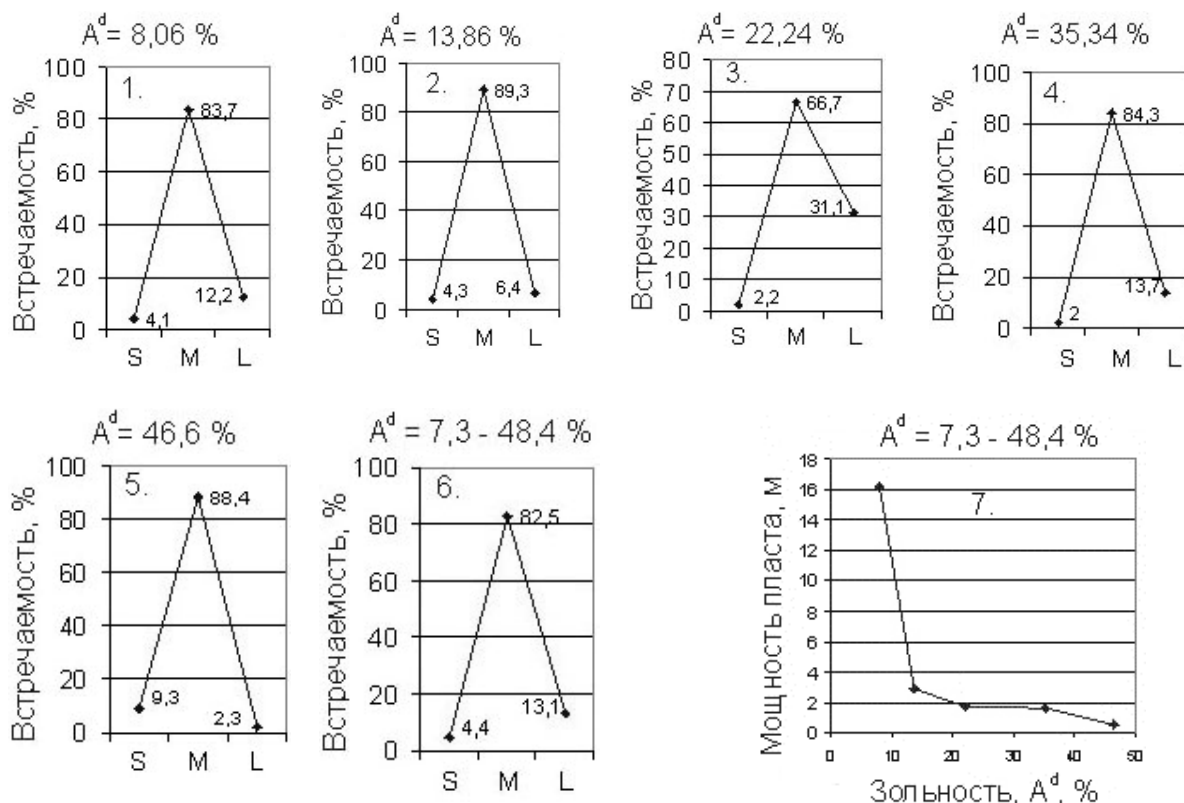


Рисунок 1.1 – Распределение встречаемости (1 – 6) элементов в кузнецких углях и мощности пластов (7) по группам зольности:

S – минимальное (small); M – среднее (middle); L – максимальное (large) значения

Таблица 1.3 – Элементы в группах S, L

A^d ср., %	S	L
8,06	K, Se	Li, Zn, Rb, Ag, Au, Hg
13,86	K, Se	Li, Cd, Au
22,24	Ag	Be, B, F, Co, Zn, As, Sr, Nb, Mo, Sn, Ba, Yb, Au, Hg
35,34	Cl	As, Ag, Sb, U, F, Sn, Au
46,60	Na, Mg, Ca, Fe	Rb

Из показанных наборов элементов для высокозольных фракций, в первую очередь, для интервалов L характерны Rb, Au, Ag, Hg. Этот вывод имеет прямое поисковое значение при исследовании углей, их продуктов разделения и сжигания. Элементы низкзольных фракций (S) представлены немногочисленными наборами или отдельными элементами. Так, первые три группы из интервалов S характеризуются наличием K, Se, Ag. Последний из этих элементов более характерен для L-интервалов. Однако, следует иметь ввиду, что серебро способно входить в составы органических соединений и поэтому его не следует отождествлять с элементами, присущими только неорганической части углей. Это утверждение справедливо, по-видимому, для ряда других представителей металлов и неметаллов в углях [5, 13].

В последних двух группах интервалов S выделены Cl, Na, Mg, Ca, Fe. Это, скорее всего, связано с преобладанием в обломочной, глинистой хемогенной частях неорганической минеральной массы подобных высокозольных углей карбонатов, полевых шпатов, возможно, самостоятельных галоидных соединений или примесей галогенидов.

Склонность рубидия к L-интервалам фракций достаточно уверенно отмечалась нами при изучении кузнецких углей. Приуроченность к упомянутому выше интервалу Li, Zn, Be, B, Sr, Nb, Mo, Yb вызывает ряд вопросов, прежде всего потому, что они более свойственны M-интервалам. В последних широким распространением пользуются литофильные, халькофильные, сидерофильные элементы, общее количество которых достигает 30-43.

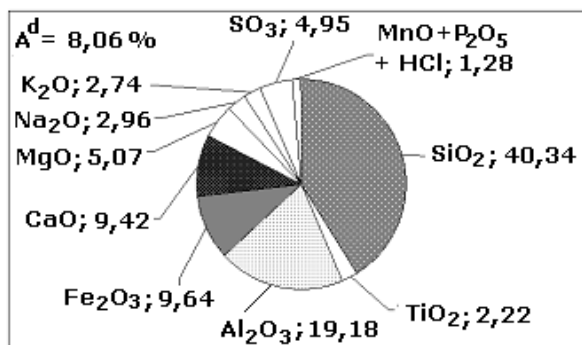
Одним из наиболее представительных примеров фрагментов ассоциации M-интервалов можно полагать Li, Be, B, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Hf, Ta, Pb, Bi, Th. Заметим, что РЗЭ являются наиболее постоянными участниками этой композиции в сопровождении Sc, Ti, Y, Zr, Nb, Hf, Ta, Th, U. Нередко Be, B, F, Ti, V, Cr, Mn, Co тесно увязаны с перечисленными элементами, образуя в общей картине закономерных корреляционных связей кластерные центры.

Главные данные об элементах (компонентах) золообразователях, также типично представляющие M-интервалы, с их показателями для массивов изученных проб приведены в таблице 1.4 и рисунке 1.2.

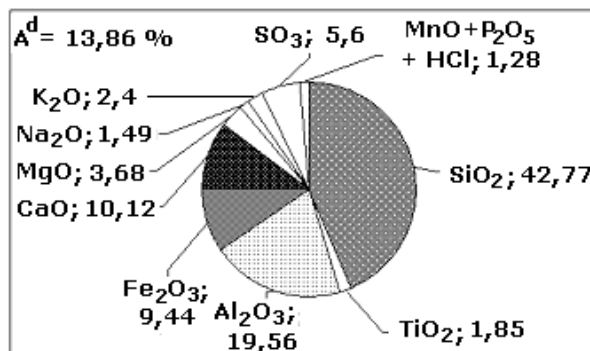
Таблица 1.4 – Осредненные показатели главных компонентов золы кузнецких углей, %

Средние пред. зольности, A ^d , %	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	HCl
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8,06 (7,29- 8,44)	40,34	2,22	19,18	9,64	9,42	5,07	0,22	2,96	2,74	4,95	0,67	0,39
	78	181	79	143	130	101	181	135	14	78	77	56
	81	368	82	186	153	119	382	159	14	80	78	66
	41,7	96,8	42,2	76,5	69,5	54,0	96,8	72,2	7,5	41,7	41,2	29,9
	5,61	6,21	5,57	6,37	5,57	5,62	6,29	5,88	2,60	5,63	5,47	7,07
13,86 (12,14- 15,55)	42,77	1,85	19,56	9,44	10,12	3,68	0,21	1,49	2,40	5,60	0,95	0,27
	70	218	66	175	139	101	220	174	19	66	66	79
	72	465	68	233	164	122	488	218	19	67	67	84
	30,7	95,6	28,9	76,8	61,0	44,3	96,5	76,3	8,3	28,9	28,9	34,6
	3,71	2,86	3,88	2,81	2,97	3,11	2,88	2,73	4,46	3,84	3,82	3,31
22,24 (18,60- 23,80)	45,14	1,60	17,56	9,82	10,14	4,50	0,08	1,48	1,96	5,76	0,54	0,24
	5	37	5	28	21	11	37	27	1	5	5	9
	5	65	5	33	24	11	61	31	1	5	5	13
	13,2	97,4	13,2	73,3	55,3	28,9	97,4	71,1	2,6	13,2	13,2	23,7
	2,23	1,60	2,23	1,60	1,91	1,69	1,60	1,60	1,80	2,23	2,23	1,37
35,34 (32,80- 37,42)	57,07	1,12	16,52	7,34	9,38	1,31	0,16	0,67	-	4,10	0,32	0,02
	2	19	2	5	5	4	19	3	-	2	2	1
	2	25	2	6	6	4	24	4	-	2	2	1
	10,5	100	10,5	26,3	26,3	21,1	100	15,8	-	10,5	10,5	5,3
	-	1,69	-	0,83	0,83	1,05	1,69	0,83	-	-	-	1,90
46,60 (45,25- 48,40)	70	0,53	16,40	1,65	1,76	0,88	0,02	0,11	-	-	-	-
	-	4	-	2	2	2	4	2	-	-	-	-
	-	6	-	2	2	2	6	2	-	-	-	-
	-	100	-	50	50	50	100	50	-	-	-	-
	-	0,53	-	0,75	0,75	0,20	0,53	0,75	-	-	-	-

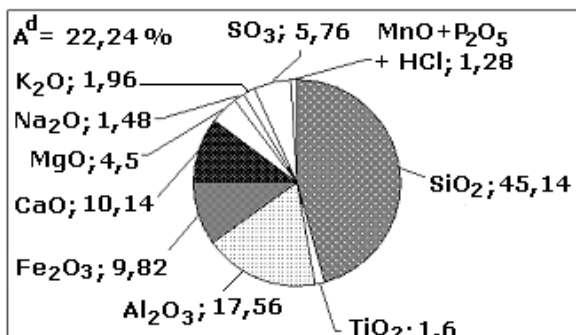
Примечание: данные в колонках 2-13 в строках сверху - вниз: содержания компонентов, %; количество проб; количество элементопределений; встречаемость, %; средняя мощность пласта, м.



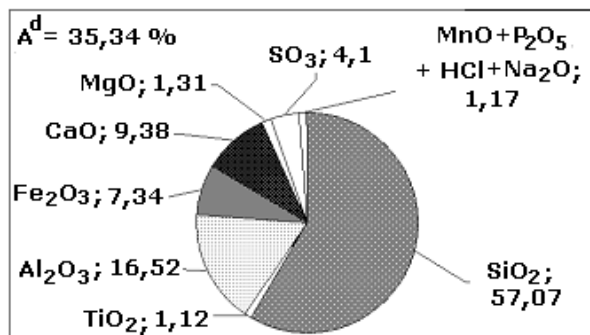
А. Распределение главных компонентов в золах кузнецких углей $A^d = 8,06\%$



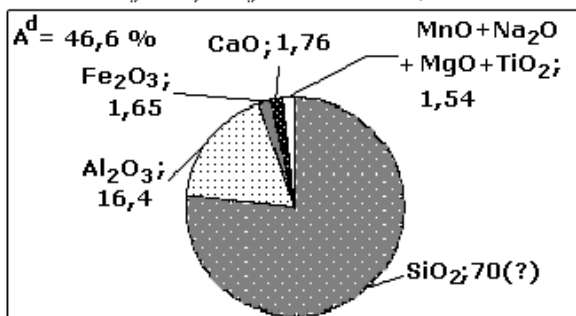
Б. Распределение главных компонентов в золах кузнецких углей $A^d = 13,86\%$



В. Распределение главных компонентов в золах кузнецких углей $A^d = 22,24\%$



Г. Распределение главных компонентов в золах кузнецких углей $A^d = 35,34\%$



Д. Распределение главных компонентов в золах кузнецких углей $A^d = 46,6\%$

Рисунок 1.2 – Распределение средних содержаний главных компонентов (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, и др.) в золах кузнецких углей при средних показателях зольностей ($A^d = 8,06; 13,86; 22,24; 35,34; 46,6\%$)

Массивы проб для SiO₂ и Al₂O₃ изучены не в полной мере (до 29 - 42 %). В последнем, самом высокозольном интервале, эти компоненты определены экстраполяцией. Близки к 100 % уровню изученности TiO₂, MnO; несколько хуже (50-70 %, или меньше) изученность Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O. До 42 % осредненных содержаний базы данных характеризуют изученность SO₃, P₂O₅. До 35 % – для HCl. Калий изучен недостаточно, в пределах 2,6-8,3 %. В общем, изученность с увеличением зольности проб падает, т. к. пласты углей с зольностями свыше 25 % не разрабатываются на

большинстве добывающих предприятий Кузбасса. Такие пробы из вскрытых пластов отобрать не представлялось возможным. Средняя вычисленная мощность пластов также, соответственно, убывает с возрастанием их средней зольности – 5,66; 3,36; 1,84; 1,26; 0,58 м; 8,06; 13,86; 22,24; 35,34; 46,60 %. С повышением содержаний SiO_2 увеличивается зольность: SiO_2 , % – 40,34; 42,77; 45,14; 57,07; 70,0; A^d ср., % – 8,06; 13,86; 22,24; 35,34; 46,60.

Обратная зависимость выявляется для Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO (?), MgO , MnO (?), Na_2O , K_2O , SO_3 (?), HCl . В дальнейшем следует изучить зависимость связей компонентов золы углей и содержаниями ЭП. Подобные оценки нами были реализованы и изложены в публикациях [86, 100].

Концентрации химических элементов далее будут обозначены известными терминами регионального кларка или регионального коэффициента концентрации и коэффициентов, численно представляющих отношения содержаний ($C_{\text{кузн.}}:C_{\text{кларк}}$), т. е. концентрации мирового уровня: по углям – ККУ, золам углей – ККУЗУ, глинистым породам – ККГП. Эти группы показателей в достаточной мере отражают особенности геохимического статуса кузнецких углей.

Региональные кларки, т. е. местные показатели геохимического статуса, для каждого элемента рассчитаны по всем пробам и элементопределениям. При этом, вычисленные средние зольность и встречаемость элементов равны 13,22 и 65,7 %. Средние для 55 элементов показатели коэффициентов концентраций, т. е. численные отношения к мировым данным составили [194]: по каменным углям – ККУ – 2,6; золам каменных углей – ККУЗУ – 2,9; глинистым породам относительно расчетных кларков для теоретической золошлаковой массы – ККГП – 36,0. Они отвечают средней плотности углей $1,44 \text{ г/см}^3$ и средней мощности угольного пласта 4,09 м. По частным выборкам для РЗЭ (7) (в скобках количество избранных элементов), ценным и потенциально ценным элементам (36), токсичным, потенциально токсичным и радиоактивным элементам (19) вычислены следующие осредненные данные (табл. 1.5)

Таблица 1.5 – Показатели коэффициентов концентраций

Группа	ККУ	ККЗУ	ККГП	Плотность, г/см ³	Мощность пласта, м
РЗЭ (7)	3,9	2,0	4,6	1,45	3,95
ЦПЦ (36)	3,2	3,4	51,4	1,45	4,03
ТПТ (19)	1,4	1,8	6,9	1,43	4,14

Из приведенных данных ясно, что показатели ЦПЦ кузнецких углей по примесям химических элементов превосходят выявленные группированные данные ТПТ по токсичности углей.

Индивидуальные характеристики разрабатываемых пластов углей и получаемой углепродукции по геохимическим данным могут стимулировать новое направление маркетинга товарных углей. Действительно, при содержании, в частности, золота в каждой тонне угля 0,1 г/т его содержание в минеральной зольной массе при зольности 13,2 % окажется равной 0,76 г/т. Цена тонны продаваемого угля, при этом, может быть обоснованно увеличена. Безусловно, расчеты дополнительной коммерческой или потребительской ценности углей или отходов имеют смысл при реализации соответствующих технологий извлечения ценных металлов. Стремление их осуществить значительно бы повысило интерес к минеральным отходам угольной, коксохимической, металлургической и других отраслей промышленности [3, 12, 15, 23].

Для удобства дальнейшего рассмотрения вычислены фоновые показатели относительно районного ККУ для 5 групп выделенных зольностей (табл. 1.6). Показатели РККУ, как и другие показатели коэффициентов концентраций, целесообразно объединить в пять уровней групп.

Заметно выражена связь пяти групп проб с различной зольностью. С ее возрастанием увеличиваются фоновые показатели для Li, S, K, Sc, Ti, V, Fe, Co, Ni, Zn, Rb, Y, Cd (?), Sn, Sb, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, W (?), Pb, Th, U. Убывают те же показатели для Na, Ag, Ta, Au, Hg. Не обнаружили этих зависимостей – Al, B, Mg, Al, Si, P, Ce, Cr, Mn, Ga, Ge, As, Se, Sr, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Tb, Bi.

Достаточно определенно выявляется характер связей зольности, мощности пласта или его фрагмента с фоновыми показателями концентраций. Для их представления обозначим стремление элементов оказаться в отно-

сительно мощных пластах (фрагментах) через L1, L2, L3, L4, L5 и мало-мощных пластах (фрагментах) через S1, S2, S3, S4, S5, где цифрами в порядке увеличения индицированы выделенные выше группы зольности. Размещение элементов оказалось следующим (табл. 1.7).

Таблица 1.6 – Группы уровней концентраций элементов в кузнецких углях

Наименование уровня	Интервал КК	Элементы
Подфоновый	0-1,0	Be, B, F, Al, Si, S, K, Ti, V, Fe, Ga, Se, Mo, Cd, Sb, W, Pb
Надфоновый	1,0-3,0	Na, Mg, P, Cl, Ca, Sc, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, Rb, Y, Sn, Cs, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Th, U
Средний	3,0-5,0	Li, As, Sr, Ba, Lu, Hg
Высокий	5,0-10,0	Zr, Ag, Hf, Ta, Au, Bi
Аномальный	Более 10,0	Nb, La, Au

Таблица 1.7 – Характеристика приуроченности элементов к пластам углей с различной мощностью и зольностью

Индекс	Элементы
S1	Al, P, K, W
S2	Sb, W, S, Hg
S3	Cl, As, Se, Sr, Sb, Au, Hg
S4	F, Na, Mg, Ca, Fe, As, Sb, Ta, Hg
S5	Mg
L1	Cl, Zn, Ge, As, Mo, Au, Sb
L2	Al, S, Bi
L3	Al, Si, P, Zn, Rb, Ag, Ta, Bi, Tb
L4	Cl, Zn, Ge, Bi
L5	Na, Ca, Fe, Rb

Выявленные особенности приуроченности элементов не могут быть однозначно интерпретированы. Низкозольные угли Кузбасса обычно связаны с пластами большой мощности. При длительном времени накопления растительного материала с изменением состава вадозных вод, при сменяемости процессов растворения и осаждения в процессах углефикации и в меньшей степени, возможно, благодаря тектоническим, магматогенным, метасоматическим процессам происходило «закрепление» в угольной массе именно ассоциаций L1, L2. Ассоциации L3, L4, L5 в своем становлении в значительной мере испытали и отражают процессы раннего и позднего диагенеза, связанные с формированием карбонатов, фосфатов, сульфидов,

силикатов. Последние, безусловно, поступали в области накопления в виде глинистого и обломочного материала, вулканической пыли, способствуя росту зольности.

Происхождение минерального неорганического материала в маломощных угольных пластах, существенно, механически привнесенное глинистое и обломочное – S3, S4, S5. В таких пластах следует искать в карбонатах, фосфатах, хлоридах, сульфидах, оксидах наиболее высокие концентрации Se, Sr, Sb, Au, Hg, As, Ta и геохимически тесно связанные с ними РЗЭ.

Понятия о ценных и токсичных элементах, как примесях в углях, недостаточно полно формулируются. Обычно ассоциации этих элементов групп называют ценными и потенциально ценными, токсичными и потенциально токсичными [62]. Не существует также в достаточной мере надежных критериев для комплексной оценки свойств ценности или токсичности естественных ассоциаций. Последнее для оценки токсичности элементной или минеральной (молекулярной) ассоциации весьма существенно. Здесь, в будущем, должны найти отражение как экологические и медицинские нормы [39] безопасных содержаний (пороги) в углях и минеральных отходах для отдельных элементов, минералов и химических соединений, так и для конкретизированных их сообществ с учетом совместного усиления их токсичного воздействия в различных природных средах. Развертывание этих направлений исследований остро необходимо при ожидающихся перспективах увеличения в энергетике доли угольной продукции [141]. Для предотвращения экологических потерь следует определиться в комплексе требований к дополнительной коммерческой оценке рудных элементов их ассоциаций и минеральных групп.

Декларированный [146] набор токсичных и потенциально токсичных элементов представлен в таблице 1.8. Общая тенденция размещения показателей размещения концентраций элементов-примесей в ЗШМ показана на примерах осредненных данных по коксующимся и энергетическим углям (рис. 1.3).

По приведенным оценкам только таллий (!) превосходит порог токсичности. Он выявлен в товарной продукции углей марки СС разреза им.

Вахрушева. Продукцию этого разреза, разрабатываемые пласты необходимо в дальнейшем мониторировать на содержание таллия, других элементов [53, 54]. Максимальные выявленные нами содержания элементов в углях и ЗШМ (по расчетам) приведены ниже (табл. 1.9).

Таблица 1.8 – Выборка данных и расчетов для ТПТ

Элемент	Содержание в углях, г/т		Средняя зольность, $A^{дср}$, % на элемент для кузнецких углей	Содержание в ЗШМ, г/т	
	декларированные пороговые	в кузнецких углях		расчетные пороговые	в кузнецких углях
Be	50	2,2	13,58	368	16,4
V	100	21,0	13,59	736	154,2
Co	100	8,2	13,55	738	60,1
Cd	1,2	0,3	10,84	11,1	2,5
Mn	1000	202,0	13,57	7469	1485
As	300	77,1	14,21	211	542,6
Ni	100	16,1	13,58	736	118,4
Hg	1	0,2	14,80	6,8	1,6
Pb	50	9,8	13,56	369	72,5
Se	1000	0,5	11,41	8764	4,1
Sb	6	2,0	16,78	35,8	11,8
Tl	0,3	14,0	10,50	2,9	133,3
Zn	200	38,0	13,96	1433	272
F	500	80,3	14,99	3336	535,4
Cr	100	24,4	13,54	739	179,8
Cl	6000	361,7	11,71	51238	3088,8

Таблица 1.9 – Сравнения данных кларковых содержаний для ТПТ кузнецких углей

№*	Be	F	V	Cr	Mn	Ni	Zn	As	Sb	Hg	Pb
1	70	500	240	500	5000	320	200	1000	9,4	5,45	77
2	516	3336	1766	3693	36846	2356	1433	7037	56,0	37,0	568
3	1,4	1,0	2,4	5,0	4,9	3,2	1,0	3,3	1,6	5,4	1,5

Примечание: * – 1. Максимальные содержания в кузнецких углях, г/т; 2. Расчетные максимальные содержания для ЗШМ кузнецких углей, г/т; 3. Расчетный пороговый коэффициент концентрации.

Как видно по приведенным данным, вероятные концентрации по ЗШМ группы из 11 элементов ТПТ могут достигать 1,0-5,4. С наиболее высокими уровнями концентраций в кузнецких углях могут оказаться – Cr, Mn, Ni, As, Hg. Вся группа ТПТ должна отслеживаться в недрах при геоло-

горазведочных работах и от начала до завершения разработки угольных пластов.

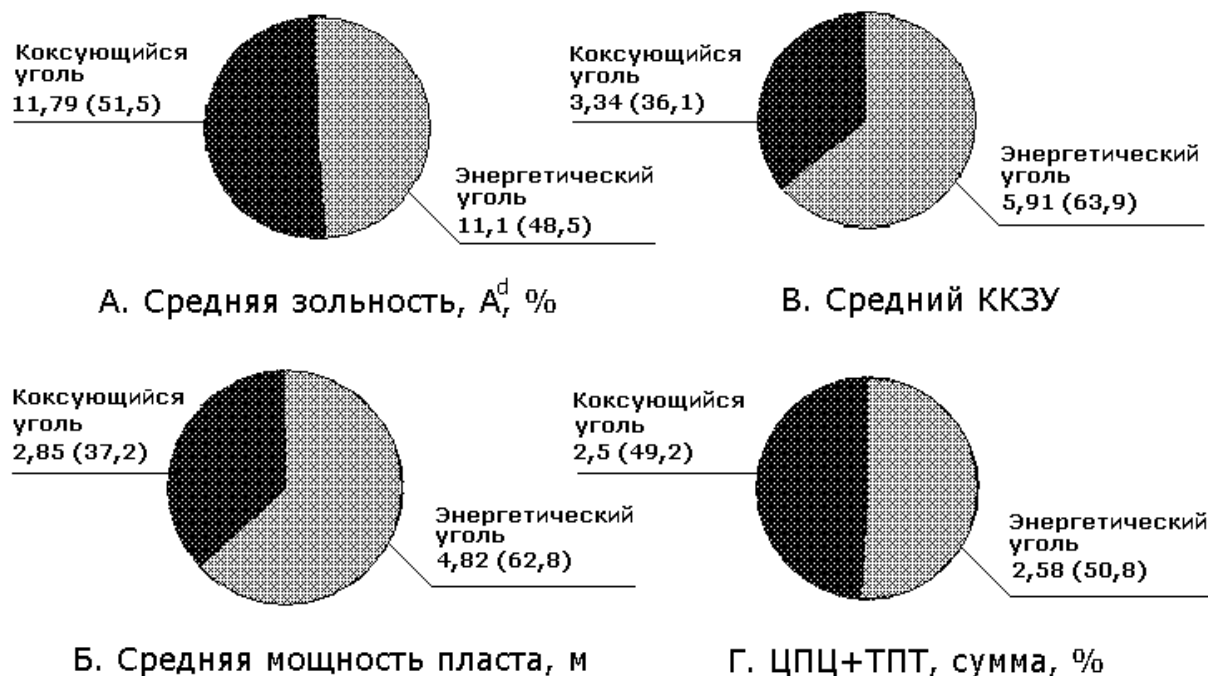


Рисунок 1.3 – Показатели (доли) геохимических характеристик кузнецких коксующихся и энергетических углей (в золошлаковом материале)

Отметим здесь также роль радиоактивных элементов Th и U, изотопа ^{40}K . Первые два достаточно неплохо изучены: 405 и 333 пробы, 548 и 410 элементопределений; встречаемость – 85,1 и 70,0 %. По ^{40}K , другим активным изотопам данных в базе нет. Торий и уран кузнецких углей при средних содержаниях 4,198 и 4,125 г/т превышают нормативы по естественным радионуклидам – 3,5 и 3,0 г/т. Максимальные их содержания в кузнецких углях – 42,96 и 16,4 г/т, что соответствует их содержаниям в ЗШМ– 320 и 118 г/т. Такие показатели содержаний превышают рудные и опасны для человека. Поэтому постоянный мониторинг естественных радиоактивных изотопов необходим, включая ^{40}K и другие. Изотопы калия, вероятно, пользуются не меньшей встречаемостью, чем Rb, который имеет распространенность в кузнецких углях не менее 34,7 %. Наши оценки средних суммарных показателей содержаний ТПТ элементов в углях не ниже 0,37 %, в ЗШМ – не ниже 3,3 %.

Необходимо подчеркнуть, что в бурых окисленных углях одного из северных районов Кемеровской области (пласт Итатский, I₂it) нами выявлено содержание урана – 139 г/т, в ЗШМ – 902,6 г/т, в пересчете на UO₂ – 1023,9 г/т. Эти сведения имеют не только важное поисковое значение, но и экологическое, в т. ч. для принятия решений об усилении экологического контроля за распространенностью ЕРН в углях, отходах их добычи, переработки и сжигания.

Ценные и потенциально ценные элементы достаточно полно представлены в разрабатываемых пластах кузнецких углей. По опубликованным данным их 41 [146]. Нами рассматриваются в этой группе большее число изученных в кузнецких углях элементов, т. к. их повышенные содержания, устойчивая распространенность и наличие в отдельных случаях рудных содержаний позволяют внести в этот список 50 элементов, включая Al и Fe. Распространение их в ЗШМ коксующихся и энергетических углей показано на рисунке 1.4.

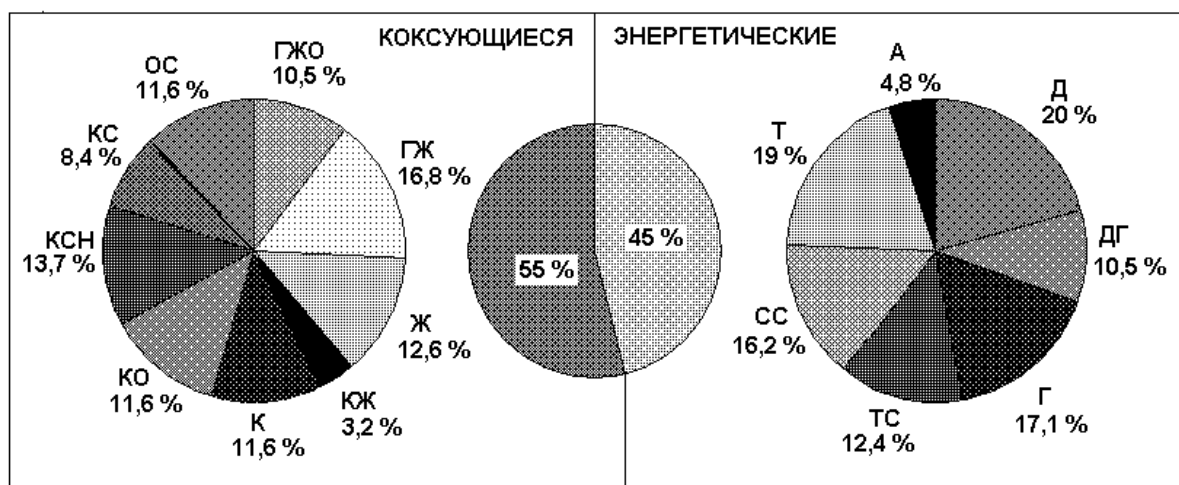


Рисунок 1.4 – Доли участия сумм элементов-примесей в их геохимическом распределении по маркам коксующихся и энергетических кузнецких углей в ЗШМ

Блоковая структура Кузнецкого бассейна, занимающая от девона до верхней перми положение подвижного сегмента среди более древних «жестких» массивов Салаира, Горной Шории, Кузнецкого Алатау, способствовала формированию тектонических условий накопления в озерно-болотных фациях торфяных залежей [142]. Они абсорбировали и накапли-

вали в растительном органическом веществе из пропитывающих растворов и вадозных вод комплексы элементов, характерные для каждого интервала геологического времени, когда осуществлялось массовое поступление обломочного, глинистого растворенного материала, а также продуктов вулканической и магматической интрузивной деятельности. Существенный вклад в накопление элементов вносил также привнос рудного материала из выветривавшихся металлоносных месторождений. Суммарное сочетание благоприятствующих геологических факторов привело, в итоге, к образованию металлоносных пластов углей в недрах кузнецких месторождений [176, 177].

В петрографическом наборе пород бассейна, кроме углистых песчаников, алевролитов, аргиллитов нередко встречаются почти мономинеральные породы в виде желваков и пластообразных тел, представленных карбонатами кальция, магния и железа. Породы также содержат в различных частях бассейна значительные количества фосфора [65], могут быть окремнены, аллитизированы. Все эти и другие факты свидетельствуют о выраженной химической дифференциации и концентрации вещества, происходившей как в период осадконакопления, так и после него.

Таким образом, породы бассейна и пласты углей могут являться носителями рудных концентраций различных химических элементов с различной природой концентрирования. По данным Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис выделен ряд генетических компонентов золы (или их классов), включающий показатели A (ash – англ., Asche – нем.) происхождения: $A_{\text{био}}$ – биогенная; $A_{\text{сорб}}$ – сорбционная; $A_{\text{конкр}}$ – конкреционная; $A_{\text{класт}}$ – кластогенная; возможно, $A_{\text{хем}}$ – хемогенная, седиментационная [155, 156]. По нашему мнению $A_{\text{хем}} = A_{\text{сорб}} + A_{\text{конкр}} + A_{\text{класт}}$. Такое обобщение справедливо с позиций понимания различных механизмов химического осаждения вещества в атомарной ($A_{\text{сорб}}$), молекулярной ($A_{\text{конкр}} + A_{\text{класт}}$) формах. Рудные содержания элементов в каменных углях нередко следует причислять к деятельности (результату) аллогенных процессов элементонакопления таких как: низкотемпературные гидротермальные, метасоматические, контактово-термальные при внедрении и остывании интрузий (с образованием силлов, даек, других форм тел) в ходе истории магматической деятельности,

холодной дегазации. Аналогичные по химизму процессы реализуются также и при естественном выгорании угольных пластов или угольно-породных отвалов (терриконики). Недостаточно выяснена при этом роль биогенных процессов с участием микроорганизмов.

Последнее подтверждается примерами максимальных и рудных содержаний в зольной компоненте углей. К таким показателям могут быть отнесены вычисленные для ЗШМ рудные содержания алюминия (22,3-42,1 Al_2O_3), железа (52,8 %), а также Li, Be, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, La и суммы РЗЭ, Au, Th, U. Эти и другие изученные нами элементы в пробах, кроме тех, для которых отсутствовали данные определений (In, Te, Re, Pt, Pd и др.) спорадически встречающиеся (Cd, W, Tl), составляют геохимическую ассоциацию ЦПЦ [146]. Поиски их в угленосной толще и в пластах углей привели к открытию нами новых металлоносных объектов добычи. Учитывая изложенное, следует пересмотреть и заново изучить соответствующие продукты, сырье, накопленные отходы горных, обогатительных, коксохимических, металлургических предприятий, тепловых электростанций в Кузбассе и в других регионах России, где в течение длительного времени потреблялись кузнецкие угли в значительных количествах и накоплены соответствующие минеральные отходы.

Поисковые работы рекомендуется направить в ближайшем будущем на выявление и оценку Pt, Pd, Rh, Ir, Os, Ru и In, Te, Re. Необходимо продолжить поиски и определение токсичных и ценностных характеристик таллия, его приуроченности к пластам углей Прокопьевско-Киселевского и других районов. При поисковых работах, вероятно, следует обратить внимание на особенности преимущественного вхождения в относительно маломощные пласты Li, Sn, Sb, Cs, Sm, Eu, Lu, Hf, W (?), Ag, Hg, Th, U. В пластах с максимальными мощностями следует ожидать высоких содержаний Al, Zn, Ge, Ag, Cd, Bi. Связь осредненных показателей с повышенной плотностью углей ($1,50 \text{ г/см}^3$ при зольности 16,67 %) обнаружена для золота по 82 пробам.

В дальнейшем требуется выявить и изучить минеральные носители ассоциаций элементов, соответственно, для литофильных, халькофильных, сидерофильных групп. Для этого рекомендуется выделить из углей орга-

нические и неорганические фракции. Последние, вероятно, следует получить испарением навески угля в холодной плазме с тем, чтобы в ходе пробоподготовки не изменить, насколько это возможно, состав и структуру первичных минералов зольной массы углей. Изучение кристаллохимии неорганических минеральных компонентов золы в дальнейшем предполагается осуществить с применением современных средств электронно-микроскопической, микроанализаторной и другой исследовательской техники и новых технологий.

Полученные массивы данных потребуется хранить и обрабатывать с применением компьютерных информационных технологий, современных и новых программных средств, в том числе в целях использования 3Д ГИС для составления электронных геохимических карт [110].

Выявление в пластах углей и углевмещающих породах отдельных «маркирующих» элементов, их изотопов и ассоциаций позволит не только уточнить схемы стратиграфии. Атомарные комплексы могут служить в качестве руководящих поисковых признаков при организации производственного геологического изучения угленосных отложений и других объектов. Такой инструментарий исследований применим также при поисковых работах на нефть, газ, минерализованные подземные воды, другие полезные ископаемые.

В Кузбассе разрабатываются пласты с каменными углями 15 марок по ГОСТ 22543-88, в т.ч. Д, ДГ, Г, ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КСН, КС, ОС, ТС, СС, Т и антрацит – А. Бурый уголь (группа 2Б) добывают в северной части Кемеровской области, в частности, на небольшом разрезе «Итатский». Показатели геохимической изученности марок углей приведены нами в книге «Угольная база России...» [142].

Для коксования используются марки углей Г, ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КСН, КС, ОС, СС. Наиболее дефицитные среди них Ж, КЖ, К, ОС. Сырьевая база последних и объем добычи сократились в результате проведенной реструктуризации и закрытия добывающих предприятий. Были ликвидированы 21 шахта с не добытыми вскрытыми запасами дефицитных коксующихся углей в сумме 792 млн. т. Особенно ощутимы потери вскрытых запасов марки К на полях шахт им. Шевякова (229 млн. т), «Север-

ный Маганак» (43); по марке Ж на ш. «Западная» (19), ш. «Карагайлинская» и «Высокая» (77). На строящихся шахтах и недавно введенных в эксплуатацию будут отрабатываться запасы энергетических углей марок Д и Г. Вскрытые промышленные запасы в Кузбассе составляли 1772,3 млн. т. Из них доля дефицитных коксующихся углей в добыче составляет по маркам (в процентах): Ж (8,5), КЖ (0,5), К (2,1), ОС (5,0) [88]. Сумма их годовой добычи, ориентировочно, составила 16 млн. т. Таким образом, вскрытые запасы могут обеспечить добычу этих углей (без учета потерь) в течение 17 лет. Реальный срок исчерпания упомянутых запасов может оказаться не более 5-8 лет. Последнее, если не принять соответствующие меры, приведет к усилению сырьевого коксового дефицита, резкому удорожанию продукции металлургических предприятий, новым всплескам инфляции и стагфляции.

Предваряя рассмотрение геохимических данных по маркам кузнецких углей заметим, что для черной металлургии полезными примесями в углях являются Sc, V, Cr, Mn, Ni, Co, Y, Zr, Nb, Mo. Суммы содержаний этих примесей, переходящих в кокс и металлургическую продукцию составляют для марок, в г/т: Ж – 6653, КЖ – 2281, К – 4839, ОС – 6552 или 0,2-0,7 %. По веществу и маркам вклад этих легирующих элементов приведен в таблице 1.10. Выборочные данные об изученных марках углей по массивам проб изложены в таблице 1.11 и отражены суммарно по маркам углей и антрациту (рис. 1.5).

Таблица 1.10 – Дифференциальный вклад примесей (г/т) легирующих элементов по маркам

Марка	Sc	V	Cr	Mn	Co	Ni	Y	Zr	Nb	Mo
Ж	39,5	208,1	201,8	1315,0	37,2	84,2	181,1	4426,0	150,1	9,9
КЖ	27,4	149,2	210,4	441,3	58,3	122,5	127,0	1079,0	60,3	5,0
К	31,3	150,0	162,2	1354,0	60,9	109,8	165,8	2661,0	134,3	10,2
ОС	40,4	258,4	205,0	2508,5	112,1	241,3	202,4	2833,3	131,1	19,9

Таблица 1. 11 – Показатели изученности кузнецких углей

Показатель	Д	ДГ	Г	ГЖО	ГЖ	Ж	КЖ	К
Кол.элементов	52	47	53	44	46	48	43	53
Кол. проб	30	3	26	1	11	9	4	53
Сред. встреч., %	68,0	82,3	69,2	100,0	78,7	88,9	68,6	62,8
Сред. зольн., %	8,27	10,73	10,66	8,50	7,75	12,27	16,21	13,29
Сред. ККУ	2,1	2,6	4,9	2,4	2,0	2,5	2,0	2,9
Сред. ККЗУ	4,2	3,2	19,0	4,3	4,5	3,1	1,5	3,0
Сред. уд.в., г/см ³	1,41	-	-	-	-	-	-	1,45
Сред. мощн.пл.,м	4,58	2,31	2,55	1,6	1,66	1,69	1,94	2,96
Сумма РЗЭ*, %	0,1	0,03	0,04	0,07	0,04	0,04	0,02	0,04
Сумма ЦПЦ*, %	2,9	1,9	2,4	3,4	2,9	2,7	1,4	1,8
Сумма ТПТ*, %	3,6	1,5	3,2	1,4	4,7	3,1	0,04	3,5
Сумма*, %	8,4	4,3	7,1	6,2	9,6	7,3	1,9	6,7
	КО	КСН	КС	ОС	ТС	СС	Т	А
Кол.элементов	54	52	53	54	44	55	54	45
Кол. проб	55	16	116	10	2	47	89	2
Сред. встреч., %	78,2	71,5	68,4	70,0	90,9	65,3	60,7	85,6
Сред. зольн., %	11,3	8,94	17,67	10,21	13,2	9,51	14,21	17,5
Сред. ККУ	3,0	2,5	2,7	2,4	2,0	2,6	2,6	1,9
Сред. ККЗУ	4,2	4,2	2,2	3,1	2,5	3,8	2,8	1,6
Сред. уд.в., г/см ³	1,35	1,33	1,53	1,46	-	1,34	-	-
Сред. мощн.пл.,м	5,83	3,48	2,56	3,95	5,93	7,84	5,71	1,84
Сумма РЗЭ*, %	0,06	0,09	0,03	0,03	0,03	0,06	0,04	0,02
Сумма ЦПЦ*, %	2,0	3,3	1,5	2,5	2,2	2,3	2,1	2,2
Сумма ТПТ*, %	3,2	2,6	2,4	2,7	1,9	2,8	4,2	0,06
Сумма*, %	6,7	7,6	4,9	6,6	5,2	6,6	8,0	2,9

Примечание: * – в золошлаковой массе (ЗШМ).

Кузнецкие угли															
Энергетические						Коксующиеся									
Д	ДГ	Г	ТС	СС	Т	ГЖО	ГЖ	Ж	КЖ	К	КО	КСН	КС	ОС	А
8,4	4,3	7,1	5,2	6,6	8	6,2	9,6	7,3	1,9	6,7	6,7	7,6	4,9	6,6	2,9
100 %															

Рисунок 1.5 – Суммы содержаний (%) элементов-примесей в кузнецких углях, антраците

Рассмотрение перечня показателей изученности марок углей по ведущим позициям позволяет отметить следующее:

- при достаточно полном наборе 48-55 исследованных элементов отдельные марки углей не обладают достаточным набором проб – ДГ, ГЖО, КЖ, ТС;

- наиболее низкочольными среди изученных групп являются марки углей Д, ГЖ, КСН;

- наиболее высокие коэффициенты концентраций у группы проб углей марки Т;

- наиболее высокие суммы содержаний избранных наборов элементов у углей марок Д – РЗЭ (0,1 %), КСН – РЗЭ (0,09 %) и ЦПЦ (3,3 %); ГЖ – ТПТ (4,7 %);

- максимальной осредненной мощностью пластов характеризуются марки СС, ТС, КО, Д; минимальной – Ж, ГЖ, антрацита;

- суммы содержаний ТПТ преобладают над суммами ЦПЦ в группах проб марок Д, Г, ГЖ, Ж, К, КО, КС, СС; наименьшие суммы содержаний ТПТ выявлены для марки КЖ, антрацита.

Данные отражают при примерно равной зольности групп энергетических углей и антрацита (12,0 %), коксующихся углей (11,79 %) преобладание сумм содержаний в коксующихся углях следующих элементов: Li, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf. Отмеченное можно объяснить лишь преобладанием пластов коксующихся углей с меньшими мощностями, в среднем, в 1,54 раза при подсчете средних для мощностей двух наборов марок, отвечающих коксующимся и энергетическим углям. Средние мощности составили 4,39 и 2,85 м. Как известно, при формировании угольных пластов с меньшей мощностью и с более сложным внутренним строением пластов более заметна роль геохимических барьеров, которые способствовали отложению вещества. Отметим наиболее значимые, с высокими содержаниями, элементы, выявленные в пластах кузнецких углей с учетом вычисленных содержаний для их ЗШМ.

В энергетических углях по маркам:

Д – В, F, Ca, Sc, Ti, V, Zn, Ga, Ge, Sr, Y, Mo, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Lu, Au, U;

ДГ – Na, Rb, Sr, Ta, Bi;

Г – F, Mg, Sc, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Ge, Rb, Cd, Cs, Sm, Eu, Tb, Yb, Au;

ТС – Al, P, Ca, Zr;

СС – Be, F, Mg, Cl, Ca, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Nb, Mo, Ag, Sn, Cs, Ba, La, Ce, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Au, Hg, Pb, Bi, Th, U;

T – Al, P, S, Fe, Ni, Ga, Ge, As, Se, Y, Zr, Ag, Sb, Cs, La, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Au, Hg, Pb.

В антраците – Al, Ti, Mo, Sn, Sm, Yb, Th.

В коксующихся углях по маркам:

ГЖО – Li, Be, B, Mg, P, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Pb, Bi, Th;

ГЖ – Li, Be, B, Na, Mg, P, S, Ca, Sc, V, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf, Au, Pb, Bi;

Ж – F, Na, P, Cl, Sc, Ti, V, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sb, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf, Hg, Pb;

КЖ – Be, F, Cl, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Cs, Ba, Eu, Hg, Pb;

К – Be, F, Cl, Ca, Ni, Ga, As, Rb, Y, Nb, Mo, Ag (!), Sn, Sb, Cs, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf, Ta, Au, Hg, Th;

КО – Be, F, Mg, P, Cl, K, Ca, Ni, Zn, Ge, As, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Au, Hg, Th;

КЧН – Li, Be, B, F, Na, Mg, P, Cl, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Se, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Au, Hg, Pb, Bi, Th, U;

КС – Al, P, S, Cl, K, Ca, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Y, Mo, Ag, Sn, Sb, Cs, Sm, Hf, Au, Hg, Pb, Bi;

ОС – Li, Be, P, Cl, K, Sc, V, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Y, Zn, Nb, Mo, Ag, Sn, Ba, Sm, Yb, Lu, W, Au, Hg, Pb, Bi.

Для окисленных углей набор изученных проб недостаточен. Даже по отдельным примерам (Ток) имеется возможность сделать выводы о перспективности окисленных углей на изучение в них ценных (токсичных) элементов. Последнее подтверждается выявленными уровнями их содержаний. Сравнение данных по маркам T и Ток приведено в таблице 1.12.

Глубина окисления углей в естественных условиях варьирует в различных пределах, вплоть до полного выгорания органической массы. В данном случае, когда товарная ценность угля не утрачена для энергетического использования, укажем на существенный рост содержаний Li, Na, K, Sc, Ti, V, Cu, Rb, Y, Zr, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Th. Остаются неизменными или несколько возрастают содержания Be, F, Mg, Al, Cl, Cr, Mn, Co, Ni, Ga, As,

Sr, Nb, Mo, Sn, Ba, Yb, Lu, Hf, Ta, Pb, Bi. Уменьшаются – Fe, Ge, Ag, Hg. Поэтому, в значительной мере, окисленные угли следует рассматривать как более перспективный источник получения ценных элементов, чем неокисленные. В целом, металлоносность кузнецких углей может быть представлена по выборке элементов, содержания которых в литературе оцениваются как кондиционные, промышленные [1].

Таблица 1.12 – Отношения содержаний в углях марок (Ток : Т)

Li	Be	B	F	Na	Mg	Al
2,7	1,1	1,8	1,6	2,0	1,9	1,2
Cl	K	Sc	Ti	V	Cr	Mn
1,0	3,0	2,4	2,6	3,2	1,4	1,3
Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge
0,8	1,3	1,3	2,4	0,8	1,8	0,8
As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo
1,0	2,0	1,4	2,0	2,7	1,7	1,4
Ag	Sn	Ba	La	Ce	Sm	Eu
0,4	1,3	1,3	2,0	3,6	3,7	2,4
Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Hg	Pb
2,5	1,8	1,9	1,8	1,0	0,5	1,8
Bi	Th					
1,2	3,3					

Примечание: курсивом выделены отношения больше 3,0.

Нами избраны по ЗШМ для этой оценки 10 элементов с содержаниями в % и г/т: Al (12,0-19,3), Ti (0,3-9,7), Fe (6,0-25,3), Y (0,01-0,07), Zr (0,1-1,8), Nb (0,01-0,03), Ag (10-387 г/т), сумма TR (0,03-0,3), Au (0,2-27,2 г/т), U (0,003-0,01). Пределы этих аномальных содержаний и избранный комплекс элементов вполне охватывают ценностные показатели для добытых товарных углей и залегающих в недрах. Наилучшим из условий дальнейшей выборки является совместное наличие в наборе Al, Fe, TR. Такой набор позволит извлечь 25-35 % компонентов из техногенного сырья с максимальными для них ценовыми и маркетинговыми показателями.

Выявленные самые высокие содержания золота и серебра в пластах не могут рассматриваться как средние данные по пластам. Они обнаружены в единичных пробах и, наряду с другими содержаниями указанных элементов, имеют диагностическое и поисковое значение.

В первую очередь, дальнейшая технологическая оценка возможностей промышленного извлечения металлов из пластов должна быть произведена для следующих 29 объектов добычи (табл. 1.13). Среди перечисленных пластов выделим 21 с максимальными содержаниями металлов и компонентов (табл. 1.14).

Таблица 1.13 – Рекомендуемые для дальнейшей геолого-экономической оценки пласты кузнецких углей

Наименования пластов	Добывающие предприятия
Характерный	разрез «Краснобродский»
I Характерный	разрез «Бачатский»
II Прокопьевский	разрез «Бачатский»
I Прокопьевский	разрез «Бачатский»
Мощный	разрез «Бачатский»
Горелый нижний	разрез «Шестаки»
Бреевский	шахты «Кузнецкая», «Инская»
Инский I	шахты им. Кирова, «Комсомолец»,
Сычевский III	разрез «Моховский»
Шурфовой	разрез «Моховский»
К 1, К 2, К 2а	разрез «Колмогоровский 2»
Сычевский II	шахты «Инская», «Колмогоровская»
IV, IV-V	разрезы «Томусинский», «Междуреченский», «Сибиргинский», шахта «Томская»
XXXII-XXXIII	разрез «Красногорский»
9а	разрез «Калтанский»
Vбис, VIII, X	шахта «Северный Кандыш»
Владимировский	шахта им. Волкова
Кемеровский	разрез «Кедровский»
Подволковский I	разрез «Черниговский»
XXI	шахта «Бирюлинская»
IV	шахта «Бунгурская»
14, 22	шахта «Абашевская»
25	шахта «Юбилейная»

Наиболее продуктивными из них могут быть пласты с рудными содержаниями серебра в пересчете на золошлаковую массу на полях шахт «Бирюлинская», пласт XXI – 387 г/т и «Бунгурская», пласт IV – 335 г/т. Самые высокие содержания титана (8,7-9,7 %) в сопровождении золота (3,94 г/т) и олова в пласте Горелом нижнем позволяют выдвинуть предположение об обломочном механизме накопления этих элементов. Поэтому

пласт Горелый и Мощный на разрезе «Шестаки», вмещающие их породы следует детально исследовать для последующей оценки их металлоносности.

Таблица 1.14 – Максимальные содержания металлов и компонентов в пластах кузнецких углей (по ЗШИМ)

Наименования пластов	Элемент, компонент	Содержание, %, г/т	Место размещения
Vбис, VIII, X	Al Al ₂ O ₃	15,2-18,7 % 28,7-35,3 %	шахта «Северный Кандыш»
Горелый нижний* Мощный	Ti	8,9-9,7 %	разрез «Шестаки»
25	Fe	25,3 %	шахта «Юбилейная»
Кемеровский	Y	0,07 %	разрез «Кедровский»
9а	Zr	1,6 %	разрез «Калтанский»
XXI	Ag	387 г/т	шахта «Бирюлинская»
IV	Ag	335 г/т	шахта «Бунгурская»
Бреевский	Au	27,2 г/т	Ленинский ГЭР
Мощный	TR	0,3 %	разрез «Бачатский»
Мощный	TR	0,1 %	разрез «Шестаки»
Сычевский I	TR	0,1 %	разрез «Моховский»
II, IV, IV-V	TR	0,1 %	Томь-Усинский ГЭР
9а	TR	0,1 %	разрез «Калтанский»
Владимировский	TR	0,1 %	шахта им. Волкова
Шурфовой	U	0,01 %	разрез «Моховский»
K1, K2, K2а	U	0,01 %	разрез «Колмогоровский2»
Мощный	U	0,008 %	разрез «Бачатский»

Примечание: * – в породе – 3,94 г/т золота.

Золото в пласте Бреевском в Ленинском геолого-экономическом районе, при содержании 3,15 г/т в угле (27,2 г/т в золе), может существенно увеличить ценность тонны товарного угля, если окажется, что золотосодержащий уголь можно селективно извлечь [103, 104].

Заметно повышенные, рудные содержания суммы редких земель (TR–La, Ce, Sm, Eu, Tb, Lu), в пределах 0,1-0,3 % при неполном списке их определений, во-первых, дают основание ориентировать поисковые работы на 8 пластах в различных районах Кузбасса (см. табл. 1.14); во-вторых, при новом опробовании предусмотреть изучение полного набора 13 РЗЭ с выделением иттриево-земельных лантаноидов [Ln(Y) – Sm, Eu, Gd, Tb, Dy,

Ho, Er, Tm, Yb, Lu], цериево-земельных лантаноидов [Ln(Ce) – La, Ce, Pr, Nd] и подгрупп самариевой [Ln(Sm) – Sm, Eu, Gd, Tb, Dy], эрбиевой [Ln(Er) – Ho, Er, Tm, Yb, Lu] [32]. Полное изучение РЗЭ позволит более активно реагировать на запросы рынка в поставке редкоземельной продукции, в частности, товарных углей с TR.

Отдельно отметим факт наличия в пласте Кемеровском на разрезе «Кедровский» иттрия в содержании около 700 г/т в расчетном ЗШМ. Даже один этот элемент, при выдержанности его присутствия в товарных углях не ниже 30-50 г/т, может расширить сферу потребления таких углей и принести дополнительный доход поставщикам угля. Ранее, в указанных выше пределах, содержания иттрия нами обнаружены в товарной продукции шахт «Бутовская», «Лапичевская», разреза «Калтанский», шахт «Усинская», «Западная», им. С. Орджоникидзе. Иттрий в углях Кузбасса повсеместно встречается, в основном, в кондиционных содержаниях 100-200 г/т на расчетную золу.

Присутствие алюминия в золошлаках в количествах 15-19 % (в пересчете на глинозем 29-35 %) весьма существенно повышает их привлекательность для комплексного извлечения товарной окиси алюминия. Предполагается, что порог кондиционных содержаний в золе глинозема может быть снижен при этом до 24-25 % [1].

Наличие валового железа от 7,5 % и выше представляет реальный интерес для его извлечения из золошлаков. При содержании в 25-м угольном пласте на гидрошахте «Юбилейная» 25,3 % железа необходимо отследить его движение в технологической цепи и концентрирования в твердых шламовых отходах. Они могут быть недорого и достаточно эффективно переработаны с получением железорудного концентрата [92]. Последнее замечание актуально для всех угольных предприятий, где вскрываются и перерабатываются угли и породы с содержаниями железа в ЗШМ не ниже 7,5 %. Нами выявлены пласты углей с повышенными содержаниями железа (%) на территориях ГЭР: Прокопьевско-Киселевского (разрез Новосергеевский, пласт II Внутренний, 15,3); Бачатского (разрез «Шестаки», пласт «Мощный», 11,2); Ленинского (пласт Серебрянниковский, 17,9); (шахта Заречная, пласт 29; 20,9) и других полях шахт и разрезов. Необходима по-

становка поисково-разведочных работ на этих и других предприятиях угледобычи, углепереработки и сжигания углей, с тем, чтобы выявить дополнительные ресурсы железа для черной металлургии Кузбасса. Разработка техногенных месторождений будет выгодна для предприятий малого и среднего государственного и частного бизнеса.

Обобщенные данные по коксующимся, дефицитным коксующимся и энергетическим углям позволяют предвидеть новые направления потребления и маркетинга углей [3, 15, 19, 20, 27, 33]. В девяти марках кузнецких углей (ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КСН, КС, ОС), в основном, используемых для коксования, обнаружены 26 элементов (60 % от их официального списка), которые являются ценными, потенциально-ценными и рудными. К последним по содержаниям в углях или в золе, следует отнести Li, Al, Sc, Ti, V, Fe, Ni, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Bi, Th, U. Этот список элементов предлагается для постоянного мониторинга угольной продукции. Здесь особо важными, имеющими ярко выраженные маркетинговые показатели, являются содержания (% , г/т) элементов: Al (18,6), Ti (6,8), Fe (43,6), Rb (0,05), Sr (0,3), Y (0,02), Zr (0,3), Nb (0,04), Ag (36,3 г/т), TR (>0,1), Au (27,0 г/т), Th (0,02), U (0,01). К известным пороговым значениям отношения ценных элементов в угле-золе приведены в таблице 1.15. В кузнецких коксующихся углях и в сопровождающих их вмещающих породах в результате метаморфогенных процессов, в т. ч. метасоматоза, локально и весьма существенно произошло повышение содержаний Na, Mg, Al, Si, Fe. Это привело к выраженным процессам перераспределения вещества и образованию почти мономинеральных объектов – кремнистых, аллитизированных пород, карбонатов кальция, магния и железа. Формирование последних началось в период осадконакопления, продолжалось в диагенетическую и постдиагенетическую стадии и частично стабилизировалось во время метаморфизма. Естественно, при этом, предположить, что первичное рудное вещество, сорбированное и накопленное в органических остатках, перераспределялось с привносом и выносом из угольного пласта. Об этом свидетельствует не только современное наличие аномальных и рудных содержаний металлов, но и дискретное, резко неравномерное их размещение в частях одного пласта.

Таблица 1.15 – Уровни максимальных концентраций (В) ценных элементов в кузнечных энергетических углях и ЗШМ

	Li		Be		Sc		Ti, %		V		Mn, %		Co		Ni	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
A	70	546	70	585	30	250	1,0	8,4	240	2000	0,5	4,2	53,8	448	114	870
Б	14	82	2	12	3,7	24	0,089	0,53	28	170	0,0071	0,043	6,0	37	17	100
В	5,0	6,7	35	49	8,1	10,4	11,2	15,8	8,6	11,8	70,4	97,7	9	12,1	6,7	8,7
	Ga		Ge		Se		Rb		Sr, %		Y		Zr, %		Nb, %	
A	30	248	7	57	2,5	26,3	108	858	0,3	2,6	310	2600	0,7	5,8	0,012	0,1
Б	6	36	2,4	18	1,6	10	18	10	0,01	0,073	8,2	57	0,0036	0,023	0,0004	0,0022
В	5	6,9	2,9	3,2	1,6	2,6	6	7,8	30	35,6	37,8	45,6	194	252	30	45
	Cu		Mo		Ag		Sn		La, %		Yb		Hf		Ta	
A	100	831	9,8	82,3	37,8	294	5,9	48	0,02	0,166	30	250	36,1	316	22,5	198
Б	16	110	2,1	14	0,1	0,63	1,4	8,0	0,0011	0,0076	1	6,9	1,2	9	0,3	2
В	6,2	7,6	4,7	5,9	378	466	4,2	6	18,2	21,8	30	36	30	35	75	99
	Au		Hg													
A	3,15	29,0	5,4	48												
Б	0,003	0,024	0,1	0,87												
В	1050	1208	54	55												

Примечание: * 1А – содержание в кузнечном угле, г/т; 1Б – содержание для каменных углей мира, г/т [155, 156];

** 2А – содержание в ЗШМ кузнечных углей, г/т; 2Б – содержание для зол каменных углей мира, г/т [155, 156].

Таблица 1.16 – Уровни максимальных концентраций (В) ценных элементов в кузнечких коксующихся углях дефицитных марок и ЗШМ

	Li		Be		Sc		Ti, %		V		Mn, %		Co		Ni		Ga	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
A	50	381	20	156	20	154	0,5	3,9	150	1166	0,3	2,3	70	539	100	778	30	232
Б	14	82	2	12	3,7	24	0,089	0,53	28	170	0,0071	0,043	6,0	37	17	100	6,0	38
В	3,6	4,6	10	13	5,4	6,4	5,6	7,4	5,4	6,9	42,3	53,5	11,7	14,6	5,9	7,8	5,0	6,4
	Ge		Se		Rb		Sr, %		Y		Zr, %		Nb		Mo		Ag	
A	5,0	37,9	1,1	8,4	113	989	0,2	1,5	230	1800	0,15	1,2	100	778	10	77,6	36,4	307
Б	2,4	18	1,6	10	18	110	0,01	0,073	8,2	57	0,0036	0,028	4,0	22	2,1	14	0,1	0,63
В	2,1	2,1	0,7	0,8	6,3	9,0	20	20,5	28	31,6	41,7	42,9	25	35,4	4,8	5,5	364	487
	Yb		Hf		Au		Hg		Bi									
A	4	29,7	21,6	174	0,04	0,4	4,6	39,4	2,0	15,6								
Б	1,0	6,9	1,2	9,0	0,003	0,024	0,1	0,87	1,1	7,5								
В	4,0	4,3	18	19,3	13,3	16,7	46	45,3	1,8	2,1								

Примечание: * 1А – содержание в кузнечком угле, г/т; 1Б – содержание для каменных углей мира, г/т [155, 156];

** 2А – содержание в ЗШМ кузнечких углей, г/т; 2Б – содержание для зол каменных углей мира, г/т [155, 156].

Весьма информативны в этом плане показатели сравнения по отношениям содержаний для углей и золы, относительно декларированных уровней (уголь-зола): Ti (6,7-9,1), Co (3,8-5,2), Cu (5,0-6,0), Ge (25,5), Rb (14,2-22,8), Sr (7,5-10,0), Y (15,3-21,0), Zr (25,0-33,3), Nb (40,0-400,0), Ag (36,3-63,0), La (6,7-9,3), Yb (20,0-27,3), Ta (23,5-29,0), Au (10,0-11,0), Hg (4,6-5,5). Аналогичные показатели, по отдельным элементам с несколько меньшими отношениями представлены для дефицитных марок Ж, К, ОС коксующихся углей в таблице 1.16. Здесь также подчеркиваем особую значимость дальнейших поисков рудных концентраций Ti, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, TR, Au.

При аналогичном, в общем, наборе рудных элементов отметим более высокие значения уровней ценных элементов над избранным для Be, V, Mn, Y, Zr, Nb, Yb, Ta, Au, Hg, Bi. Заметно выше для энергетических кузнецких углей аномальные содержания Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Mn, Fe, Cu, Se, Sr, Y, Zr, Eu, Tb, Lu, Hf, Ta, Au, Hg, U. Из наиболее дорогостоящих металлов обратим внимание на их содержания в ЗШМ, обнаруженные нами в энергетических кузнецких углях, в г/т: 250 Sc; 2000 V; 26,3 Se; 2594 Y; 44,1 Eu; 518 Tb; 251 Yb; 230 Lu; 316 Hf; 198 Ta; 27 Au; 48 Hg; 146 U. Аналогично, – для коксующихся: 539 Co; 2172 Ni; 140 Mo; 315 Ag; 7000 La; 3000 Ce; 519 Sm; 320 Tb; 205 Yb; 174 Hf; 145 Ta; 27 Au; 39,4 Hg; 235 Bi; 293 Th; 108 U. То же для энергетических (%) – 8,4 Ti; 4,2 Mn; 61,8 Fe; 5,8 Zr; для коксующихся – 0,3 Cu; 0,4 Rb; 2,0 Nb. Уровни максимальных показателей токсичности углей по принятой нормативной оценке приведены в таблице 1.17. Их сравнение между группами марок коксующихся и энергетических углей представлено следующими показателями (табл. 1.18).

Таблица 1.17 – Уровни максимальных концентраций токсичных элементов в кузнецких коксующихся углях

	F	V	Cr	Mn	Ni	Zn	As	Sb	Hg	Pb
Содержание, г/т	500	150	500	3000	320	200	700	9,4	4,6	71
Нормативный уровень, г/т	500	100	100	1000	100	200	300	6	1	50
Показатель концентрации	1,0	1,5	5,0	3,0	3,2	1,0	2,3	1,6	4,6	1,4

Таблица 1.18 – Показатели максимальной токсичности кузнецких углей

Группы марок углей	Уровни показателей токсичности										
	Be	F	V	Cr	Mn	Ni	Zn	As	Sb	Hg	Pb
Коксующиеся	4,0	1,0	1,5	5,0	3,0	3,2	1,0	2,3	1,6	4,6	1,4
Дефицитные коксующиеся	4,0	1,0	1,5	3,0	3,0	1,0	1,0	0,4	1,6	4,6	0,6
Энергетические	1,4	0,8	2,4	5,0	5,0	1,1	1,0	3,3	0,4	5,4	1,5

В итоге этого рассмотрения обратим внимание на более высокие показатели токсичности для Cr, Mn, As, Hg для кузнецких углей в целом. Для коксующихся – F, Cr, Ni, Zn, As, Sb, Pb; для энергетических – Be, V, Cr, Mn, Ni, As, Hg, Pb. Радиоактивные Th и U были рассмотрены выше. Их поток представляет определенную экологическую опасность при процедурах добычи, переработки, сжигании углей, если сумма их вычисленных содержаний на ЗШМ превышает 60 г/т.

Все токсичные элементы и радиоизотопы естественного происхождения необходимо мониторировать и отслеживать в угольных пластах при их отработке, сортировке, обогащении, коксовании, сжигании, поставках в пределах России и за границу.

При разработке серии угольных пластов рекомендуется обращать внимание на связи мощности пласта с набором элементов, в том числе наиболее ценных для пластов с показателями выше или ниже средней мощности для избранных групп. Это позволит эффективнее находить и отслеживать элементы, рекомендуемые для маркетинга или иных целей изучения. Выявленные для этого показатели приводятся в таблице 1.19.

Таблица 1.19 – Вероятные наборы высокосодействующих элементов в пластах кузнецких углей с различной мощностью

Группы углей	Средняя мощность, м	Элементы в пластах с меньшей мощностью	Элементы в пластах с большей мощностью
Коксующиеся	3,15	Li, F, Na, Ni, Cu, Sn, Sb, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, W, Au, Hg, Th, U	Al, Si, P, S, K, Ag, Bi
Дефицитные коксующиеся	2,91	F, K, Se, Sb, Eu, Lu, Ta, W	B, P, Ag, Au, Bi
Энергетические	5,61	P, K, Rb, Cs, W, Au	Zn, Ge, Se, Ag, Cd, Sb, Tb, Ta

На каждом из добывающих предприятий могут быть индивидуальные особенности в размещении элементов в пластах с различными мощностями. В отдельных мощных угольных пластах распределение элементов по вертикали определяется наличием партингов в прикровельных и припочвенных частях, внутренних породных и минеральных прослоев, послойных или пересекающих магматических или гидротермальных тел.

В дополнение, приведем обобщенные данные об аномальных концентрациях элементов в коксующихся и энергетических углях (табл. 1.20). Эти сведения будут ориентировать дальнейшие поисково-геохимические исследования.

Таблица 1.20 – Обобщенные данные о концентрациях элементов в кузнецких углях

Элемент	Выявленные и аномальные концентрации		
	ККУ	ККЗУ	ККГП
Энергетические угли			
Cl	2,0	0,7	14,9
Sc	2,3	2,1	26,9
As	2,0	6,1	35,2
Zr	6,1	12,1	15,9
Ag	5,8	2,6	64,0
Ba	5,2	7,2	11,4
La	13,9	4,2	2,9
Hf	6,3	13,8	9,8
Ta	6,4	4,3	14,1
Au	24,4	112,5	2250,0
Bi	6,5	0,2	1032,0
Коксующиеся угли			
Cl	2,8	0,9	19,4
Sc	2,9	2,1	27,2
Ge	1,5	1,3	11,1
As	3,8	7,8	45,0
Zr	6,2	10,1	13,2
Nb	15,6	15,9	11,6
Ag	11,3	5,8	140,4
La	15,8	3,9	2,7
Hf	6,4	11,0	7,9
Ta	7,1	3,4	11,0
Au	4,2	11,5	230,0
Bi	6,7	0,3	1174,0
Дефицитные коксующиеся угли			
Cl	2,8	0,8	18,5

Окончание таблицы 1.20

Sc	2,4	1,9	25,5
As	2,2	5,8	33,5
Zr	7,2	13,4	17,6
Nb	14,7	17,2	12,5
Ag	27,4	13,6	330,4
Sb	0,8	2,1	10,5
Ba	5,1	6,5	10,2
La	12,0	3,3	2,3
Hf	5,8	11,8	8,4
Ta	8,6	5,0	16,3
Au	2,5	12,5	250,0
Hg	10,0	2,1	10,7
Bi	6,0	0,2	944,0

Аномальные концентрации относительно кларка глинистых пород не всегда коррелятивны с данными соответствующих аномалий для кларков концентраций по золе углей или углям. Это является следствием неуниверсальности определения кларков. По естественным причинам они достаточно заметно различны для разных изучаемых объектов – пород, углей, зольной массы и др. Коэффициенты концентраций, тем не менее, могут рассматриваться как инструмент сравнения аналогичных показателей. Удобнее всего использовать показатель ККЗУ, т. к. он, учитывая зольность углей, дает большую информативность в сравнениях. Однако, как и другие КК, он не отражает, в достаточной мере, рудного показателя для элемента. Так, для алюминия рудное содержание в золе составляет 13,23 %, а вычисленные КК – 0,257 ККУ; 1,0 ККЗУ; 1,654 ККГП не являются и по геохимическим причинам и не могут быть аномальными. Действительно, 10,0 ККЗУ отвечало бы 132,3 % Al в золе, что абсурдно. В глинистых породах кларк висмута 0,01 г/т. Поэтому 1389 ККГП отвечает его расчетному содержанию в золе в 13,89 г/т. Мировые кларки Bi для каменных углей – 1,1; их золы – 7,5 г/т. Отношения составили: 12,63 к углям; 1,85 к золам; 0,46 к предельно низкому содержанию в рудах.

Эти особенности информативности коэффициентов концентраций следует всегда иметь в виду. Вычисление местных коэффициентов концентраций относительно регионального фона еще больше отдаляет восприятие содержаний элементов в ценностном понимании. Однако и этот прием вы-

числений позволяет нагляднее ранжировать объекты изучения, угольные пласты. Информация о распределении этих групп приведена для энергетических и коксующихся кузнецких углей в таблице 1.21.

При одинаковом количественном наборе (54-55) изученных элементов по количеству проб: коксующиеся (275), дефицитные коксующиеся (72), энергетические (206) угли, соответственно, имеют 16381,4760, 14089 элементоопределений. Набор методов определений и аттестованных лабораторий при этом включал: Западно-Сибирский испытательный центр, ЗСИЦ, г. Новокузнецк (приближенно-количественный, количественный спектральный, химический анализы); Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, ИМГРЭ, г. Москва (количественный спектральный анализ); Ташкентский институт ядерной физики, ТИЯФ, г. Ташкент (инструментальный нейтронно-активационный анализ), Томский политехнический университет, ТПУ, г. Томск (инструментальный нейтронно-активационный анализ), производственные лаборатории геолого-разведочных экспедиций г. Ворошиловграда (н. в. г. Луганск) и г. Артемовска, ВГРЭ, АГРЭ (приближенно-количественный спектральный анализ).

Разнообразие результатов определений с привлечением лабораторных средств, методов и исполнителей аналитических работ в 7 аналитических центрах позволяет полагать, что при этом минимизированы систематические ошибки лабораторных определений при последующем осреднении результатов по индивидуально разработанной программе для РС. Все данные определения хранятся в первичных документах, на электронных носителях. При необходимости они могут быть востребованы. Внешний контроль для каждого элемента не ниже 10-20 %. Средняя встречаемость элементов составила 64,3-67,4 %. Близки к 100 % встречаемости у Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Y, Zr, Nb, Ba, La, Yb. Низкой встречаемостью (до 10 %) отличаются Cd, Sb, W, Au. В пределах 30-70 % имеют характеристику встречаемости F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Fe, As, Se, Rb, Ag, Cs, Eu, Tb, Lu, Ta, Hg, U. От 70 до 95 % встречены Li, Sr, Mo, Sn, Sm, Hf, Bi, Th. Показатель встречаемости не означает отсутствия какого-либо элемента в пробе. Он характеризует массивы элементов в избранных пробах. Информа-

тивность показателя встречаемости и его универсальность ограничены, таким образом, рамками рассматриваемого массива. Осредненная зольность понижается от коксующихся и дефицитных коксующихся углей к энергетическим – 14,28 и 12,69; – 11,47 %. Обратная картина для мощности пластов – 3,15 и 2,9; 5,61. Содержания TR, ЦПЦ, ТПТ элементов возрастают к последней группе. В таблице 1.22 эта тенденция выражена в процентах сумм содержаний элементов. Оказалось, что сумма TR не превысила 0,08 %; ЦПЦ распределились в пределах 3,15-3,88 %; ТПТ – 5,71-6,49 % с максимальным содержанием в группе дефицитных (Ж, К, ОС) коксующихся углей. Другие элементы, в основном, главные золообразователи занимают 89,5-91,06 % рассмотренного объема информации.

Коэффициенты концентраций (относительно мировых данных для каменных углей) для выделенных групп существенно не различаются (2,7-2,9), но заметно высокие. Это дает основание полагать, что кузнецкие угли являются высокоэлементонасыщенными и металлонасыщенными. Показателями более 3,0 для энергетических углей по ККУ обладают – Li, Sr, Zr, Nb, Ag, Ba, La, Lu, Hf, Ta, Au, Hg, Bi. Для коксующихся – тот же список элементов и в дополнение – мышьяк. Устойчивое наличие этой ассоциации элементов в кузнецких углях и, при этом, Zr, Nb, Ag, La, Hf, Ta, Au, Bi в высоких и аномальных концентрациях укрепляет мнение о том, что кузнецкие угли, отходы их добычи, переработки, сжигания являются потенциальным сырьем для извлечения ценных металлов, включая благородные (Ag, Au), редкие, в т. ч. редкие земли, а также некоторые из металлоидов, неметаллов. По показателю ККЗУ наиболее насыщенными являются энергетические угли – 4,6; коксующиеся и три марки тех же – дефицитных – 2,7-3,0. По ККГП, в общем, коксующиеся близки 34,0-34,2. Энергетические обладают показателем ККГП (66,6) вдвое превышающем аналогичный для всех марок коксующихся углей. Плотность коксующихся углей, в среднем, выше, чем у энергетических (1,45-1,46 и 1,37 г/см³). Из рассмотрения данных таблицы 1.23 отчетливо видно, что группа TR элементов склонна к углям с повышенной зольностью и пластам с меньшей мощностью для коксующихся углей всех марок. Однако, для энергетических углей такой тенденции не выявлено.

Таблица 1.21 – Обобщенные характеристики коксующихся и энергетических кузнецких углей

К-во эле-ментов	К-во проб	К-во оп-ред. элем.	Ср. встр. , %	Сред. зольн., A ^d %	Сумма содерж. в угле			Сумма содерж. в ЗШМ			КВ	КЗУ	ККП	Пл., ³ г/см	Мощн. плав-тов, м
					TR, г/т	ЦЩ, %	ТПП, %	TR, г/т	ЦЩ, %	ТПП, %					
Коксующиеся угли															
54	275	16381	67,4	14,28	62,6	0,26	0,37	426,3	1,75	3,17	2,7	2,7	34,2	1,45	3,15
Дефицитные коксующиеся угли															
54	72	4760	64,5	12,69	51,6	0,25	0,44	405,9	1,98	3,31	2,9	3,0	34,0	1,46	2,91
Энергетические угли															
55	206	14089	64,3	11,47	58,7	0,28	0,37	499,7	2,32	3,54	2,7	4,6	66,6	1,37	5,61

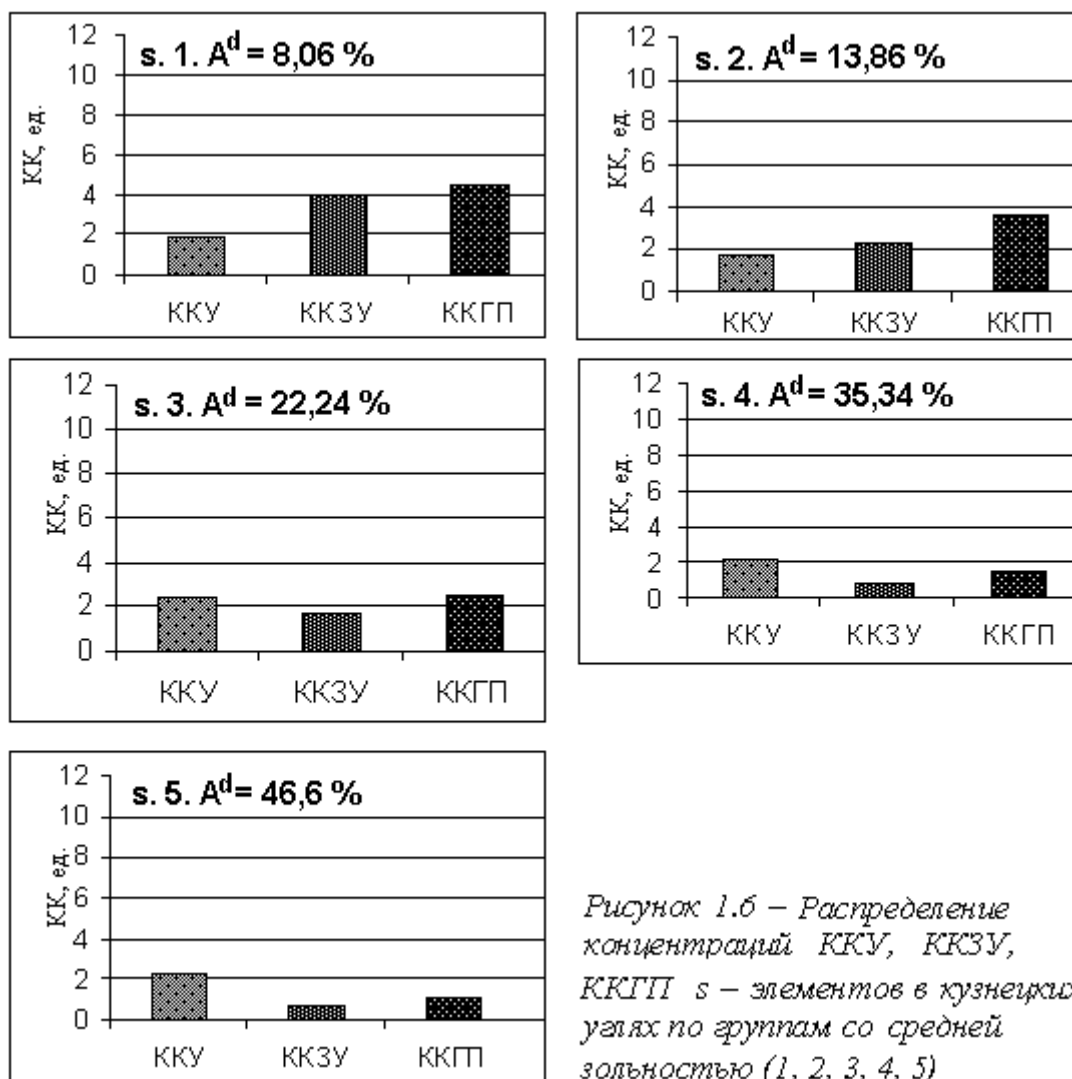
Таблица 1.22 – Доли от суммы содержаний элементов в ЗШМ углей (%)

Группа	TR	ЦЩ	ТПП	Другие
Коксующиеся	0,08	3,15	5,71	91,06
Дефицитные коксующиеся	0,08	3,88	6,49	89,55
Энергетические	0,08	3,76	5,74	90,42

Таблица 1.23 – Характеристики выделенных групп элементов по коэффициентам концентрации и другим показателям

Группа	Коксующиеся угли					Дефицитные коксующиеся угли					Энергетические угли							
	Зольность, A ^d %	КВ	КЗУ	ККП	Плотность, г/см ³	Мощн-ность, м	Зольность, A ^d %	КВ	КЗУ	ККП	Плотность, г/см ³	Мощн-ность, м	Зольность, A ^d %	КВ	КЗУ	ККП	Плотность, г/см ³	Мощн-ность, м
TR	14,97	4,1	1,9	4,2	1,47	2,98	12,81	3,3	1,8	4,2	1,45	2,72	11,71	3,8	2,3	5,3	1,37	5,75
ЦЩ	14,66	3,3	3,0	47,9	1,46	3,04	12,59	3,6	3,5	47,9	1,45	2,96	11,70	3,4	5,9	98,3	1,37	5,69
ТПП	14,60	1,5	1,9	7,0	1,44	3,13	12,70	1,7	1,9	6,8	1,46	2,85	11,30	1,4	1,9	6,9	1,36	5,85

По осредненным показателям КК массива всех ЦПЦ в 7,1 раза выше, чем ТПТ. Заметим, что коэффициенты концентраций, как это было изложено выше, не в полном объеме могут характеризовать роль одного или группы элементов. Более универсальной оценка роли элементов может быть представлена на основе комплексного изучения с привлечением других обобщающих показателей, в т. ч. потока элементов – s , p , d , f (рис. 1.6 – 1.9).



Поток элементов – это движение и осаждение элементов в геологическом времени и пространстве. Границы потока в значительной мере неопределенны и условны, т. к. движение элементов в геологической среде, как форма движения материи, не прекращается. Для конкретного региона в геологических и техногенных реконструкциях изучение потока элементов

вполне разрешимая задача, поскольку она ставится в пространственно-временных рамках.

Частью задачи, например, является изучение потока элементов, закрепленных в настоящее время в пластах, горных породах, месторождениях или образующих их объектах. В сущности, практическая геология исследует различные потоки, входящие в понятие геологической формы движения материи.

Элементы таблицы Д. И. Менделеева принято различать по В. М. Гольдшмиту и В. В. Щербине по свойству филогенетичности (фильности). Они, как бы, тесно семейственно объединяются в большие группы, из которых назовем литофильные (49), халькофильные (19), сидерофильные (10) [32].

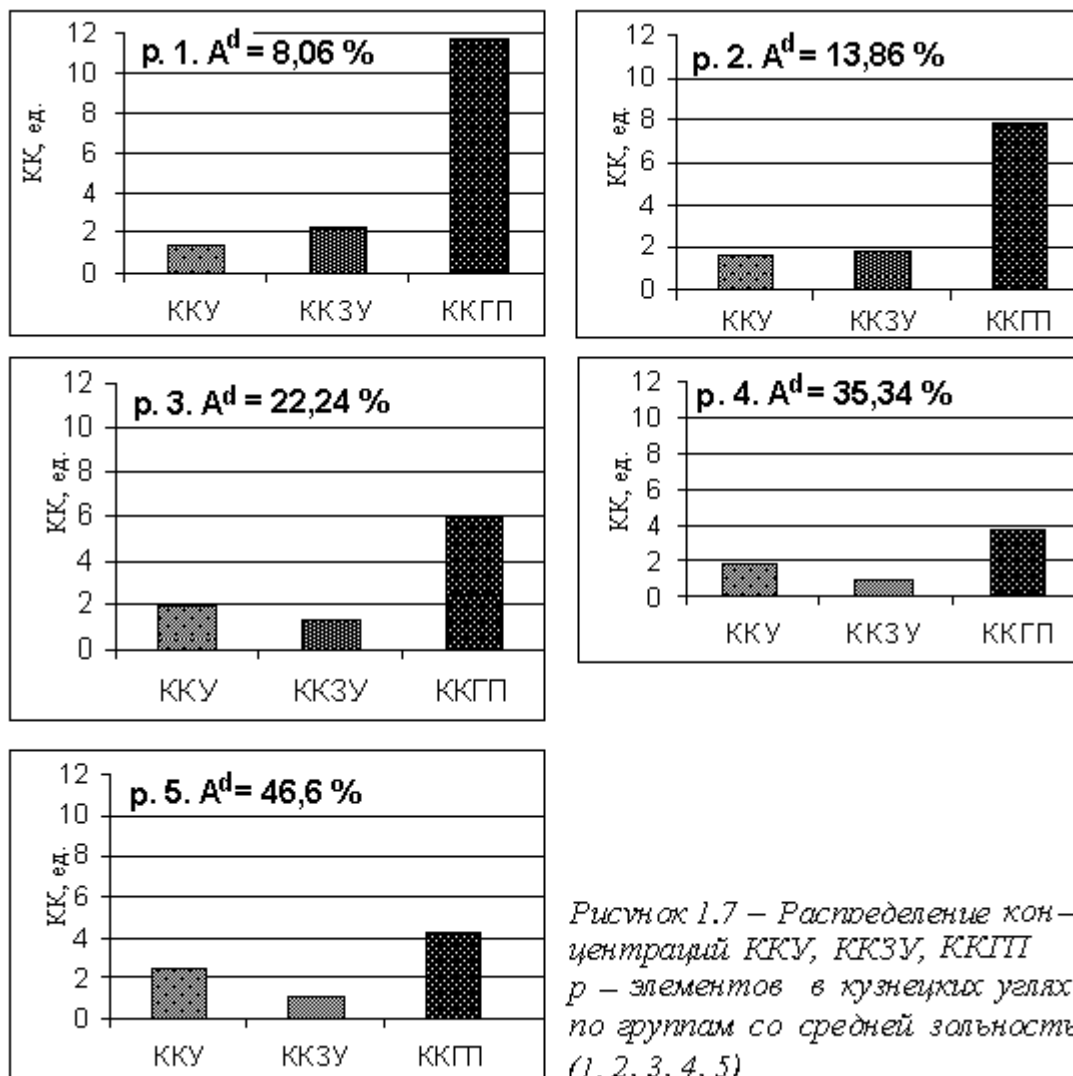


Рисунок 1.7 – Распределение концентраций ККУ, ККЗУ, ККГП р – элементов в кузнецких углях по группам со средней зольностью (1, 2, 3, 4, 5)

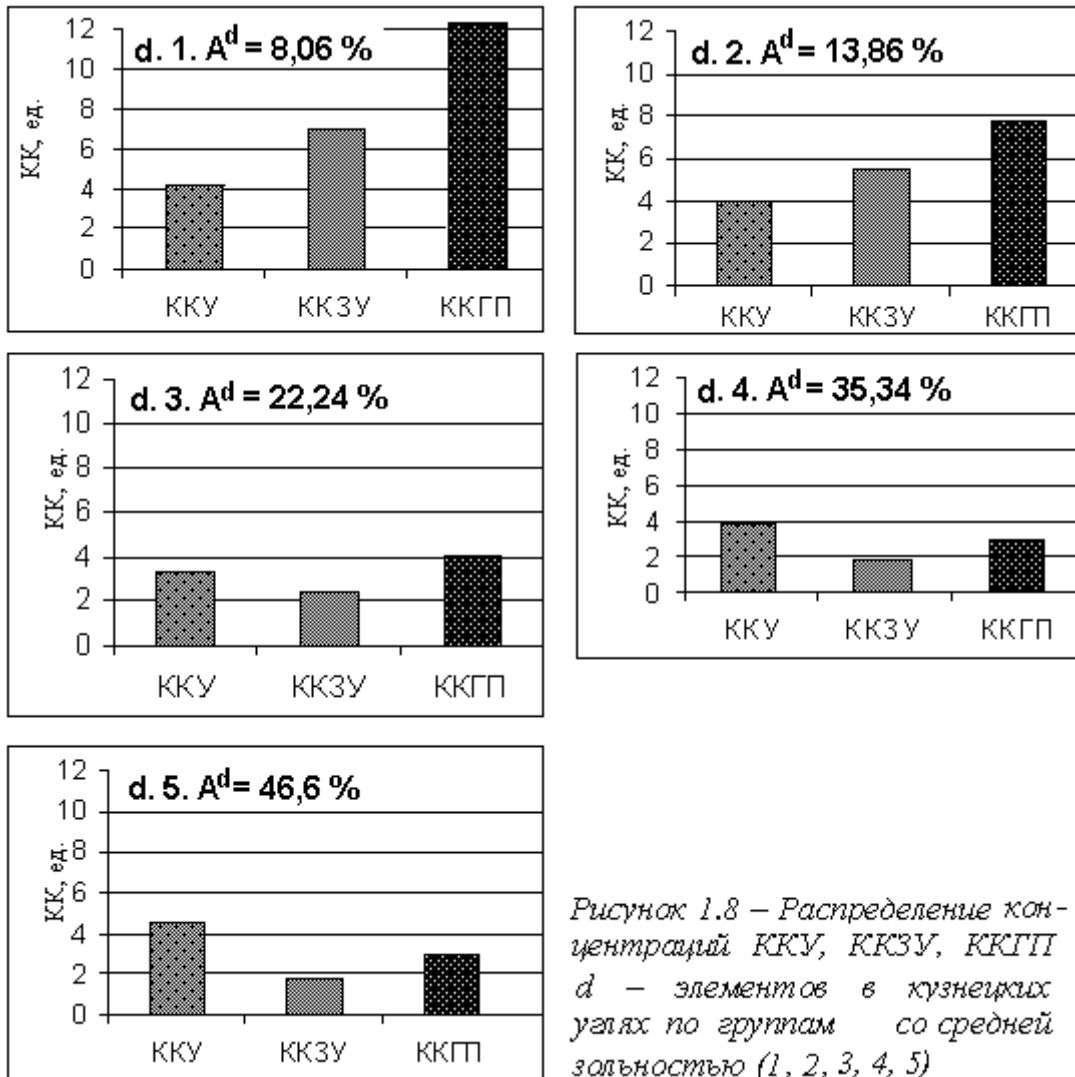


Рисунок 1.8 – Распределение концентраций ККУ, ККЗУ, ККГП d – элементов в кузнецких углях по группам со средней зольностью (1, 2, 3, 4, 5)

Литофильные – Li, Be, B, C, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, (S), Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, J, Cs, Ba, TR, Hf, Ta, W, Ra, U, Th. Халькофильные – S, Cu, Zn, Ga, Ge, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, (Po ?). Сидерофильные – Fe, Co, Ni, Mo, Tc, Ru, Rh, Os, Jr, Pt, (P ?). Литофильные элементы обладают сродством с O, F, Cl, образуют, в основном, силикаты, окислы, галоиды, карбонаты, сульфаты, бораты, хроматы, вольфраматы и другие классы кислородсодержащих или бескислородных соединений. Минеральные фазы и элементы, нередко, парамагнитны, что можно объяснить частыми случаями изоморфного замещения железом (или Fe_3O_4) других атомов в кристаллических структурах минералов. Они концентрируются, главным образом, в верхней части земной коры, легко растворимы с образованием истинных или коллоидных растворов, транс-

портируются в водных потоках эндогенного или гипергенного происхождения. В расплавах – представляют составы кислых, средних, основных, ультраосновных магм, продуктов их дифференциации, вулканических газовых, твердых выбросов и лав.

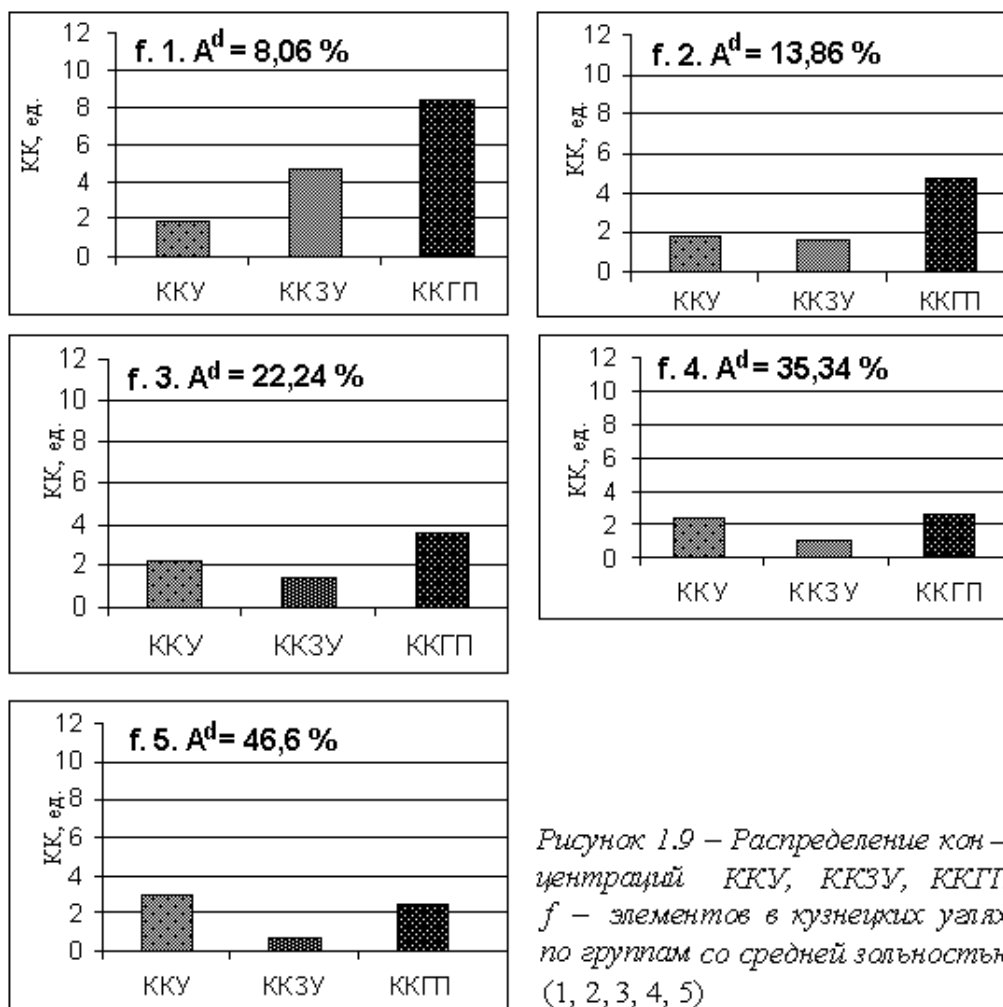


Рисунок 1.9 – Распределение кон-
центраций ККУ, ККЗУ, ККГП
f – элементов в кузнецких углях
по группам со средней зольностью
(1, 2, 3, 4, 5)

Главные химические свойства – модель ионной постройки благородных газов в наружной оболочке из 8 электронов 2S и 3P. На кривой атомных объемов они размещены на убывающих ветвях. В кузнецких углях (ЗШМ) литофильные элементы представлены Li, Be, B, C, O, F, Na, Mg, Ae, Si, Al, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, TR, Hf, Ta, W, Th, U. Всего нами изучено (до 2000 г.) 40 элементов, за исключением Br, I, Pr, Nd, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Ra. Скорее всего, все литофильные элементы входят в состав кузнецких углей, т. к. последние явились коллекторами продуктов разрушения магматических, осадочных метаморфиче-

ских пород и связанных с ними месторождений твердых полезных ископаемых.

Халькофильные элементы – S, Cu, Zn, Ga, Ge, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, (Po ?). Они подразделены также по Е. Садецки-Кардошу на сульфохалькофильные – Cu, Ag, Zn (?), Cd (?), Hg, As, Sb, S, Se, Te, P (?) и оксихалькофильные Ge, Sn, Pb, Ga, In, Tl, Zn (?), Cd (?), P (?). Ионы элементов этой группы, в основе, отвечают модели благородных газов с наружной оболочкой из 18 электронов – 2s, 6p, 10d. Исключениями из этой модели являются S, Se, Te; также, частично, As, Sb. Минеральное оформление в химических соединениях представлено в этой группе, главным образом, сульфидами. Меньше, в долевого отношении, их распространенность в окислах, карбонатах, сульфатах и других классах минералов. В основном, соединения диамагнитны за исключением кубанита, касситерита и некоторых других.

В кузнецких углях практически всегда присутствуют из халькофильных – P, S, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Ag, Cd, Sb, Au, Hg, Tl, Pb, Bi. Их частота встречаемости, в процентах, далее указана в скобках в зависимости от результатов выявления в массиве анализов по 476 пробам кузнецких углей:

- с высокой встречаемостью – Cu (94,5), Ga (94,5), Sn (77,5), Pb (95,0);
- с низкой и средней встречаемостью – P (31,5), S (31,7), Se (17,6), Ag (25,4), Cd (1,1), Sb (10,7), Au (17,2), Hg (50,0), Bi (53,6);
- со спорадической встречаемостью – Tl.

Фосфор и сера относятся к числу главных элементов в углях и ЗШМ. Они присутствуют в каждой пробе. Указанные для них данные встречаемости (31,5-31,7) нами видятся в ограниченной возможности использования химических дорогостоящих средств анализов. Эти цифры отражают число проб, для которых такие анализы были выполнены. Встречаемость других элементов характеризует возможности использованных методов определений, т. е. чувствительность, декретированность, утвержденных, в т. ч. ГОСТ, методик лабораторных определений. Современными методами можно «уловить» содержания элементов в сотые и тысячные доли грамма

на тонну, но экономика таких исследований оказалась бы слишком дорогой за исключением методов ICP-MS, INAA. Неизвестно, не платим ли мы более дорогую цену, оставляя за пределами научных и практических интересов «запороговые» содержания? Нашими исследованиями не освещались среди халькофильных элементов кузнецких углей In, Te из-за отсутствия возможностей их определений в штатных лабораториях. Недостаточна изученность по этим же причинам Se, Ag, Cd, Sb, Au, Hg, Bi.

Сидерофильные элементы – Fe, Co, Ni, Mo, Tc, Ru, Rh, Os, Ir, Pt, (P ?). Они являются типичными представителями основных, ультраосновных магм, соответствующих по происхождению пород и руд. Они также, нередко, в особенности железо, представлены в осадочных породах. Ионы элементов принадлежат к переходному типу, имея в наружной оболочке 8-18 электронов. Элементы распложены на кривой атомных объемов на участках минимальных значений. Весьма значительное число соединений и сами элементы обладают сильными ферромагнитными и парамагнитными свойствами. Минералогически они, чаще всего, представлены силикатами, окислами, карбонатами, сульфатами, для благородных металлов характерно самородное или сульфидное нахождение их в природе. В кузнецких углях слабо изученными являются Ru, Rh, Os, Ir, Pt. Это произошло по вышеотмеченным причинам экономического характера, когда в утвержденных лабораториях штатных геологических ведомств не было возможностей перейти на определение этих элементов с использованием более эффективных современных методик. Нет сомнения в том, что платиноиды присутствуют в углях, в т. ч. в кузнецких, достаточно широко. Их можно обнаружить в отходах, включая золошлаковые. Нет также сомнений в том, что будут обнаружены их рудные содержания. Это одна из первоочередных и главных задач угольной геохимии Кузбасса (дополняющие сведения о ПГМ и РЗЭ в кузнецких углях были нами получены в 2003, 2005-2006 гг.).

Рассмотрим возможности ранжирования угольных пластов на примере изученных на поле разреза «Бачатский». Ранжирование производилось в

два этапа. Вначале были вычислены для пластов КК. Затем вычислялись средние показатели и районный КК. Последний, например, представляет собой результат деления районного ККЗУ на фоновое значение ККЗУ Кузбасса для выбранного элемента. Упомянем, что от I Внутреннего пласта до II Прокопьевского разрабатываемые угли представлены маркой КО, I Прокопьевский – КСН, Мощный и II Безымянный – СС. По литофильным (Li, Na, P, Sc, Ti, Cr, Mn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U) элементам районный КК представлен тремя группами значений:

- подфоновые для Na, Ti, Mn, Ba;
- надфоновые – Li, Sc, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Ta, Th;
- аномальный – Tb (10,5 !).

Ранги по пластам (с учетом средних показателей) распределились следующим образом:

- Мощный – 1 (10,7);*
- Горелый н. п. – 2 (6,2);*
- II Безымянный – 3 (5,6);*
- II Прокопьевский – 3 (5,5);*
- I Прокопьевский – 3 (5,3);*
- I Внутренний – 4 (4,1);*
- I Характерный – 4 (3,7);*
- Горелый в. п. – 4 (3,7);*
- Лутугинский – 4 (3,7).*

На первом месте оказался пласт Мощный, в котором аномалия ККЗУ по тербию составила 79,4. Следовательно, общий высокий уровень для КК или наличие единичных крупных аномалий дает существенную информацию, позволяя выделить пласт в число первоочередных объектов для пересмотра маркетинговой оценки углей с заметно повышенными и рудными их концентрациями ценных элементов. Дальнейшее развитие геохимических работ нами рекомендуется на Бачатском разрезе для пластов Мощного, Горелого н. п., II Безымянного. Из 9 рассмотренных по геохимическим

данным пластов три рекомендуются для восполняющего мониторингового детального геохимического изучения. Этот подход рационализирует процесс изучения и сэкономит в будущем значительные денежные средства на его реализацию. Добавим, что в пласте Мощном выявлены высокие и аномальные концентрации Y (9,5), Zr (20,8), Nb (33,5), La (25,0), Ce (9,5), Yb (12,0), Hf (28,0); в Горелом н. п. – Sr (7,2), Y (6,7), Zr (11,5), Nb (19,7), La (23,1), Eu (7,0), Yb (7,1), Lu (5,0), Hf (14,7), Ta (14,2).

Для халькофильных элементов ранжирование пластов определилось следующим образом:

Мощный – 1 (123,0);

I Прокопьевский – 2 (79,8);

Горелый н. п. – 2 (72,5);

II Безымянный – 3 (52,4);

I Внутренний – 4 (43,8);

I Характерный – 4 (34,4);

II Прокопьевский – 4 (34,3);

Горелый в. п. – 4 (32,3);

Лутугинский – 5 (2,0).

В первую очередь, здесь обращает на себя внимание более высокая характеристика рангов в пределах 1-2 порядков. Среди элементов наиболее аномальными концентрациями обладают As, Ag, Au. Последнее хорошо согласуется с идеей об отражении близости к источнику сноса указанных элементов, к существовавшим и в геологическом прошлом рудным источникам Салаира. Таким образом, нами впервые обнаружено и количественно доказывается высокий (аномальный) геохимический статус угленосных отложений в пределах стратиграфического интервала от пласта I Внутреннего до I Безымянного или, как это будет видно из последующего рассмотрения, выше и ниже названных пластов, т. е. в объемах кемеровской и ишановской свит. Последующие геохимические работы должны быть направлены поэтому на выявление в пластах углей и породах присалаирской полосы пермских отложений, в первую очередь, элементов халькофиль-

ных, редких (Sc, Ti, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu), других (TR, Hf, Ta, Th, U).

Особое внимание следует уделить, при этом, Y, Ln(Y), Au, Ag. Серебро в оценках по ККЗУ выявлено в пласте Мощном (16,6); золото также в пластах I Характерном (118,5), Горелом в. п. (12,0), Горелом н. п. (87,5). Поисковые работы не следует ограничивать только ревизией угольных пластов. В углистых аргиллитах, алевролитах, песчано-алевролитовых породах, для нас это несомненно, будут выявлены месторождения и рудопроявления меди, цинка, аллитных, железистых, марганцовистых пород с золотом, серебром, ПГМ, другими твердыми полезными ископаемыми в присалаирской полосе пермских угленосных отложений. Поэтому требуется особенно тщательная и экспрессная работа по оценке отвалов и отходов угледобычи, обогащения, сжигания.

Сидерофильные элементы – Fe, Co, Ni – также встречены в этом интервале разреза в высоких и аномальных концентрациях. В среднем, геохимический статус пластов находится в пределах (1,3-4,7), т. е. невысокий. Ранжирование привело к следующим результатам:

Лутугинский – 1 (4,7),

Мощный – 1 (3,9),

Горелый н. п. – 1 (3,6),

II Безымянный – 1 (3,6),

I Характерный – 2 (3,0),

II Прокопьевский – 2 (3,0),

Горелый в. п. – 3 (2,3),

I Прокопьевский – 3 (2,2),

I Внутренний – 4 (1,3).

Зафиксирована одна аномалия по кобальту (11,7). В среднем по девяти пластам его концентрация достаточно высокая (6,1), соответственно, в пластах I Характерном (6,6), II Прокопьевском (7,2), Мощном (7,4), II Безымянном (8,6).

У никеля наиболее высокие концентрации зафиксированы в пластах Горелом н. п. (6,6), Лутугинском (6,1).

Ранжированные пласты с оценками 1-3 необходимо опосредовать на все ПГМ с применением прецизионных лабораторных методик определения Ru, Rh, Os, Ir, Pt (частично эта задача нами выполнена в 2003, 2006 гг.).

Приведенный пример исследования с ранжированием пластов Бачатского разреза дает возможность распространить этот методический исследовательский прием для сравнения по КК и РКК всех изученных угольных пластов. При этом нами представлена детализированная картина концентрирования элементов в угольных пластах в связи с зольностью и мощностью (рис. 1.10 – 1.13).

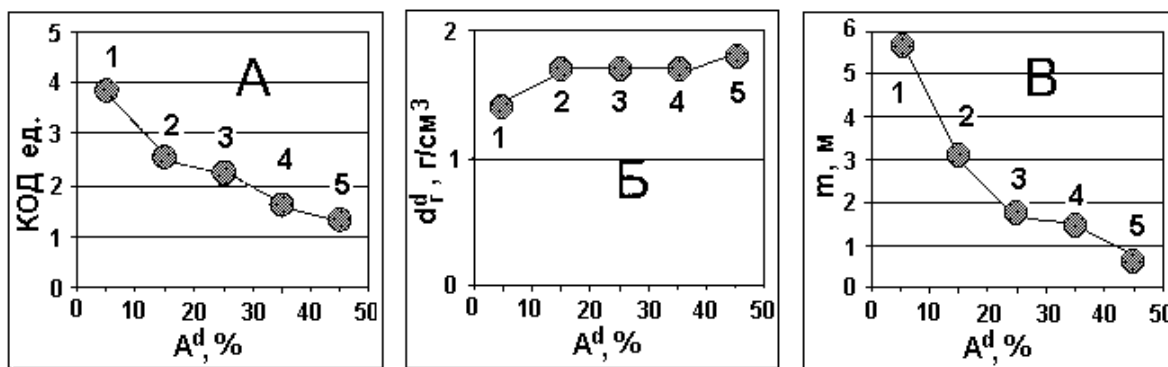


Рисунок 1.10 – Распределение концентраций по усредненным данным КОД (А) s-элементов, плотности углей (Б), мощности пластов (В) по группам зольности (1, 2, 3, 4, 5)

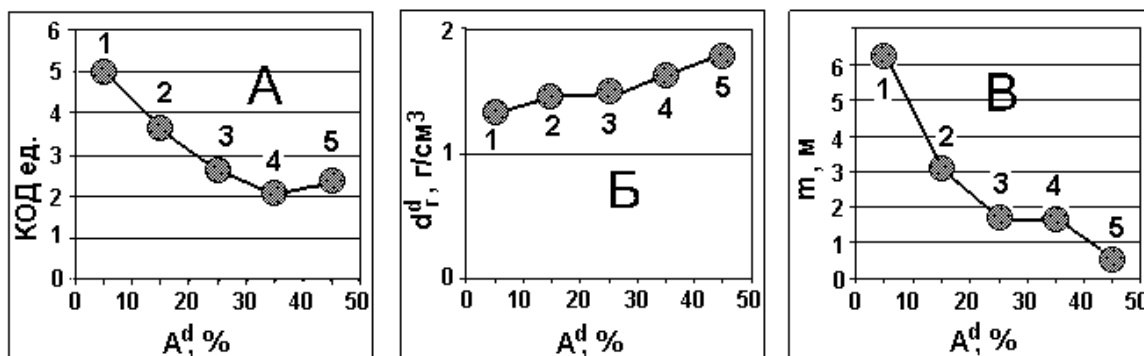


Рисунок 1.11 – Распределение концентраций по усредненным данным КОД (А) p-элементов, плотности углей (Б), мощности пластов (В) по группам зольности (1, 2, 3, 4, 5)

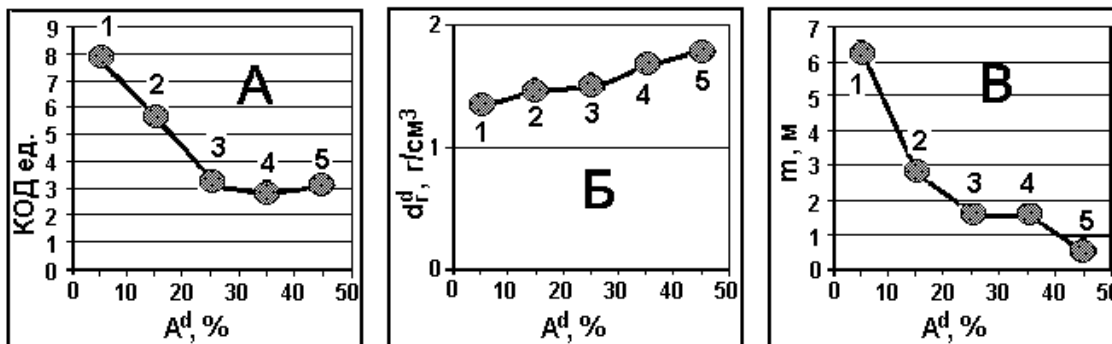


Рисунок 1.12 – Распределение концентраций по усредненным данным КОД (А) d -элементов, плотности углей (Б), мощности пластов (В) по группам зольности (1, 2, 3, 4, 5)

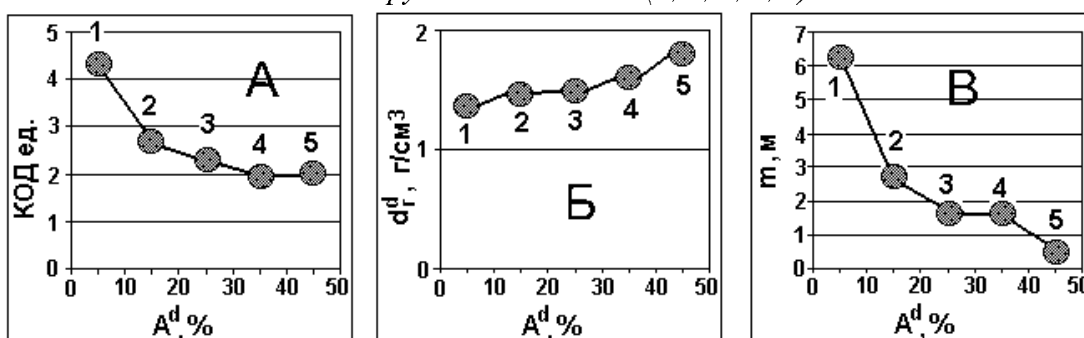


Рисунок 1.13 – Распределение концентраций по усредненным данным КОД (А) f -элементов, плотности углей (Б), мощности пластов (В) по группам зольности (1, 2, 3, 4, 5)

В связи с тем, что работа требует дальнейшей автоматизации вычислений, далее результаты ранжирования будут приведены выборочно. Поскольку следующий материал изучения требуется сопровождать данными об относительном возрасте угольных пластов, то перейдем к изложению геохимических данных с учетом стратиграфии и географического размещения пластов.

1.3 Геологическое размещение содержаний химических элементов

Поскольку для добывающих и коммерческих предприятий содержание элементов в угольных пластах (их зольной части) могут представлять интерес, то последующий материал будет, главным образом, излагаться в очевидной форме – по коэффициентам концентраций к мировым данным – с указанием в необходимых случаях конкретных содержаний в угле или в пересчете на зольную массу угля.

Нередко возникает вопрос о сопоставлении рудных кондиций по содержаниям элементов в расчетной ЗШМ и предельных в твердых рудах [1]. Об их соотношениях говорят данные наших расчетов в величинах концентраций по мировым данным для зол углей (табл. 1.24).

Для 11 элементов из средних по Кузбассу ККЗУ являются очень близкими или превышают уровни рудных КК. Таковые перечислены ниже с указанием соответствующих данных – рудный КК (ККЗУ): Al – 1,0 (0,8), Ti – 2,5 (3,2), Fe – 0,9 (0,8), Ga – 0,5 (0,9), Rb – 0,7 (3,5), Y – 2,4 (3,8), Nb – 7,5 (14,4), Hf – 5,0 (12,0), Au – 2,0 (25,0), Th – 1,4 (1,5), U – 0,7 (1,97). Именно эти элементы требуют первоочередной оценки в углях, угольной продукции, отходах, т. к. они, наиболее вероятно, присутствуют в содержаниях, кондиционных для извлечения.

Таблица 1.24 – Коэффициенты концентраций минимальных рудных содержаний элементов (рудное содержание: содержание в золе каменных углей по мировым данным)

Величины ККЗУ	Элементы
<1	Fe, Ga, Se, Rb, Bi, U
1-3	Al, Ti, Ge, Y, Au, Th
3-5	Li, S, K, Sr, Hf
5-10	Be, Ca, Sc, V, Nb, Cs, Ag, Ce, Sm, Yb, Lu
10-50	Mg, Cl, Co, Zr, Sb, La, Eu, Tb, Ta
50-100	P, Mo, W
100-200	B, F, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Pb
200-1000	Cd, Sn, Ba, Hg
~ 4000	Cr

1.3.1 Стратиграфическое размещение содержаний s, p, d, f элементов в угленосных отложениях Кузбасса

Схема стратиграфии верхнепалеозойских отложений Кузнецкого бассейна приведена в таблице 1.25. Щелочные (Na, K) и щелочноземельные (Mg, Ca) элементы (s) входят в число главных золообразователей минерального состава углей, в т. ч. наиболее распространенных минеральных составляющих – глинистых продуктов выветривания, слюд, хлоридов, карбонатов, сульфатов и других. Осредненные суммы элементов (s-Li, Na, K, Rb, Cs; Be, Mg, Ca, Sr, Ba) составляют для ЗШМ углей различных возрастов, (%): P₂(1,5); P₁(1,4); C₃(0,9); C₂₋₃(0,5). Максимальные содержания для P₂ отвечают Li, Mg, K, Ca, Rb, Sr, Cs, Ba. Для P₁ максимумы содержаний

имеют Be, Na, Rb, Sr. Максимальных показателей свыше 1,4 % по s-элементам для ЗШМ углей C₃, C₂₋₃ не выявлено. По всем s-элементам отмечается скачок содержаний между подразделениями P и C в среднем в 2 раза, в т. ч. по Li – 1,8; Mg – 3,5; Ca – 2,1; Sr – 2,5; Cs – 2,0; Ba – 2,6. Следовательно, граница P – C подтверждается размещением s-элементов по ЗШМ кузнецких углей.

Ряд p-элементов включает B, F, Al, Si, P, S, Cl, Ga, Ge, As, Se, Sn, Sb, Pb, Bi; а также C, N, O и другие элементы; их в таблице Д. И. Менделеева всего 30. В составе кузнецких углей нами изучены 15 элементов, включая два главных золообразователя – алюминий и кремний. Роль последних рассмотрим отдельно, т. к. их сумма (SiO₂ + Al₂O₃) превышает для каждой из свит 75 %. По показателю SiO₂ пермские (P) золы углей имеют пониженные содержания кремнезема – 53,1 % в сравнении с карбоновыми (C), в среднем, – 63,5 %. Содержания глинозема от пермских к карбоновым золам углей уменьшаются P – 22,1%; C – 17,2 % (табл. 1.26, рис. 1.14).

Таблица 1.26 – Показатели насыщенности золы кузнецких каменных углей кремнеземом и глиноземом

Серия, свита	Содержание, %		Модуль, ед.	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Кольчугинская – P ₂ kg	49,5	21,4	1,4	3,3
Балахонская – P ₁ bl	56,7	22,8	1,4	3,5
Алыкаевская – C ₃ al	61,0	19,0	1,3	4,2
Мазуровская – C ₂₋₃ mz	66,0	15,5	1,2	5,2

Выявлена закономерность увеличения роли кремнезема с увеличением относительного (абсолютного) возраста стратиграфических подразделений угленосных отложений Кузбасса. Содержания глинозема уменьшаются к более древним углям в ряду P₂, P₁, C₃, C₂₋₃. В балахонской серии (P₁bl) роль содержаний глинозема повышена. Угли этого возраста склонны иметь средние содержания глинозема в кемеровской свите 23-28 % и до 39,0 %. Максимумы содержаний Al₂O₃ в золах кузнецких углей по данным наших вычислений составили, %: P₂tl – 26,8; P₂gr – 26,8; P₂ln – 40,4; P₂us – 35,6; P₂km – 26,0; P₁kr – 35,0; P₁iš – 25,5; P₁pr – 34,7; C₃al – 22,5; C₂₋₃mz – 10,1. Приведенные данные позволяют полагать, что золы углей ленинской и кемеровской свит наиболее потенциальны для поисков глиноземного сырья в Кузбассе.

Таблица 1.25 – Стратиграфическая схема пермских и каменноугольных отложений Кузнецкого бассейна [142] (с дополнениями, утвержденными МСК (1995 г.) и опубликованными в Дополнениях к Стратиграфическому кодексу России в 2000 г.)

Возраст, млн. лет	Система	Отдел (подотдел)	Ярус	Серия	Подсерия	Свента	
250,0	Пермская-Р	Верхний-Р ₃ Татарский-Р ₃	Вятский-Р _{3v} Северодвинский-Р _{3s}	Кольчугинская-Р _{2-3kl}	Ерунаковская-Р _{2er}	Тайлуганская-Р _{2tl}	Салтымаковская-Р _{2sl}
251±0,4						Грамотейнская-Р _{2gr} Ленинская-Р _{2ln}	Красноярская-Р _{2ks}
270		Средний-Р ₂ Биармийский-Р ₂	Уржумский-Р _{2ur} Казанский-Р _{2kz}		Ильинская-Р _{2il}	Усвятская-Р _{2us} Казанково-Маркинская-Р _{2km}	
						Митинская-Р _{2mt} Старокузнецкая-Р _{2sk}	
290	Каменноугольная-С	Верхний-С ₃	Уфимский-Р _{1u} Кунгурский-Р _{1k} Артинский-Р _{1ar} Сакмарский-Р _{1s} Ассельский-Р _{1a}	Балахонская-С-Р _{1bl}	Верхнебалахонская-Р _{1bl}	Кемеровская-Р _{1kr} Ишановская-Р _{1is} Промежуточная-Р _{1pr}	Порывайская-Р _{1pv}
						Гжельский-С _{3g} Касимовский-С _{3k}	Алькаевская-С _{3al} Мазуровская-С _{2mz} Казовская Евсеевская
310		Средний-С ₂	Московский-С _{2m} Башкирский-С _{2b}		Нижнебалахонская-С _{2-3bl}	Остротская-С _{1-2os}	
330		Нижний-С ₁	Серпуховский-С _{1s} Вигейский-С _{1v} Турнейский-С _{1t}				
359,2±2,5							Морской нижний карбон (мозжухинская серия)

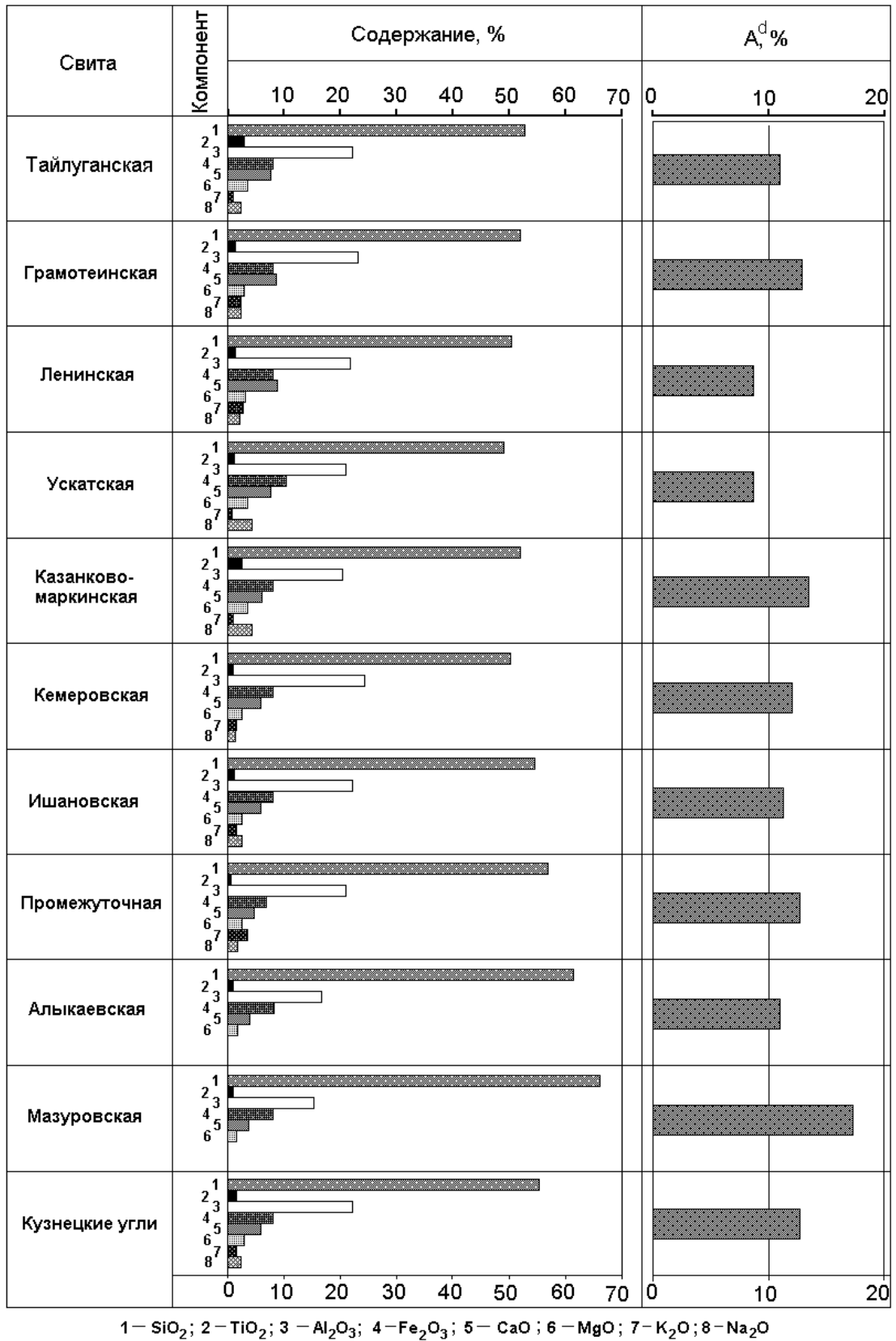


Рисунок 1.14 – Стратиграфическое размещение показателей содержаний главных золообразующих компонентов и зольности углей

Таблица 1.27 – Показатели содержания (e/m) и концентраций р-элементов в ЗШМ кузнецких углей

Свита	B	F	P	S	Cl	Ga	Ge	As	Sn	Pb	Bi	Сумма, %
Тайлуганская	208	625	4615	11041	1178	35	5	24	11	46	9	1,8
Грамотейнская	299	н.д.	2679	28302	н.д.	21	н.д.	н.д.	10	64	9	-
Ленинская	1055	1617	3595	31999	2147	59	54	139	15	88	15	4,1
Ускальская	597	785	3308	31395	1917	48	17	289	16	74	14	3,8
Казанково-Маркинская	202	1102	1653	12794	2941	42	10	70	12	83	9	1,9
Кемеровская	187	442	5083	22266	3354	37	19	593	15	77	12	3,2
Ишановская	248	840	2194	21231	3814	43	12	913	14	87	14	2,9
Промежуточная	109	849	1485	19525	2376	40	9	685	12	69	7	2,5
Алыкаевская	104	1245	1190	23912	2447	32	9	46	12	33	9	2,7
Мазуровская	57	н.д.	284	5062	н.д.	28	11	н.д.	10	23	7	0,6
Среднее, Кузбасс	307,6	938,1	2608,6	20752,7	2521,8	38,5	16,2	344,9	12,7	64,4	10,5	2,7
Концентрации к средним по золам каменных углей*	1,2	1,6	1,7	1,0*	1,2	1,1	0,9	7,5	1,6	1,2	1,4	1,8

Примечание: * - зольные кларки по каменным углям взяты из работ Я. Э. Юдовича, М. П. Кегрис [155, 156].

Оценка содержаний Al_2O_3 в золах пермских углей максимально составляет 31,8 %; в карбоновых – 16,3 %. Отношение содержаний – 1,95. Последнее также подтверждает тезис о существенно отличающихся условиях формирования минерального вещества углей в озерно-болотных фациях $\text{C}_3 - \text{C}_{2-3}$. Средние суммы $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ для кольчугинской серии – $\text{P}_2 - 30,3$ %; балахонской свиты – $\text{P}_1 - 30,4$ %; алыкаевской свиты – $\text{C}_3 - 24,1$ %; отношения указанных содержаний $(\text{P}_2 + \text{P}_1) : \text{C}_3 = 2,5$. Это свидетельствует о снижении роли Al_2O_3 и Fe_2O_3 в составе золошлаковой массы углей отделов среднего-верхнего карбона в Кузбассе.

Примеси р-элементов (В, F, P, S, Се, Ga, Ge, As, Se, Sn, Sb, Pb, Bi) далее рассмотрены в обобщенных суммарных показателях и выборочно, без данных по грамотеинской свите (P_{2gr}) и другим отдельным показателям содержаний (табл. 1.27).

Элементы (р) тесно связаны с углеродом и по встречаемости в соединениях часто сосуществуют с С, N, O, F, Si, P, S, Cl. Среди минералов, содержащих углерод, известны соединения с Br, Cl, O; кислородные соли угольной кислоты и другие. Широко известны по содержаниям в углях фосфаты, сульфиды, сульфосоли, сульфаты, германаты, арсенаты, селенаты, фториды, хлориды, бромиды, оксиды. Al, Si образуют кремнекислородные (алюмокремнекислородные) тетраэдры в кристаллических структурах силикатов – главных породообразователей. Содержание C^{daf} в углях Кузбасса находится в пределах от 76,0 до 92,8 %. При контактовом метаморфизме C^{daf} отмечается от 94,0 до 97,0 % [142]. Одиннадцать р-элементов в кузнецких углях, по нашим данным, образуют устойчивую ассоциацию и связаны с кремнием, алюминием, углеродом. Суммарные показатели (11 р-элементов) составляют 0,6-4,1 %. В том числе $\text{P}_2 - 2,9$; $\text{P}_1 - 2,9$; $\text{C}_3 - 2,7$; $\text{C}_{2-3} - 0,6$ %; С – 1,6 %. Р: С = 1,8. Наибольшие показатели характеризуют ленинскую (4,1 %) и ускатскую (3,8 %) свиты. Суммы содержаний р-элементов для этих свит связаны с большей насыщенностью углей В, F, P, S, Cl. На них приходится 98,5 и почти 100 % суммы содержаний элементов. Доля серы здесь составляет 61-89 %. Максимумы сернистости углей по расчетам условного содержания серы в ЗШМ отвечают ленинской, ускатской, промежуточной, алыкаевской, мазуровской свитам.

При $S_t^d \geq 1,0$ % среди кузнецких углей выявлено два примера: пласт Толмачевский (P_{2us}) (ш. «Комсомолец») и пласт XXI (C_{3al}) (ш. «Березовская») [142]. С пластом XXI связано промышленное содержание серебра [176]. При высокой сульфидной сернистости углей с ними могут быть найдены сульфидные минерализации Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Sn, Sb, Hg, Tl, Pb, Bi.

Элементы d в кузнецких углях представлены Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Hf, Ta, W, Au, Hg. В последнее десятилетие появились новые данные о содержании в углях Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt и других элементов [88-94, 100, 176, 177].

Одним из главных золообразователей в кузнецких углях является железо (Fe), присутствующее в оксидных формах (Fe₂O₃, FeO). Нередко, в аналитических данных все железо пересчитывается на молекулу Fe₂O₃, исключая тем самым возможность оценивать степень окисленности вещества. В промышленных золошлаках (bottom ash, fly ash) железо присутствует в виде Fe₂O₃; Fe₃O₄; Fe₂C; d-Fe; иногда может быть в сульфатной, сульфидной и других минеральных формах. Распределение Fe₂O₃ по свитам следующее, %: тайлуганская – 7,4; грамотеинская – 6,3; ленинская – 8,4; ускатская – 10,4; казанково-маркинская – 8,4; кемеровская – 8,5; ишановская – 8,0; промежуточная – 6,3; алыкаевская – 7,5. Валовое содержание железа в пермских ЗШМ равно 5,6 %, в карбоновых – 5,2 %. P:C = 1,1. Распределение железа между угленосными системами P, C заметно не отличается. Максимумы содержаний Fe₂O₃ в ЗШМ углей составили по свитам, %: тайлуганская – 8,1; грамотеинская – 6,3; ленинская – 22,2; ускатская – 35,6; казанково-маркинская – 18,4; кемеровская – 64,8; ишановская – 27,4; промежуточная – 60,4; алыкаевская – 18,1. Золошлаковый материал углей пермской системы (P) содержит, в среднем, 19,2 % Fe; каменноугольной (C) 12,6 %. P:C = 1,5. Последняя оценка распределения железа выше на 0,4 единицы показателя P:C по средним данным. Суммарная оценка содержаний Al₂O₃ и Fe₂O₃ приведена в таблице 1.28.

В ленинской, ускатской, кемеровской, промежуточной свитах, судя по накоплению алюминия и железа, существовали условия формирования аллитных пород и озерно-болотных руд железа. Они сопровождались, нередко, осаждением глинозема в различных минералогических формах пре-

имущественно в тайлуганской, ленинской, ускатской, кемеровской, промежуточной свитах.

Таблица 1.28 – Средние и максимальные содержания (%) глинозема и полуторного оксида железа в ЗШМ кузнецких углей в P_2 , P_1 , C_3 , C_{2-3} свитах

Свита	Индекс	Al_2O_3	Fe_2O_3	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$
Тайлуганская	P_{2tl}	25,7-26,8	6,9-8,1	32,6-34,9
Грамотеинская	P_{2gr}	20,0-24,8	6,3	26,3-31,1
Ленинская	P_{2ln}	20,8-40,4	11,5-22,2	32,3-62,6
Ускатская	P_{2us}	20,7-35,6	10,4-35,7	31,1-71,3
Казанково-Маркинская	P_{2km}	20,6-26,0	8,4-18,4	29,0-44,4
Кемеровская	P_{1kr}	23,2-35,0	9,7-64,8	32,9-99,8
Ишановская	$P_{1iš}$	15,1-25,5	9,1-27,4	24,2-52,9
Промежуточная	P_{1pr}	17,8-34,7	12,1-60,4	29,9-95,1
Алыкаевская	C_{3al}	16,2-22,5	7,9-18,1	24,1-40,6
Мазуровская	C_{3-2mz}	10,1-15,5	7,5	17,6-23,0

Содержания примесей элементов (d) освещаем далее без данных показателей по железу, т. к. они были рассмотрены (см. табл. 1.28). Встречаемость элементов d по свитам составляет для 11 элементов 88-100 % (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Y, Nb, Mo, La). Для цинка этот показатель лежит в пределах 24-100 %; циркония – 71-100 %; Hf – 57-100 %; Ta – 10-49 %; Au – 2,7-30 %; Hg – 17-58 %. Для P_1 углей характерны максимумы встречаемости для Ta, Au, Hg. Суммы и средние содержания d-элементов сведены в таблицу 1.29. Мощности угольных пластов в пределах пермской каменноугольной системы закономерно уменьшаются сверху вниз по стратиграфическим вертикалям.

Мощности пластов углей P_2 , P_1 имеют отношение $P_2:P_1 = 1,13$; $P:C = 3,0$. Максимумы содержаний (0,1-0,16 %) сумм d-элементов отвечают в кольчугинской серии всем свитам с преобладанием в грамотеинской (0,15 %). Для них присущи максимумы, (г/т): Ti, V, Co, Ni, Zn (P_{2ln}), Y, Zr, Nb (P_{2ln}); Mo, La для P_{2ln} . Содержания максимальных количеств (г/т) элементов обнаружены также в P_{2us} – Mn, Cu, Ta, Au; P_{1pr} – Hg; C_{3al} – Cr, Ag. Таким образом, максимумы насыщенности ЗШМ углей для кольчугинской серии (P_2) отвечают 14 d-элементам, P_{1pr} – 1, C_{3al} – 2.

Таблица 1.29 – Показатели средних содержания (g/m) d -элементов в ЗШМ кузнечских углей

Свита	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	La	Hf	Ta	Au	Hg	Сумма, %
Тайлунганская	32	12510	133	181	853	38	66	65	113	124	2187	80	10	н.д.	100	27	7	н.д.	0,6	0,1
Грамотеинская	37	20958	270	175	1796	70	180	75	120	210	2395	60	5	0,1	165	19	7	н.д.	н.д.	0,16
Ленинская	44	21133	221	218	1256	108	146	95	634	243	3774	153	13	3,3	428	32	9	1,2	2,6	0,15
Ускальская	44	14196	229	314	2150	55	103	115	368	208	3500	136	12	1,1	177	24	16	6,2	1,0	0,11
Казанково-Маркинская	41	14996	198	195	1648	37	89	80	239	151	2221	102	9	н.д.	139	35	н.д.	н.д.	1,7	0,13
Кемеровская	37	10874	153	161	1324	67	130	97	289	168	2402	134	10	6,8	169	23	10	0,2	1,3	0,08
Ишановская	34	13793	162	196	1894	73	118	109	387	175	2607	108	12	5,2	233	22	7	0,4	1,2	0,1
Промежуточная	27	10911	136	151	1980	41	102	83	251	114	1928	75	9	2	134	15	4	0,2	3,8	0,08
Алькеевская	28	6582	103	358	699	32	85	83	106	107	697	101	8	55,9	60	56	12	0,7	0,1	0,05
Мазуровская	18	5682	99	124	483	19	57	105	н.д.	114	767	57	10	н.д.	27	10	н.д.	0,1	н.д.	0,05

1.3.2 Элементы группы платины и коррелирующие с ними другие элементы в вещественном составе углей

Следующий ряд d-элементов Ru, Rh, Pd, W, Re, Os, Ir, Pt и других нами изучался в 2003-2006 годах на объектах угольных предприятий – разрезах «Красногорский», «Бачатский» и шахте «Байдаевская». По пласту XXXI разреза «Красногорский» данные опубликованы нами в 2003 г. Они включают результаты анализов, выполненных в Томском политехническом университете в геолого-аналитическом центре под руководством профессора А. Ф. Коробейникова, заведующего Лабораторией А. Я. Пшеничкина. Результаты анализов 15 проб на золото, палладий, платину оказались в пределах кондиций на извлечение: Au (60,0 %), Pt (80,0 %), Pd (20,0 %) (аналитики З. С. Михайлова, Э. В. Горчаков).

В 2006 году нами получены результаты изучения ICP-MS методом 8 проб в лаборатории ИГЕМ РАН, г. Москва. Они включают серии определений элементов в углях (пласт Горелый в. п., разрез «Бачатский», 4 пробы) и горелых пород (терриконики шахты «Байдаевская», 4 пробы). Результаты определений d-элементов и других групп элементов приведены в таблице 1.30.

В углях, в пробах после лабораторного озоления при 550⁰С (пласт Горелый в. п., разрез «Бачатский»), обнаружены промышленные содержания элементов: Ru (0,08-0,12 г/т), 2 пробы; Rh (0,01-0,25 г/т), 4 пробы; Pd (0,49-2,53 г/т), 4 пробы; Ag (67-70 г/т), 2 пробы; Hf (17,76-17,96 г/т), 2 пробы; Re (0,03-0,08 г/т), 3 пробы; Ir (0,01-0,21 г/т), 3 пробы; Au (0,16-4,8 г/т), 3 пробы. По горелым породам террикона шахты «Байдаевская» также в промышленных содержаниях найдены: Ru (0,03 г/т), 2 пробы; Rh (0,02 г/т), 1 проба; Pd (0,38-0,64 г/т), 4 пробы; Re (0,08 г/т), 1 проба; Ir (0,01-0,03 г/т), 2 пробы; Au (0,09-0,12 г/т), 2 пробы. Всего с пометкой «0» (не обнаружено) отмечено 6,8 % определений; элементов с промышленными кондициями содержаний – 9,8 %. Эти результаты имеют существенное прагматическое значение для принятия решений о поисках благородных, платиновой группы и других месторождений металлов в угленосных отложениях Кузнецкого каменноугольного бассейна [176].

Таблица 1.30 – Данные определений ICP-MS методом содержаний (г/т) d-элементов по лабораторной золе углей пласта Горелый в. п. разреза «Бачатский» и горелых пород террикона шахты «Байдаевская»

Элемент	Номера проб (зольность A ^d , %)							
	1(5,26)	3(8,16)	4(13,72)	2(37,22)	6(96,6)	5(96,67)	8(98,82)	7(99,3)
Sc	14,32	11,21	4,43	9,66	5,87	5,11	8,63	4,82
Ti	4177	4736	2791	4960	1896	1967	2603	1881
V	105,5	138,8	75,44	96,88	136,6	33,34	241	94,49
Cr	30,0	29,0	27,43	33,26	38,0	22,43	45,14	94,42
Mn	273,8	426	3983	51,91	101,5	504,5	587	403
Co	10,04	11,03	6,83	3,06	13,59	12,58	16,05	9,01
Ni	69,89	49,11	32,11	15,32	40,19	28,62	34,76	44,05
Cu	74,43	82,57	40,89	24,81	0	0	0	0
Zn	1,69	0	8,58	0	0	0	0	0
Y	47,11	36,99	11,52	30,61	11,2	8,78	14,74	9,89
Zr	402,9	387,8	70,34	231,2	73,06	42,77	65,73	39,42
Nb	43,53	28,07	3,64	34,65	5,85	4,89	6,59	5,49
Mo	3,9	14,06	4,14	2,31	1,02	0,24	0,43	0,9
Ru	0,12	0,08	0	0	0,03	0	0,03	0
Rh	0,25	0,14	0,03	0,01	0	0	0	0,02
Pd	2,47	2,53	0,49	1,32	0,45	0,43	0,64	0,38
Ag	70,0	0	67,0	0	0,23	0,44	1,05	0,76
Cd	0,82	0,71	0,35	0,79	0	0,15	0,36	0
La	162,2	35,79	13,49	76,32	74,35	20,14	30,82	29,23
Hf	17,76	17,96	3,42	9,66	4,33	2,06	3,59	2,29
Ta	5,66	5,6	1,05	4,7	0,81	0,48	0,82	0,47
W	8,75	16,48	3,67	3,57	1,12	0,81	1,34	1,55
Re	0,05	0,08	0,03	0	0	0	0	0,08
Ir	0,19	0,01	0,21	0	0,03	0	0,01	0
Pt	0	0	0	0	0,37	0,72	0,33	1,1
Au	4,0	0,16	4,8	0	0,12	0,02	0,09	0
Hg	0,84	0,69	0,21	0,21	0,67	0	0	0,2

Примечание: 0 – элемент не обнаружен; 1,2,3,4 – уголь; породы: 5 – аргиллит слабообожженный с остатками несгоревшего угля; 6 – алевролит глинистый обожженный и не обожженный (смесь пород); 7 – алевролит глинистый светло-розовый, обожженный; 8 – алевролит обожженный.

Особенности распределения f-элементов (Ce, pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu; Th, U) нами далее освещаются по данным монографии [88] и результатам анализов проб в ИГЕМ РАН (табл. 1.31).

Таблица 1.31 – Данные определений ICP-MS методом содержаний (г/т) f-элементов по лабораторной золе углей пласта Горелый в. п. разреза «Бачатский» и горелых пород террикона шахты «Байдаевская»

Элемент	Номера проб (зольность A ^d , %)							
	1(5,26)	3(8,16)	4(13,72)	2(37,22)	6(96,6)	5(96,67)	8(98,82)	7(99,3)
Ce	370,8	88,94	33,17	195,1	74,35	54,37	82,56	76,35
Pr	33	8,95	3,22	19,96	7,38	5,71	8,7	8,51
Nd	104,7	30,82	11,04	67,0	27,01	20,61	34,34	28,67
Sm	17,85	8,7	2,85	13,19	5,45	4,14	6,69	4,69
Eu	3,81	1,96	0,62	1,92	1,18	0,91	1,43	1,2
Gd	19,45	11,07	3,31	14,53	6,16	4,95	6,83	5,88
Tb	2,45	1,43	0,44	1,81	0,77	0,59	0,9	0,72
Dy	12,98	8,61	2,77	8,85	3,47	3,28	4,26	3,59
Ho	2,41	1,75	0,54	1,75	0,8	0,55	0,87	0,64
Er	7,09	5,45	1,9	4,71	2,07	1,82	2,21	1,72
Tm	1,11	0,98	0,33	0,86	0,42	0,22	0,45	0,17
Yb	7,1	7,14	2,04	5,16	2,51	1,57	2,86	1,3
Lu	1,07	1,09	0,3	0,85	0,33	0,32	0,39	0,27
Th	40,21	51,69	12,0	23,96	12,38	7,15	11,66	8,78
U	16,09	12,82	4,15	6,24	3,48	1,77	2,46	1,98

Примечания см. в табл. 1.30.

Сравнение величин лантанидного сжатия, вычисленных по данным таблиц 1.30, 1.31 для углей и пород, определяет тенденции при увеличении зольности между группами определений в 6,1 раза почти идентичный характер показателей для углей и пород, а именно: La:Ce (0,4; 0,5), Pr:Ce (0,1; 0,1); Eu:Sm (0,2; 0,2), Tb:Gd (0,1; 0,1), Ho-Dy (0,2; 0,2); Tm:Er (0,2; 0,2), Lu-Yb (0,2; 0,1). Это подтверждает универсальность показателя лантанидного сжатия для углепородных массивов угленосных отложений Кузбасса и определяет возможности дальнейших исследований с выявлением систематических ошибок анализов при обработке массовых данных по 14 РЗЭ.

Отметим также, что показатели отношений одноименных элементов для углей и пород от La к Tb (исключая Ce) имеют показатели (уголь: порода) в пределах 1,75-2,14; в среднем, – 1,95. Остальные РЗЭ (включая Ce) аналогично фиксируются пределами показателей 2,29-2,67; в среднем, – 2,47. Это характеризует f-элементы (РЗЭ) от Ce до Dy-Lu склонностью к большей углефильности, чем другие РЗЭ. Последний тезис не находит отражения при рассмотрении данных по лантанидному сжатию.

Торий и уран в стратиграфических подразделениях рассмотрены в ра-

боте [113]. Поэтому здесь приводим отношения содержаний Th: U по свитам: $P_{2tl} - 0,23$; $P_{2gr} - 0,8$; $P_{2ln} - 0,65$; $P_{2us} - 0,89$; $P_{2km} - 1,62$; $P_{1kr} - 1,0$; $P_{1i\check{s}} - 0,88$; $P_{1pr} - 0,72$; $C_{3al} - 0,72$; $C_{2,3mz} - 0,76$. Анализ этих данных приводит к выводам о том, что большая часть свит P_2 отражает урановое превосходство ($P_{2tl} - P_{2us}$; в среднем, $- 0,64$). Две следующие свиты P_{2km} и P_{1kr} имеют средний показатель $- 1,36$. Далее – свиты $P_{1i\check{s}}$ и $P_{1pr} - 0,8$; C_{3al} и $C_{2,3mz} - 0,74$.

Таким образом, три выделенные группы показателей, возможно, освещают историю накопления вещества в новой шкале пермской системы: $P_3 - 0,64$; $P_2 - 1,36$; $P_1 - 0,8$; $C - 0,74$. Косвенные данные о насыщенности отложений P_{2km} песчаной фракцией пород (28 %) при малой угленасыщенности (0,8 %), меньшем содержании глинистых пород (19,3 %), повышенной доли конгломератов и гравелитов (0,2 %) позволяют утверждать, что преобладание тория в ЗШМ углей свиты зависело от кластогенного привноса минералов в пределах пограничной части отложений P_{2km} и P_{1kr} . В породах свит P_1 песчаный материал составляет 50,0-52,0 %, что в 2,1 раза больше (вычисления наши), чем в составе пород P_2 . Резкое отличие в характере и объеме накопления обломочного материала пород в Кузнецкой котловине, отмеченное в [142], определило главный механизм управления поступлением вещества со сторон областей питания. Область переходного режима формирования угленосной толщи, возможно, охватывает часть рассматриваемых отложений и рекомендуется нами для установления границ новой шкалы МСК (P_3 , P_2 , P_1) в части нового подразделения пермской системы в Кузбассе. Итоговая модель размещения отношений s , p , d , f – элементов в ЗШМ углей Кузбасса приведена в таблице 1.32.

Связи пределов зольности (средних значений) и относительных концентраций к местному фону (баллы, ед.) свидетельствуют о преобладании высоких концентраций элементов в пределах зольностей углей от 8,06 до 23,8 % (рис. 1.15). Именно такие кузнецкие угли в первую очередь потенциальны для поисков в них ценных и токсичных элементов. Связи коэффициентов концентраций по осредненным данным (КОД, ед.) для элементов изображены на рисунке 1.16. Результаты исследования показателей отражают заметную роль изменчивости зольности и содержаний – d -элементов в сравнении с группами элементов s , p , f .

Таблица 1.32 – Размещение относительных показателей s, p, d, f-элементов в ЗШМ кузнечных углей

Индекс свиты	s				p				d				f			$\Sigma n, м.$ $\Sigma n, пл.$	
	K/Na	Ca/ Mg	Str/ Rb	Ba/Cs	Si/Al	S/P	F/B	Ga/Ge	Fe/ *	Zn/ Cu	Zr/ Y+Nb	Hf/Ta	Au/ Hg	Ce/ Sm	Yb/ Lu		Tb/ U
P ₂ fl	0,59	4,2	8,3	318	1,8	2,4	3,0	7,6	3,5	1,7	10,7	4,1	-	13,1	3,9	0,2	3,6
P ₂ gr	5,0	2,3	-	-	1,9	3,8	-	-	1,9	1,6	8,9	2,7	-	6,0	6,1	0,8	2,8
P ₂ ln	0,53	2,1	10,8	347	2,1	8,9	1,5	1,1	3,5	6,7	9,5	3,7	0,5	20,5	4,2	0,7	1,6
P ₂ us	1,2	2,1	11,1	332	1,8	9,5	1,3	2,8	4,2	3,2	10,2	1,5	6,0	7,0	6,0	0,9	1,0
P ₂ km	0,13	1,8	4,7	183	2,4	7,7	5,5	4,3	3,4	3,0	8,8	-	-	7,6	4,0	1,6	0,2
P ₁ kr	1,72	3,2	7,4	306	1,6	4,4	2,4	2,1	5,3	3,0	5,3	2,2	0,2	9,2	3,5	1,1	2,3
P ₁ š	0,64	2,0	10,5	355	2,7	9,7	3,4	3,6	3,9	3,5	3,9	3,0	0,3	19,5	4,8	0,9	1,3
P ₁ pr	2,3	2,0	8,4	329	2,8	13,2	7,8	4,7	5,6	3,0	5,6	3,6	0,05	8,5	4,8	1,2	1,4
C ₃ al	1,2	5,2	4,8	196	3,5	20,1	11,9	3,4	7,0	1,3	7,0	4,7	5,2	4,0	2,2	1,2	0,7
C ₂₋₃ mz	1,2	3,0	-	334	4,3	17,8	-	2,5	-	-	-	-	-	6,6	4,5	0,8	0,5

Примечание: * – Ti+V+Cr+Mn+Co+Ni.

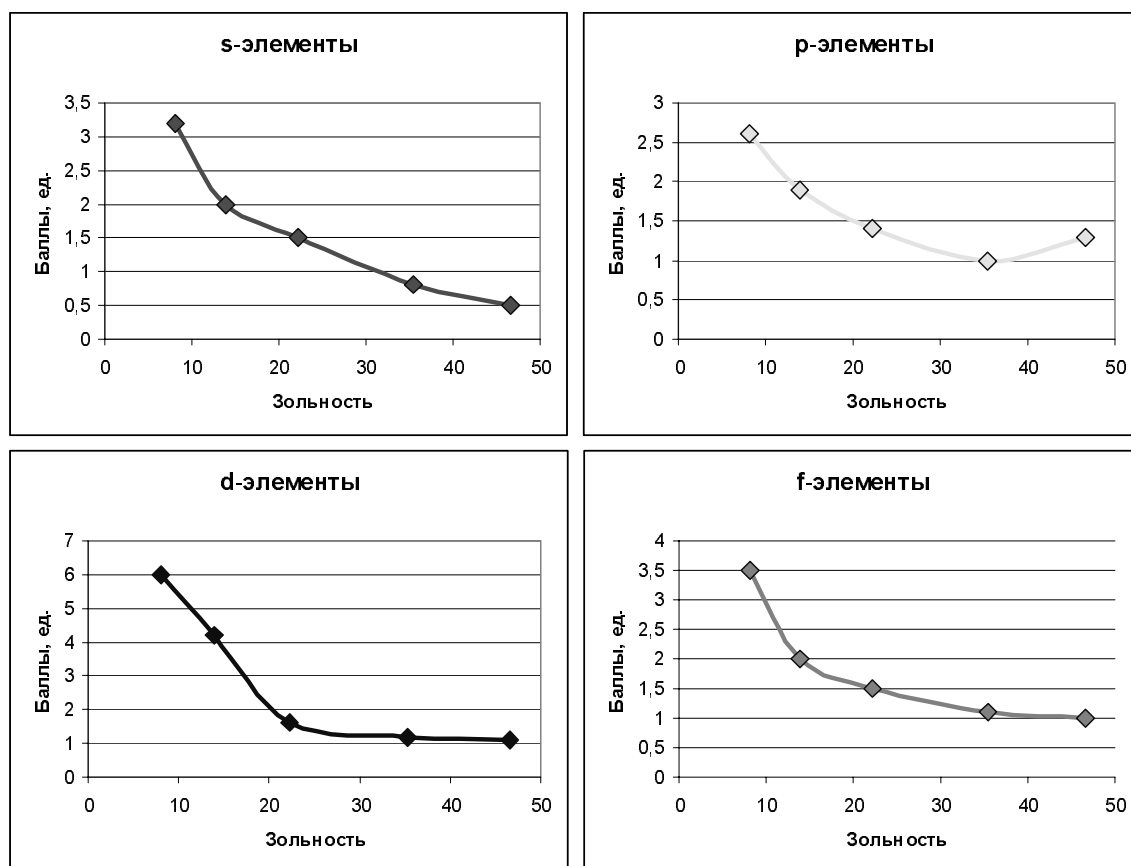


Рисунок 1.15 – Средние показатели распределения s, p, d, f-элементов от зольности кузнецких углей. A^d , %
 1. 8,06(7,29-8,44); 2. 13,86 (12,14-15,55); 3. 22,24 (18,60-23,80);
 4. 35,34 (32,80-37,42); 5. 46,60 (45,25-48,40)

В качестве выводов о размещении s, p, d, f-элементов отметим:

1. Общая тенденция распределения натрия заключается в его превращениях над калием в тайлуганской, ленинской, казанково-маркинской, ишановской свитах; в остальных – калий преобладает. В аналогичных показателях отношения К/Na для углей Р: С = 2,1. Выраженный максимум калия в Р₂gr требует подтверждения на большем числе анализов, т. к. это данное отвечает одной пробе. Преобладание натрия над калием установлено для Р₂tl, Р₂ln, Р₂km; Р₁iš свит. Максимум содержащих натрий ЗШМ отвечает Р₂km, т. е. пластам углей с минимальным средним показателем мощности пластов (0,2 м). Последнее может быть следствием насыщения пластов казанково-маркинской свиты кластогенным материалом каолинизированных щелочных полевых шпатов и пепловым вулканическим материалом [28, 29], образовавшемся при извержениях кислых риолитовых, да-

цитовых, других лав. Существенна калиевая составляющая часть туфогенных прослоев в углях среднего карбона ($K_2O:Na_2O = 1,1-3,5$).

Естественное обогащение калием торфяных залежей и унаследованное пластами углей объяснимо с позиций рассмотрения вклада в геохимию органических осадков от древних лесных пожаров и верховых болотных торфяников, которые образовали дополнительные порции К-содержащих зол, смывавшихся затем в низинные болота временными дождевыми водными потоками. Биогенная природа накопления калия в растениях хорошо известна [134]. Поэтому соотношения калия и натрия в различных пластах в пределах Кузнецкого бассейна неодинаковы.

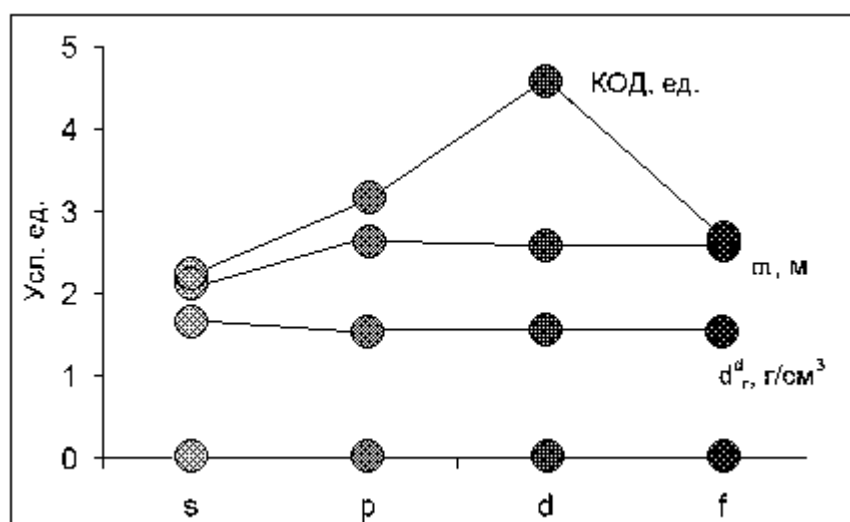


Рисунок 1.16 – Распределение показателей s, p, d, f – элементов для пластовых проб кузнецких углей

$КОД$ – коэффициент концентрации по усредненным данным для зольности;
 t – мощность пласта, м; d^d – плотность угля, г/см³

Похожие закономерности отмечаются и для других угольных бассейнов. Для различных марок кузнецких углей соотношения К/Na иллюстрируются рядом показателей: Д (1,8), Г (0,9), ГЖ (0,4), КО (0,2), КС (5,0), ОС (3,0), СС (1,0), Т (1,2), Ток (1,9). Среди них с преобладанием К пять марок; с преобладанием Na – три. Максимум содержания калия (5,4 %) выявлен в углях марки КС [142]. Для ряда марок коксующихся углей К/Na отноше-

ние находится в пределах 0,2-5,0. В этом примере роль регионального метаморфизма углей достаточно подтверждается соотношениями K/Na для разных марок и стадий метаморфизма.

2. Щелочноземельные элементы кальций и магний имеют, главным образом, хемогенное происхождение (соли угольной кислоты). Поэтому их соотношение в ЗШМ углей отражает состав поровых растворов в исходных торфяниках и времени их углефикации. При выделении болотных газов CO_2 реагировал с растворенными кальцием и магнием, переводя их в осадок в форме взвесей и конкреций, в том числе с образованием линзовидных пластообразных тел, замещением карбонатами стволов деревьев, корней и других растительных остатков. Роль метасоматических (обменных) процессов при этом была весьма существенной. Анализ показателей групп углей подразделенных по интервалам (средним) зольностей (A^d , %) обнаружил следующие закономерности отношения K/Na: 1. (8,1); 1,0. 2. (13,9); 1,8. 3. (22,2); 1,4. По отношению Ca/Mg, соответственно, – 1. (8,1); 2,2. 2. (13,9); 3,3. 3. (22,2); 2,7. 4. (35,3); 8,5. 5. (46,6); 2,0. В последней строке максимум кальция отвечает средней мощности пластов 0,83 м; а по позиции 1 – 5,6 м. Нарастание содержаний кальция в высокозольных пластах углей связано с образованием в них хемогенных включений карбонатов. Показатель Sr/Rb достигает максимальных значений при средних мощностях пластов 1,0-1,6 м в свитах P_{2ln} , P_{2us} , $P_{1i\check{s}}$. Последнее подтверждает выше постулированные закономерности. То же по Ba/Cs. С увеличением зольности углей Ba/Sr отношение имеет следующий характер распределения: 1. (8,1); 1,8. 2. (13,9); 2,6. 3. (22,2); 1,9. 4. (35,3); 1,4. 5. (46,6); 1,3. Это также укладывается в рамки сформулированных выше закономерностей.

3. Кремний и алюминий (p-элементы) по соотношению содержаний Si/Al имеют максимальные показатели 2,4 для P_{2km} и 4,3 для C_{2-3mz} , соответственно, при мощностях пластов 0,2 и 0,5 м. Их частное от деления P: C показателей равно 0,5. Такой показатель отвечает тенденции увеличения количества SiO_2 в золе углей при движении вниз по стратиграфической шкале. Для сравнения, – при увеличении зольности пластов углей в 4,4 раза содержание кремния увеличивается в 3,1 раза.

4. Важным показателем является отношение S/P, т. е. главных кислотообразователей при технологических процессах переработки углей. Общая стратиграфическая концепция состоит в нарастании S/P отношения к древним свитам – P₂tl (2,4); C₂₋₃mz, C₃al (17,8-20,1). Для ленинской, ускатской, казанково-маркинской свит при показателях $\sum m, m / \sum n$, пл., равных 0,2; 1,0; 1,6 (снизу-вверх) S/P отношения в том же направлении равны 7,7; 9,5; 8,9. Показатель S/P здесь максимален для P₂us. Общая характеристика S/P распределения для углей пермской и каменноугольной систем равна 0,39 (в 2,6 раза сульфурофильность углей в С выше, чем в Р).

Последнее положение следует учесть при поисках сульфидных рудопоявлений в породах угленосной толщи Кузбасса с высокой насыщенностью серой. При контактовом метаморфизме, мобилизации, перераспределении вещества в экзоконтактовых фациях метасоматических превращений могли сформироваться сульфидные руды с пиритом, пирротинном, пентландитом; сульфидами Zn, Cu, Pb, Hg, Bi и других элементов. Признаки подобного оруденения нами наблюдались в пределах поля угольного разреза «Красногорский» [88]. Другие месторождения названного типа еще предстоит найти. Галлий и германий – распространенные элементы в ЗШМ углей, судя по Ga/Ge отношению, накопились в «молодых» свитах (P₂tl – 7,6), а также в углях P₂km, P₁kg. В ленинской и мазуровской свитах (1,1; 2,5) следует ожидать максимумов содержаний Ge.

Один из главных d-элементов – железо. Его показатель распределения рассмотрен в сочетании с группой (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni) (см. табл. 1.32). Наиболее склонны к накоплению железа оказались угли кемеровской, промежуточной и алыкаевской свит. Карбонатные конкреции в максимальных количествах отмечены для отложений P₂tl, P₂gr, P₂ln, P₂us; P₁gr, C₂₋₃mz, C₃al [142]. Насыщенность добытых и разведанных марок углей указанной группой элементов в максимумах отвечает для энергетических углей, (%) по Fe – Д (5,9), Г (9,1), СС (6,7), Т (9,5); по Mn – СС (0,27); антрациту (0,25); по V – Д (0,03). Коксующиеся по Fe – ГЖ (0,4), КСН (0,34). Цинк и медь с преобладанием Zn накопились в P₂ln. Гафний и тантал по максимумам распределены по свитам – P₂tl, C₃al (Hf); P₂us (Ta). Цирконий, иттрий, ниобий (Zr/Y+Nb) имеют максимальные концентрации в P₂tl, P₂us

(Zr); P_{2us} (Y+Nb). Золото с максимальными значениями содержаний встречено по показателю Au/Hg в P_{2us} (6,0), C_{3al} (5,2). Ртуть – в P_{1pr} (0,05).

Распределение f-элементов характеризуется отношениями содержаний Ce/Sm, Yb/Lu, Th/U. Максимумы по Ce (20,5; 19,5) характеризуют P_{2ln}, P_{1iш} угли; по Sm (4,0) угли (их ЗШМ) в отложениях C_{3al}. Максимум иттербия (Yb/Lu) приходится на пласты углей P_{2gr} и P_{2us}; лютеция – на C_{3al}. Аналогично, по урану и торью (Th/U) ториевый максимум находится в P_{2km}; урановые – в P_{2tl} (0,2), P_{2ln} (0,7). Все приведенные здесь данные имеют решающее значение при ориентировке направлений поисковых геологических работ, научного и промышленного мониторинга, оценках коммерческой выгоды углей с промышленными содержаниями ценных и весьма ценных металлов, экологических заключений и решений.

2 Горнотехнические системы, обеспечивающие попутную добычу элементов-примесей при комплексном освоении угольных месторождений

2.1 Опыт селективной разработки пластовых месторождений

2.1.1 Селективная разработка угольных пластов при открытом способе добычи

Селективная разработка угольных пластов с повышенной зольностью (до 30-50 %) при открытом способе добычи применяется с целью снижения степени разубоживания угля. Традиционная технология горных работ с использованием буровзрывной отбойки не обеспечивает достаточной глубины селекции на пластах мощностью до 2-х метров [108].

Селективная выемка угольных пластов без предварительного рыхления на угольных разрезах может быть осуществлена с помощью карьерных гидравлических экскаваторов типа «прямая лопата». Экскаваторы такого типа имеют независимый привод поворота стрелы, рукояти и челюстного ковша, что обеспечивает возможность отдельной выемки небольших слоев породы и угля и погрузку их в разные транспортные средства. Рабочее оборудование за счет различных траекторий движения ковша обеспечивает селективную выемку небольших слоев (от 0,3-0,4 м), причем ковш может перемещаться в горизонтальной плоскости.

Таким характеристикам соответствуют экскаваторы ЭГ [101]. Погрузка полезного ископаемого может осуществляться в средства автомобильного и железнодорожного транспорта, расположенные на уровне рабочей площадки (рис. 2.1). Экскаваторы отработывают уступы выше уровня рабочей площадки забоя. Породы I и II категории разрабатываются без предварительного рыхления.

Для селективной выемки угля (до крепких) без предварительного рыхления можно применять роторные экскаваторы на рельсово-шагающем ходу (ЭРП – 7000/30, ЭРП – 7000/35, ЭРП – 1500). Для добычи полезных ископаемых средней крепости – экскаватор роторный шагающе-

рельсовый добычной ЭРШРД 5250. Роторные экскаваторы позволяют эффективно вести селективную выемку даже маломощных пластов и разносортных пропластков за счет высокого усилия резания. Эта технология широко применяется в КАТЭЖе (разрез Березовский - 1) и в Приморье на разрезе Лучегорском [109]. Роторные экскаваторы работают в комплексе с транспортно-отвальными мостами на железнодорожный или конвейерный транспорт (рис. 2.2).

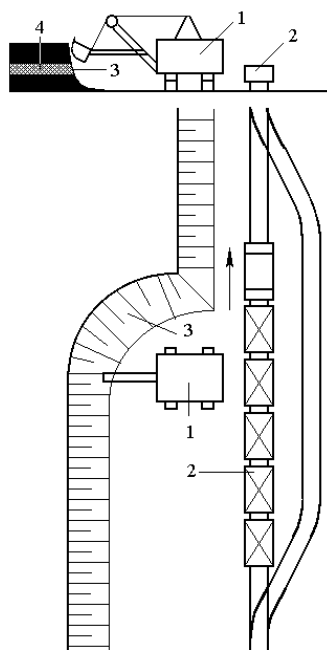


Рисунок 2.1– Технологическая схема селективной выемки без предварительного рыхления угольного пласта
1 – экскаватор, 2 – транспортное средство,
3 – забой, 4 – угольный пласт с ценными включениями

Фирма «Ман Такраф» (Германия) выпускает фрезерные комбайны Surface Miner MTS1250 [101], которые прошли опытную эксплуатацию на угольных разрезах. Этот комбайн осуществляет селективную выемку пласта угля. Особенностью его конструкции является фрезерный барабан, который имеет спиральный профиль, отделяет сверху вниз уголь почвы пласта, перемещая его к середине машины, где производится его загрузка на забойную часть конвейера и далее на самосвал с помощью поворачивающейся стрелы перегружателя. Производительность комбайна до 1750 т/ч.

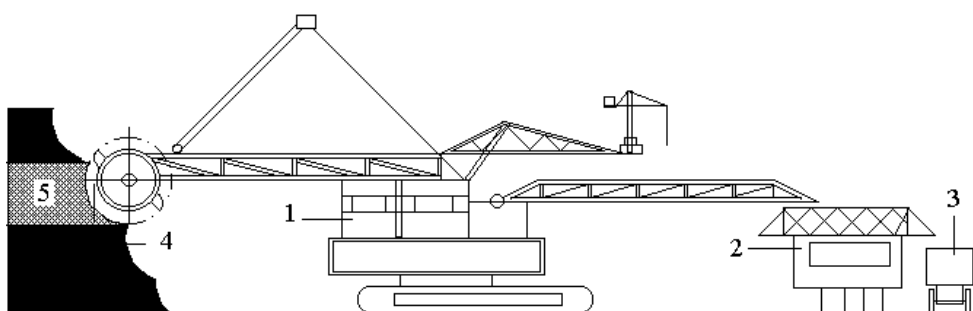


Рисунок 2.2 – Технологическая схема селективной выемки угля роторным экскаватором
1 – роторный экскаватор; 2 – перегружатель; 3 – транспортное средство;
4 – забой; 5 – угольный пласт с ценными включениями

2.1.2 Селективная разработка пластовых месторождений при подземном способе добычи полезных ископаемых

Задача селективной разработки угольных пластов до недавнего времени перед технологами не ставилась. Поэтому на угольных шахтах нет практического опыта отдельной выемки и транспортирования на поверхность горной массы из пласта и прослоек. Отдельные изобретения по отдельной выемке пластов угля и породного прослойка предполагают транспортирование отбитой породы в завал. Однако существует уникальный опыт разработки пластовых соляных месторождений. Рассмотренные ниже технологические схемы не имеют аналогов в мировой практике добычи пластовых полезных ископаемых. Для их адаптации в угольных шахтах нет никаких препятствий, даже при применении существующей серийной отечественной и зарубежной техники.

Селективная выемка пластов с хлоридом калия стала успешно применяться в начале 70-х годов в ПО «Беларуськалий». Институтом Гипроуглемаш был разработан и внедрен трехшнековый очистной комбайн КС-2 [60]. Технологическая схема его работы показана на рисунке 2.3.

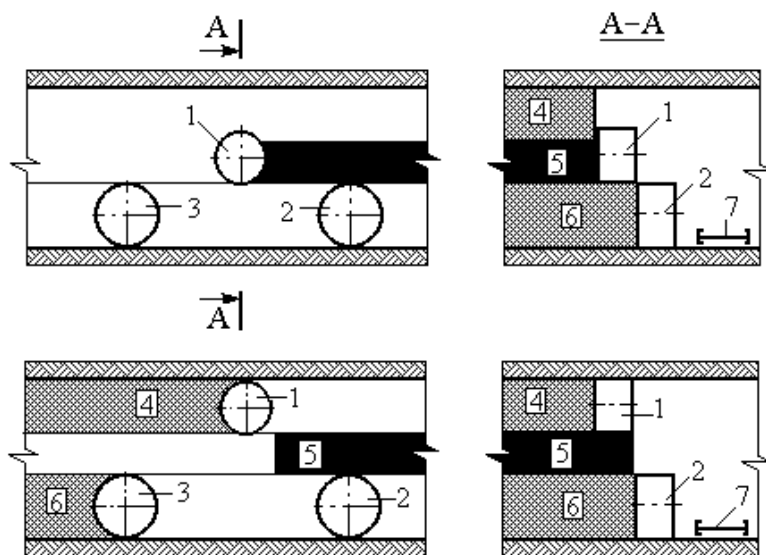


Рисунок 2.3 – Схема селективной выемки пласта трехшнековым очистным комбайном

1 – центральный шнек; 2, 3 – крайние шнеки; 4 – верхний слой; 5 – средний слой; 6 – нижний слой; 7 – забойный конвейер

Центральный шнек 1 диаметром равным мощности верхнего вынимаемого слоя 4 постоянно выдвинут относительно шнеков 2 и 3 в сторону забоя на ширину захвата комбайна. При зарубке лавы центральным шне-

ком 1 вначале извлекается верхний слой полезного ископаемого 4. Этим же шнеком слой 5 извлекается обратным ходом комбайна. Далее первым ходом шнек 1 извлекает верхний слой 4. Левый шнек 3 извлекает с отставанием на цикл нижний слой 6, а правый шнек осуществляет зачистку забоя и погрузку полезного ископаемого на конвейер 7. При обратном ходе шнек 1 извлекает слой 5, шнек 3 осуществляет его погрузку на конвейер 7 для последующего отдельного складирования и транспортирования.

На базе стандартного двухшнекового выемочного комбайна создан трехшнековый комбайн, схема работы которого показана на рисунке 2.4. Силовой блок третьего опережающего шнека устанавливают на дополнительной раме, укрепленной на торцевой стороне корпуса комбайна. Шнек в рабочем положении опережает два других шнека на величину захвата.

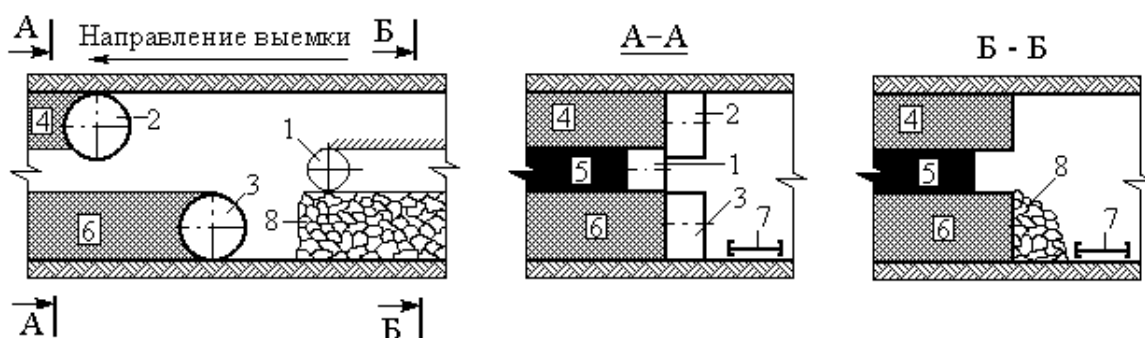


Рисунок 2.4 – Схема селективной выемки пласта двухшнековым очистным комбайном с дополнительным навесным силовым блоком

1 – средний шнек комбайна; 2, 3 – передние шнеки; 4 – верхний слой; 5 – средний слой; 6 – нижний слой; 7 – забойный конвейер; 8 – отбитая горная масса

Два передних шнека (2 и 3) извлекают верхний 4 и нижний 6 слои и грузят их на конвейер 7. Шнек 1, работающий позади основных шнеков, с опережением на один захват извлекает слой 5 и складировывает его между забоем, образовавшимся от прохода передних шнеков, и забойным конвейером 7. При отгоне комбайна шнек 1 выводится из забоя, а два шнека грузят на конвейер отбитый слой 8, который складировывается и транспортируется отдельно от слоев 4 и 6. По такой схеме работает трехшнековый комбайн EDW300/760L производства фирмы «Айкхофф» (Германия).

В середине 90-х годов разработан и запатентован способ селективной разработки пластов полезных ископаемых двухшнековым комбайном принципиально новой конструкции. Отличительная особенность комбайна заключается в возможности выдвижения каждого из двух поворотных редукторов вместе со шнеками относительно стандартного положения на ширину захвата комбайна. Сущность технологической схемы представлена на рисунке 2.5.

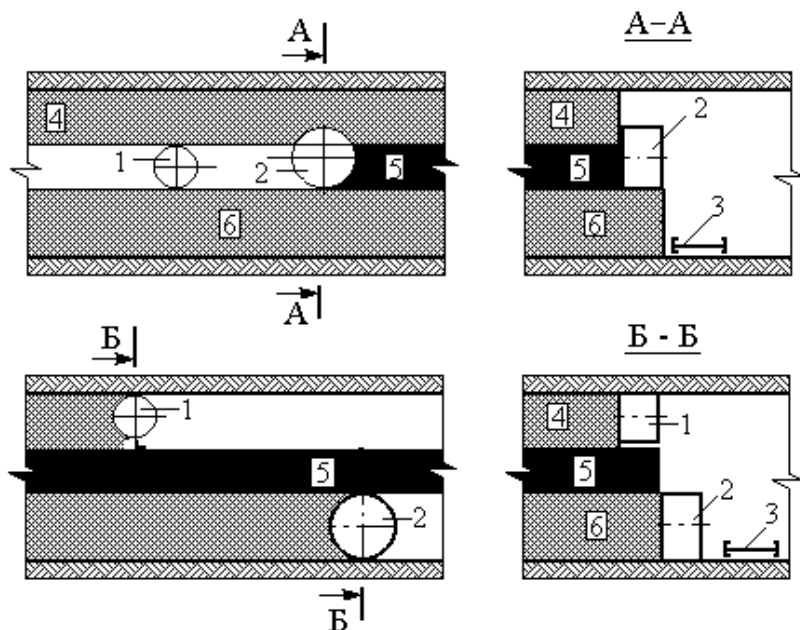


Рисунок 2.5 – Схема селективной выемки пласта полезного ископаемого двухшнековым очистным комбайном
 1 – опережающий шнек; 2 – отстающий шнек; 3 – забойный конвейер;
 4 – верхний слой; 5 – средний слой; 6 – нижний слой

Верхний слой полезного ископаемого 4 извлекается опережающим шнеком 1, диаметр которого равен мощности верхнего слоя. Шнек 1 в это время выдвинут в забой на величину захвата комбайна. Отстающий шнек 2 находится в стандартном положении и извлекает нижний слой полезного ископаемого 6. По окончании цикла выдвинутый шнек задвигается в стандартное положение, выполняется концевая операция и задвигается забойный конвейер 3. При обратном ходе комбайна оба шнека ставятся в стандартное положение и извлекают прослой 5, который складировается отдельно. По такой схеме работают комбайны SL500S.

При выемке пласта сложного строения (пять маломощных слоев) трехшнековым комбайном применяется технологическая схема, представленная на рисунке 2.6. Средний шнек 1, выдвинутый на один захват, извлекает средний сильвинитовый слой. Передний и задний шнеки находятся в стандартном положении. Передний шнек 2 извлекает верхний слой,

задний шнек 3 извлекает нижний слой и ведет погрузку сильвинита на забойный конвейер. При обратном ходе комбайна средний шнек задвигается в стандартное положение. Галит извлекается передним и задним шнеками и транспортируется отдельно.

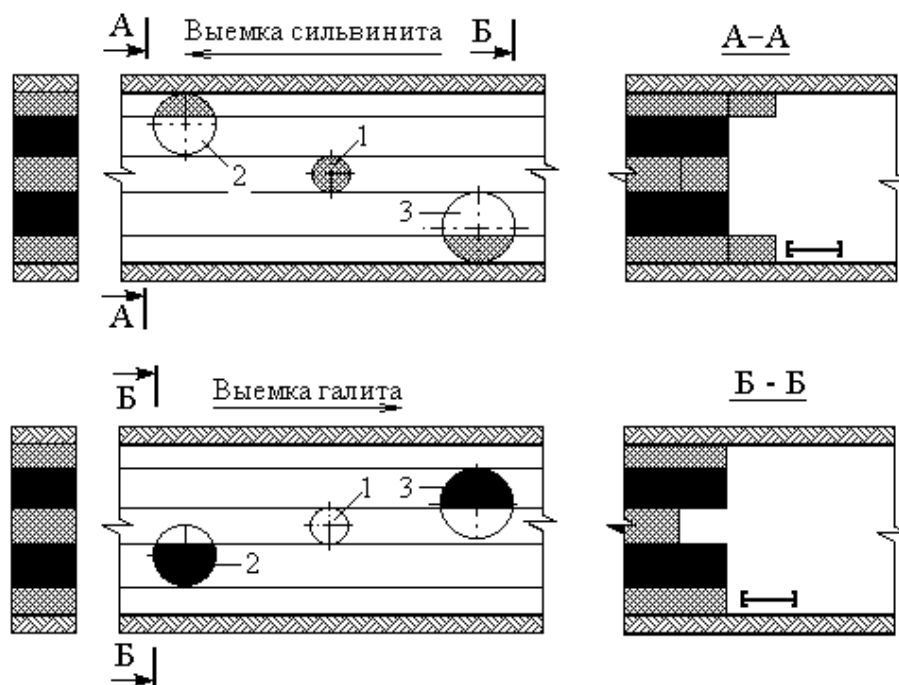


Рисунок 2.6 – Схема селективной выемки пласта сложного строения трехшнековым очистным комбайном с выдвигаемым средним шнеком
 1 – средний шнек; 2 – передний шнек; 3 – задний шнек

По технологической схеме, представленной на рисунке 2.5, могут работать серийные двухшнековые выемочные комбайны, применяемые на угольных шахтах, например, ГШ500, КШ1КГУ, КШЗМ, РКУ-10 и другие [101]. В зависимости от мощности пласта и прослоек для конкретных горно-геологических условий необходимо подбирать диаметры шнеков.

Если на выемочных машинах, применяемых на угольных шахтах, смонтировать силовой блок с третьим дополнительным шнеком, можно использовать технологические схемы, представленные на рисунках 2.4 и 2.6.

При добыче угля системами разработки с короткими очистными забоями применяются комбайны избирательного действия, которые могут вынимать как пласт угля, так и прослойку с повышенным содержанием

ценных минеральных включений. Условием осуществления селективной выемки является необходимость разделения транспортных потоков горной массы различного качества, что не представляет технологической трудности, т.к. в короткозабойных системах разработки транспортирование горной массы от забоя до средств участкового транспорта осуществляется, обычно, циклическим транспортом - самоходными вагонами.

Копейский машиностроительный завод выпускает проходческо-очистные комбайны типа «Урал» и самоходные вагоны В15К. Указанная техника может быть применена для рассмотренной технологической схемы.

Из зарубежной техники по рассмотренной технологической схеме могут работать комбайны фирмы Joy Mining Machine, такие как 12СМ (производительность 29 т/мин., максимальная мощность 594 кВт), 17СМ (минимальная производительность – 19 т/мин., поставляется с различными вариантами режущих головок с размерами барабанов 762 и 711 мм, максимальная мощность – 416 кВт) [101].

Фирма Voest Alpine выпускает широкозахватный комбайн для добычи угля в коротких очистных забоях Bolter Miner АВМ 12. Селективная выемка может осуществляться по угольным пластам с предельными мощностями 1,5-3,7 м. Комбайн оснащен телескопическим выдвижным рабочим органом, погрузочно-транспортным устройством и навесным бурильным оборудованием. Мощность двигателя врубового органа 270 кВт. Комбайн обеспечивает одновременность процессов выемки и анкерования. Фирма выпускает и другие модификации комбайна, такие как Bolter Miner АВМ 14 и Bolter Miner АВМ 30, которые также могут быть использованы для селективной выемки угля в коротких очистных забоях при различных горно-геологических условиях.

Технология селективной выемки пластов каменной соли в коротких очистных забоях в 2003 г. начала успешно применяется на Старабинском месторождении ПО «Беларуськалий» [130]. Сущность технологии заключается в раздельном извлечении и выдаче (складировании) слоев белой и серой соли. Панель отрабатывается камерной системой разработки с блоковой подготовкой. Для селективной выемки пласта используется комбайновый комплекс Урал-10А с бункером перегружателем БП-14 и самоход-

ным вагоном 5BC-15M. Комбайн может отдельно выбирать до 10 прослоев.

В институте горного дела им. А.А. Скочинского разработаны комплексы 1КМКЛ и 2КМКЛ для селективной выемки пластов угля [52]. Комплексы предназначены для отработки пологих и наклонных угольных пластов (до 35° - 45°) короткими лавами постоянной или переменной длины в сложных горно-геологических условиях. Селективная выемка пластов сложного структурного строения обеспечивается за счет высокой энерговооруженности малогабаритного очистного комбайна.

Очистные механизированные комплексы 1КМКЛ и 2КМКЛ отличаются надежностью, мобильностью, легкой управляемостью, простотой технического обслуживания, высокой энерговооруженностью. Входящее в состав комплекса оборудование допускает его применение при любом расположении (правом или левом) очистного забоя.

2.2 Требования к технологии селективной разработки угольных пластов

Как отмечено выше кузнечские угли и продукты их обогащения и переработки представляют промышленный интерес для последующего извлечения ценных элементов-примесей. При условии селективной выемки отдельных частей пластов с повышенным содержанием ценных ЭП может существенно увеличиться ценность добываемой горной массы и металлсодержащего угля. Однако необходимо разработать специальные технологии, исключающие валовую разработку угольных пластов с повышенным содержанием ценных элементов-примесей, предусматривающие отдельную (селективную) добычу и последующую отдельную переработку углей и попутную добычу ценного минерального содержимого из послонно залегающих частей отрабатываемого пласта.

При использовании существующей геотехнологии валовой выемки угля ценные элементы-примеси либо безвозвратно теряются, либо их можно выявить в разубоженном количестве в продуктах сжигания угольной массы (золошлаковых отходах). Целью селективной разработки

угольных пластов является повышение качества товарных углей за счет отдельной выемки непосредственно в шахте и выдачи на поверхность различного по качеству угля, в том числе с высокими содержаниями ценных ЭП.

В отличие от традиционных способов разработки угольных месторождений, при создании технологий комплексного освоения угольных месторождений, в частности для попутной добычи ценных компонентов, необходимо учитывать новые принципы функционирования горнотехнических систем, которые обеспечат отдельную (селективную) выемку пластов углей и содержащихся в них прослоев с ценными попутными компонентами, исключат традиционно-валовую разработку избранных угольных пластов. Дополнительные требования к таким специальным геотехнологиям включают [6, 11]:

- сохранение природного качества угля в различных слоях (выемка без предварительного рыхления угольного пласта и разубоживания его породой);

- организацию отдельного формирования и выдачи на поверхность (от забоя до склада) однородных по качеству нескольких потоков угля;

- отдельную переработку углей различного качества;

- одновременную работу нескольких технологических линий – добыча- переработка;

- встроенность в основной технологический процесс.

Эффективность селективной выемки будет зависеть от количества добытых углей с наличием высоких содержаний минеральных компонентов, производительности добычи, уровня цен на востребованную продукцию и экономического эффекта от продажи угольного концентрата с ценными ЭП на внутреннем и мировом рынках.

2.3 Технологии селективной разработки угольных пластов, содержащих ценные элементы-примеси

Валовая добыча угля из пластов, содержащих включения ценных компонентов, может привести к их потерям, а последующее обогащение

всего объема добытой горной массы приведет к излишним затратам на разделение продуктов добычи.

Предлагается разделять транспортные потоки отбитой горной массы разного качества непосредственно в очистном забое [103], для чего требуется внести изменения в схему выдачи полезного ископаемого на поверхность.

Современная угольная шахта добывает уголь одним или двумя очистными забоями и при этом готовит фронт очистных работ тремя-четырьмя подготовительными забоями. Это означает, что по магистральным горным выработкам одним транспортным средством обслуживаются грузопотоки из разных забоев. Если при проведении подготовительных выработок разделение грузопотоков угля и породы осуществляется непосредственно в зоне ведения подготовительных работ, то в зоне ведения очистных работ разделение грузопотоков на две транспортные цепочки для выдачи на поверхность становится весьма сложной задачей ввиду стесненности рабочего пространства и интенсивности потока добываемого угля.

На рисунке 2.7 показана транспортная схема, поясняющая разделение грузопотоков угля и более ценной минеральной массы еще до магистральной транспортной сети.

Угольный комбайн 1 осуществляет раздельную выемку угля и более ценного прослойка, например, прямым ходом, от конвейерного штрека 2 к вентиляционному 3, комбайн вынимает прослойку и грузит отбитую горную массу на забойный конвейер 4, обратным ходом комбайн 1 осуществляет отбойку угля и его погрузку на тот же конвейер. Горная масса доставляется на сопряжение очистного забоя с конвейерным штреком, где через приемное устройство 5 перегружается на штрековый конвейер 6. Далее грузопоток следует к магистральной горной выработке 7 (уклон, бремсберг, квершлаг и т. д.), где осуществляется перегрузка угля на магистральный конвейер 8, а более ценной угольной продукции – в вагонетки 9. Разделение грузопотоков угля и более ценной горной массы осуществляется плужковым сбрасывателем 10, который включается в работу по сигналу, поступающему от очистного забоя.

Привлекательность данного способа заключается в следующем: в конвейерных уклонах (бремсбергах) существующих шахт, обязательно ук-

ладываются рельсовые пути для организации транспорта вспомогательных материалов; технология пересыпа отбитого полезного ископаемого с ленты конвейера в вагонетки отработана многолетним опытом ее использования на отечественных шахтах; способ не требует дополнительных капитальных вложений и позволяет в подземных условиях разделить транспортные потоки из забоя с выдачей двух и более потоков горной массы на поверхность.

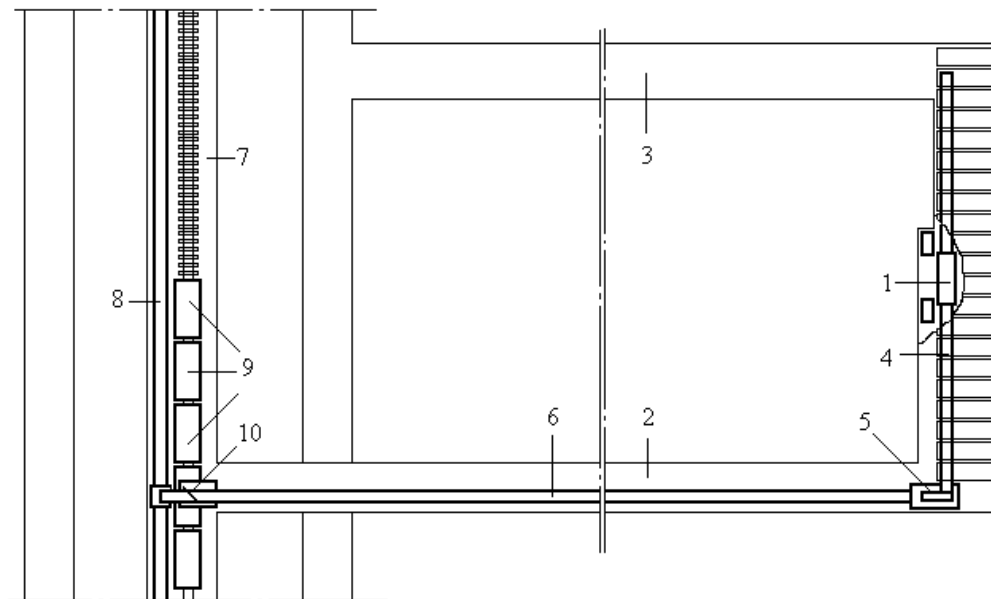


Рисунок 2.7 – Схема разделения транспортных потоков

1 – очистной комбайн; 2 – конвейерный штрек; 3 – вентиляционный штрек; 4 – забойный конвейер; 5 – приемное устройство; 6 – штрековый конвейер; 7 – магистральная горная выработка; 8 – магистральный конвейер; 9 – вагонетки; 10 – плужковый сбрасыватель

Для случая [104], когда прослой более ценного компонента 1, чем уголь расположен примерно посередине мощности пласта предлагается (рис. 2.8) вначале вынимать уголь выше прослоя комбайном 6, затем – уголь ниже прослоя комбайном 9, а сам прослой в последнюю очередь будет разрушаться под действием собственного веса. При этом отбитый уголь, расположенный выше прослоя, грузится на забойный конвейер 5, а ниже прослоя – на забойную ветвь конвейера консольного типа 8, по которым затем транспортируется до конвейерного штрека 13 и далее по существующей транспортной цепочке выдается на поверхность. Сам про-

слой грузится на тот же консольный конвейер 8, но на завальную ветвь, и транспортируется на вентиляционный штрек 14 и далее – на поверхность средствами вспомогательного транспорта.

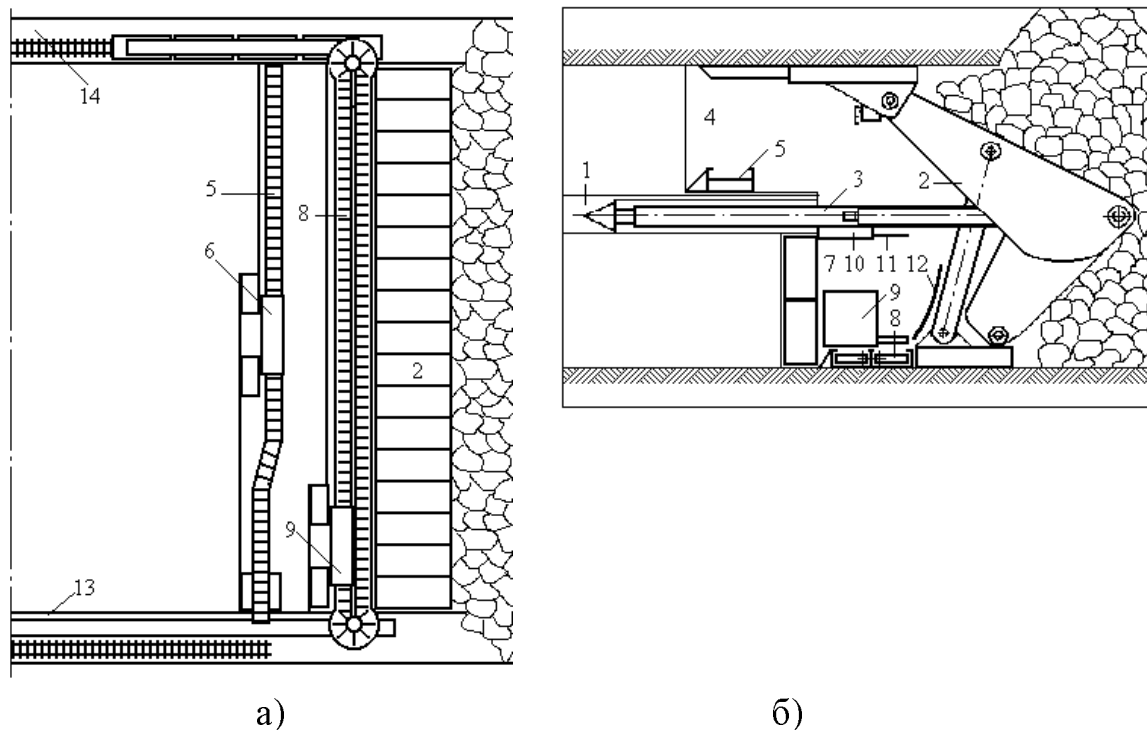


Рисунок 2.8 – Технологическая схема селективной выемки

а – очистной забой (вид в плане); б – очистной забой (поперечное сечение); 1 – прослойка угля с более ценным компонентом; 2 – секции механизированной крепи; 3 – опорные балки с буровым снарядом; 4 – рабочее пространство верхнего слоя; 5 – забойный конвейер; 6 – первый очистной комбайн; 7 – рабочее пространство нижнего слоя; 8 – забойный конвейер консольного типа; 9 – второй очистной комбайн; 10 – ползья секции крепи; 11 – оградительный щит; 12 – отбойный щит; 13 – конвейерный штрек; 14 – вентиляционный штрек

Щит 11 перекрывает рабочее пространство нижнего слоя 7, защищая его от проникновения пород прослойка 1, которые под действием веса могут разрушаться в пространстве между скважинами, а буровую мелочь, образующуюся при бурении скважин, направляют в завальную ветвь консольного конвейера 8.

После выемки первых полос угля в верхнем и нижнем слоях приступают к выемке следующих полос до тех пор, пока ширина межскважинного целика прослойка 1 не превысит ширину оградительного щита. Тогда после очередного перемещения щита 11 на ширину захвата исполнитель-

ного органа комбайна целик зависнет с завальной стороны, под действием собственного веса разрушится и упадет на завальную ветвь конвейера 8. Для повышения надежности обрушения пород прослойка на завальную ветвь консольного конвейера между ним и секцией крепи 2 устанавливается отбойный щит 12 .

Данный способ привлекателен тем, что:

- разделение двух потоков полезных ископаемых осуществляется непосредственно в очистном забое, потоки отбитого угля и более ценного прослоя направляются в противоположные стороны, что исключает возможность их перемешивания при выдаче на поверхность;

- саморазрушение межскважинных целиков прослоя не требует дополнительных затрат энергии;

- для транспортирования прослоя на поверхность может быть использован вспомогательный транспорт – рельсовые пути в вентиляционном штреке.

В случае, когда прослой с содержанием более ценного компонента, например железа и в частности сидерита, расположен у почвы пласта, в его нижней пачке, селективная выемка может быть организована по той же схеме (см. рис. 2.7). Для этого используют серийный очистной комбайн с двумя шнеками. При этом диаметр каждого из шнеков принимают примерно равным (но не менее) мощности пачки угля с кондиционным содержанием железа. Сначала очистной комбайн 1, двигаясь прямым ходом, вынимает полосу в нижней пачке пласта и грузит отбитую горную массу на забойный конвейер 4. Забойный конвейер 4 транспортирует ее к конвейерному штреку 2, где через загрузочное устройство 5 перегружает на ленту штрекового конвейера 6. Конвейер 6 транспортирует горную массу до сопряжения с магистральной выработкой 7, где плужковым сбрасывателем 10 горная масса сбрасывается с ленты конвейера 6 в вагонетки.

Для разгрузки вагонеток используют опрокидыватель (не показан) и бункер 1 (рис. 2.9). На выходе из бункера 1 устанавливают ленточный питатель 2, подающий горную массу на грохот 3, и дробилку 4.

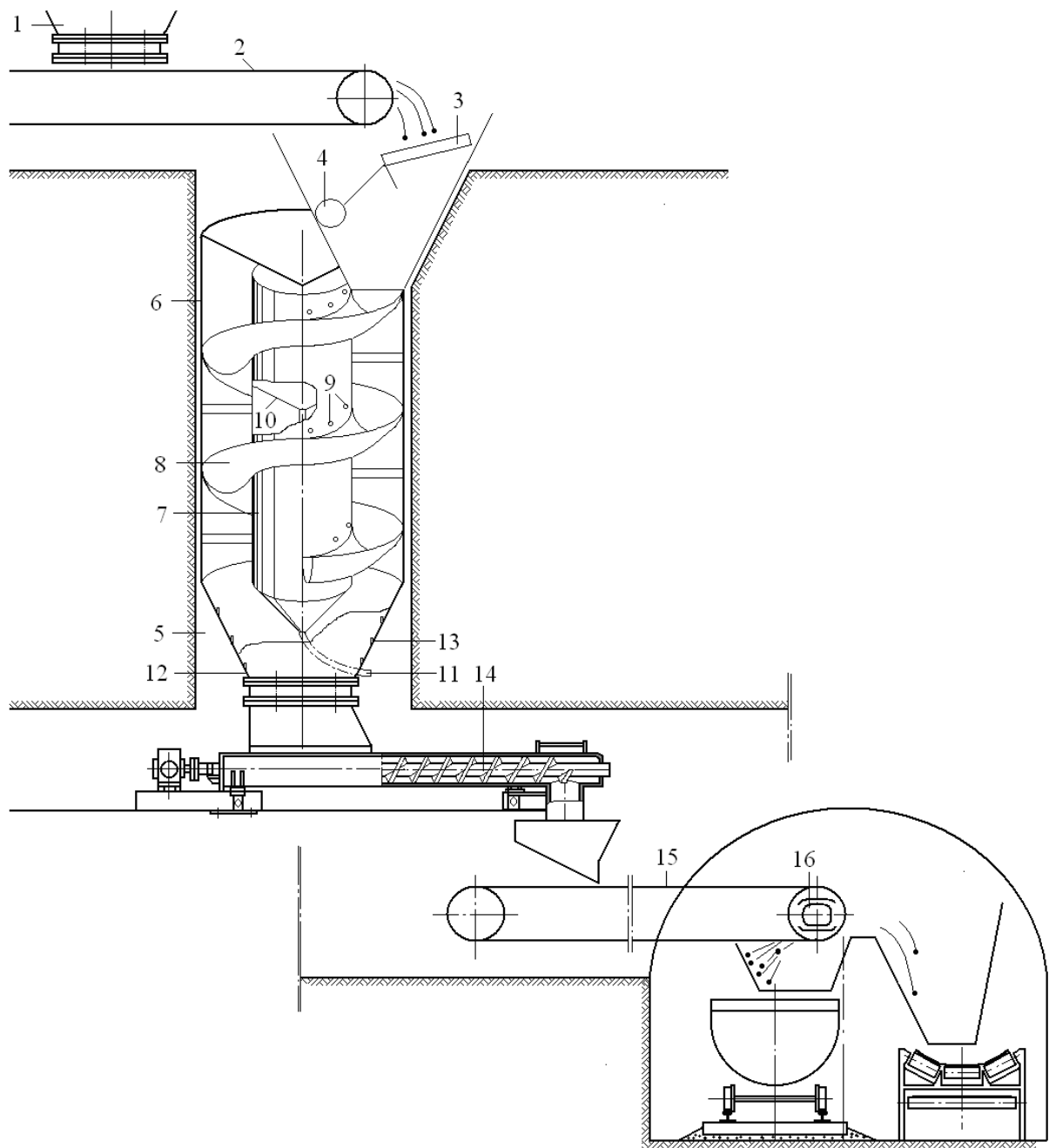


Рисунок 2.9 – Схема магнитной сепарации горной массы

1 – бункер; 2 – ленточный питатель; 3 – грохот; 4 – дробилка; 5 – гезенк; 6, 7 – труба; 8 – спиральный желоб; 9 – сопло; 10 – воронка; 11 – конденсатоотводчик; 12 – воронка; 13 – сопло; 14 – шнековый питатель; 15 – ленточный конвейер; 16 – электромагнит

В гезенке 5 монтируют вертикальную трубу 6 большого диаметра, во внутреннем пространстве которой устанавливают concentрично трубу 7

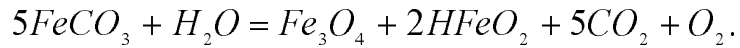
меньшего диаметра. В пространстве между трубами 6 и 7 устраивают спиральный желоб 8 с углом наклона, критическим для организации самотечного транспорта сыпучих материалов. В трубе 7 вдоль линии контакта со спиральным желобом 8 выполнены отверстия, в которых установлены сопла 9, направленные на дно желоба и в сторону его наклона. В верхней части трубы 7 установлена воронка 10 с конденсатоотводчиком 11. Нижняя часть трубы 6 снабжена воронкой 12, являющейся накопительным бункером. Боковая поверхность воронки 12 снабжена вертикальными отверстиями с соплами 13.

Нижняя часть воронки 12 связана с шнековым питателем 14, далее установлен ленточный конвейер 15 с внутрибарабанным электромагнитом 16 и затем – различные средства транспорта.

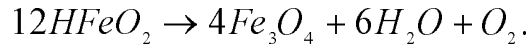
Заполненные горной массой вагонетки доставляют к опрокидывателю, разгружают в бункер 1, откуда горную массу питателем 2 направляют на грохот 3. Подрешетный продукт самотеком поступает в спиральный желоб 8, а надрешетный – поступает на дробилку 4. В дробилке крупные куски горной массы дробят до размеров кусков подрешетного продукта и затем направляют в спиральный желоб 8.

Через сопла 9, под углом в сторону наклона спирального желоба 8, подают перегретый водяной пар. Водяной пар внедряется в слой дробленой горной массы, лежащей на дне желоба 8, ворошит его и провоцирует движение вниз. Медленно двигаясь вниз по спиральному желобу, горная масса все время получает свежие порции перегретого водяного пара. При этом в силу того, что температура горной массы значительно ниже температуры пара, сначала горная масса увлажняется из-за конденсации пара, а затем, по мере спуска вниз и нагрева, горная масса становится сухой, более сыпучей. После спуска вниз сухая сыпучая горная масса накапливается в приемном бункере-воронке 12, где ее постоянно обрабатывают перегретым водяным паром, поступающим из сопел 13.

При обработке сидерита ($FeCO_3$) водяным паром в течение определенного времени происходит химическая реакция с образованием магнетита (Fe_3O_4), лимонита ($HFeO_2$) и выделением углекислого газа и кислорода по формуле:



Образовавшийся лимонит в условиях постоянного подвода теплоты распадается на магнетит, воду и кислород:



После выдержки в бункере-воронке 12 определенное время горную массу шнековым питателем 14 направляют на ленточный конвейер 15, барабан которого снабжен внутрибарабанным электромагнитом 16. Поскольку магнетит обладает магнитными свойствами во много раз больше, чем сидерит, то, попав в зону действия электромагнита 16, горная масса с содержанием магнетита притягивается к барабану, а горная масса с низким содержанием магнетита сбрасывается в ближайшую точку, т.е. происходит сепарация потоков горной массы. Далее поток с низким содержанием магнетита направляют на угольный склад, а поток с кондиционным содержанием магнетита транспортируют отдельно как руду для производства железорудного концентрата.

Водяной пар, вышедший из контакта с горной массой, и углекислый газ, образовавшийся в результате химической реакции преобразования сидерита в магнетит, скапливаются в верхней части внутреннего пространства трубы 6. От контакта с трубой водяной пар конденсируется и конденсатоотводчиком 11 выводится из гезенка 5 для повторного использования, а углекислый газ вакуумным насосом также выводится из межтрубного пространства и направляется для утилизации.

При выемке угля важно обеспечить заданную нагрузку на очистной забой. В высоконагруженных очистных забоях длинных выемочных столбов используют двухшнековые очистные комбайны. Существующие типоразмеры стандартных шнековых исполнительных органов комбайнов достаточно разнообразны по диаметру, но геология залегания ценных компонентов в углях еще более разнообразна. Далеко не всегда можно подобрать диаметр шнека равным мощности слоя или пачки угля с кондиционным содержанием, например, железа. В связи с этим, привлекательность данного способа состоит в том, что селективность или разделение транспортных потоков осуществляется в два этапа. На первом этапе, выполняемом в очистном забое, осуществляют отдельную выемку пачки угля с

кондиционным содержанием железа (по мощности немного большей, чем мощность слоя) и оставшуюся пачку без такового. На втором – поток горной массы из пачки с кондиционным содержанием железа проходит через магнитное поле, в котором кусочки угля с низким содержанием железа отделяются и направляются в транспортный поток горной массы из верхней пачки.

При валовой разработке угольного пласта также возможна отдельная выдача на склад добытого угля и других полезных ископаемых, содержащихся в угольном пласте [96]. Технология может быть применена как при подземном, так и при открытом способе разработки угольных месторождений, использующих ленточные конвейеры для транспортирования горной массы.

Технология может быть реализована при подземном способе добычи угля следующим образом (рис. 2.10). В выемочном поле подготавливают длинный выемочный столб по простиранию пласта проведением главных воздухоподающего 1, конвейерного 2 и вентиляционного 3 уклонов (или бремсбергов), конвейерного 4 и вентиляционного 5 штреков. В монтажной камере монтируют механизированный комплекс. В конвейерном штреке монтируют ленточный телескопический конвейер 9 и загрузочное устройство 10, позволяющее перегружать отбитую горную массу с забойного конвейера 7 на штрековый конвейер 9. В конвейерном уклоне (бремсберге) 2 устанавливают магистральный ленточный конвейер 11 и настилают рельсовый путь 12 для организации рельсового транспорта горной массы и вспомогательных материалов.

На сопряжении ленточного конвейера 9 с магистральным конвейером 11 устанавливают загрузочное устройство 13 для организации перегрузки горной массы со штрекового конвейера на магистральный, а на сопряжении конвейера 9 с рельсовым путем 12 устраивают перегрузочное устройство 14 и устанавливают плужковый сбрасыватель 15 для пересыпа горной массы с ленты конвейера 9 в вагонетки 16. Над штрековым конвейером 9, недалеко от сопряжения штрека 4 с очистным забоем, монтируют излучатели и датчики 17 контроля состава горной массы, находящейся на грузовой ветви ленты конвейера 9. Их может быть один, два, три и т.д. в зави-

симости от предполагаемого набора элементов-примесей, выявленных в данном угольном пласте и попутная добыча (физическое выделение с применением, например, рентгено-радиометрического способа сепарации из отбитого угля) которых экономически или экологически оправдана. Каждый из датчиков 17 настроен на идентификацию одного из элементов определенной группы элементов-примесей и связан с соответствующим исполнительным механизмом, расположенным в узле разделения потоков. Например, первый датчик по ходу несущей ветви ленты конвейера 9 настроен на идентификацию радиоактивных элементов и связан с приводом управления плужкового сбрасывателя 15 по углу поворота в одну сторону и высоте, а также с точкой перегрузочного устройства 14 с той же стороны. Второй датчик настроен на идентификацию благородных металлов и связан с приводом поворота плужкового сбрасывателя 15 в другую сторону и высоте, а так же с перегрузочным устройства 14 с другой стороны.

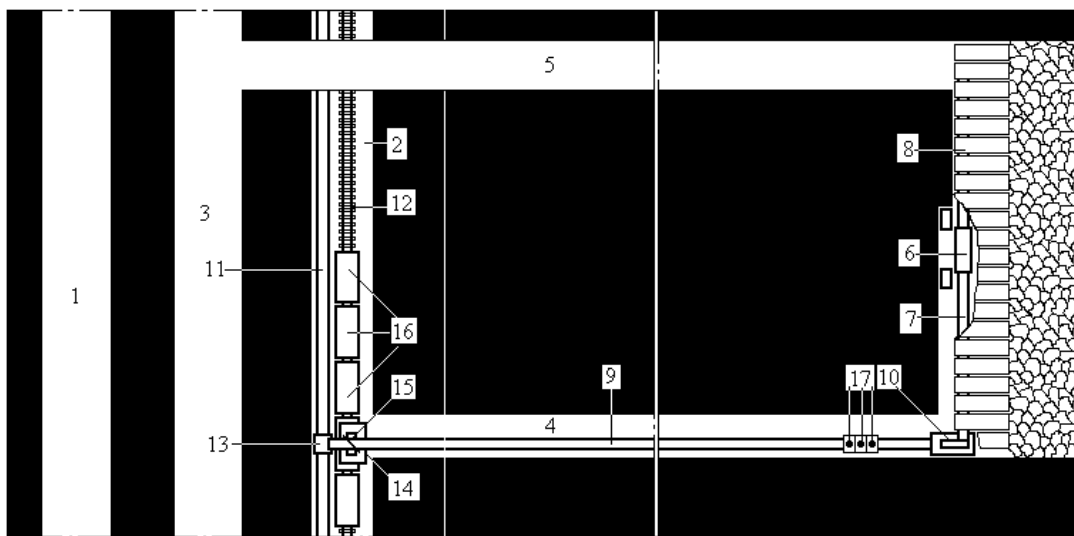


Рисунок 2.10 – Схема организации транспорта отбитого угля и пород прослая с элементами-примесями и разделения потоков

1, 2, 3 – воздухоподающий, конвейерный и вентиляционный главные уклоны; 4, 5 – конвейерный и вентиляционный штреки; 6 – очистной комбайн; 7 – забойный конвейер; 8 – секции механизированной крепи; 9 – ленточный телескопический конвейер; 10, 13 – загрузочные устройства; 11 – магистральный ленточный конвейер; 12 – рельсовый путь; 14 – перегрузочное устройство; 15 – плужковый сбрасыватель; 16 – вагонетки; 17 – датчики контроля состава горной массы

Третий датчик настроен на идентификацию компонентов, являющихся комплексным минеральным удобрением, и связан с приводом другого плужкового сбрасывателя (на схеме не показан); четвертый датчик – на токсичные компоненты. При этом заранее устанавливают приоритеты срабатывания приводов исполнительных механизмов. Например, срабатывание датчика-идентификатора радиоактивных элементов блокирует цепь управления приводами механизмов, управляемых датчиком-идентификатором, настроенным на драгоценные металлы и т.п.

Селективная выемка угольного пласта, содержащего включения радиоактивных элементов и благородных металлов (прогнозируемых результатами геологоразведки) осуществляется в следующем порядке. Очистной комбайн 6, вынимает полосу угля и грузит отбитую горную массу на забойный конвейер 7. Забойный конвейер 7 транспортирует ее к конвейерному штреку 4, где через загрузочное устройство 10 перегружает на ленту штрекового конвейера 9. Датчики-идентификаторы 17 контролируют содержание в транспортируемой горной массе химических элементов. При этом приоритет отдан датчику, идентифицирующему более ценный компонент, например, радиоактивные элементы. Штрековый конвейер 9 транспортирует горную массу к конвейерному уклону (бремсбергу) 2. На сопряжении штрека 4 с конвейерным уклоном (бремсбергом) 2 горная масса с ленты конвейера 9 перегружается на ленточный конвейер 11 магистральной выработки 2, которым выдается на поверхность и далее – на склад.

При появлении в транспортируемой горной массе включений с повышенным содержанием радиоактивных элементов срабатывает соответствующий датчик-идентификатор 17; его сигнал поступает в систему управления привода плужкового сбрасывателя 15. С задержкой по времени, соответствующей скорости движения ленты конвейера 9 и расстоянию транспортирования, плужковый сбрасыватель 15 занимает крайнее нижнее положение и сбрасывает горную массу в одну сторону с ленты конвейера 9 в перегрузочное устройство 14, откуда она через соответствующую точку поступает в вагонетки 16, замену которых осуществляет насыпщик известным способом. При обратном срабатывании датчика-

идентификатора 17 с соответствующей задержкой во времени осуществляется обратное же срабатывание исполнительного привода плужкового сбрасывателя 15.

При появлении в транспортируемой горной массе повышенного содержания драгоценных металлов срабатывает один из соответствующих датчиков-идентификаторов 17. Результатом его воздействия на систему управления плужковым сбрасывателем станет поворот плужка на 90 градусов и занятие им крайнего нижнего положения; горная масса будет сбрасываться в противоположную сторону от оси ленты конвейера 9 и поступать в другой карман перегрузочного устройства 14. Насыпщик, извещенный о срабатывании датчика-идентификатора 17 на драгоценные металлы, обеспечивает подачу на перегрузку порожних вагонеток.

Использованием датчиков-идентификаторов, установленных в начале транспортной цепочки горной массы, их ранжированием по приоритетам и включением в цепь управления приводами исполнительных механизмов достигается разделение горной массы на два, три и более транспортных потоков с повышенным содержанием тех или иных элементов-примесей, следовательно – раздельная выдача полезных ископаемых на склад. При этом селективность добычи угля встроена в традиционный технологический процесс комплексно-механизированной добычи угля.

Привлекательность данной технологии состоит в том, что она не требует значительных дополнительных капитальных затрат на автоматизацию и позволяет в условиях подземного предприятия разделить транспортные потоки из одного забоя с выдачей двух и более потоков горной массы на поверхность без снижения нагрузки на очистной забой по углю, т.е. повысить эффективность селективной выемки угля и попутной добычи различных групп элементов-примесей.

Таким образом, даже серийно выпускаемая горнодобывающая техника позволяет осуществить селективную выемку угольных пластов, а технологические схемы раздельной выдачи различных по качеству потоков угля на поверхность могут быть адаптированы к существующим на угольных шахтах системам разработки и транспортным цепочкам без существенных дополнительных капитальных вложений.

Особое место в селективной разработке занимают угольные пласты сложного строения, когда явно различимы границы между породными и угольными слоями, а мощность породных прослоев, содержащих ценные компоненты, меньше диаметра режущего исполнительного органа очистного комбайна – шнека. При разработке таких пластов типовым очистным двухшнековым комбайном неизбежно разубоживание ценных компонентов углем или горной массой. Лучшим для разработки этих пластов мог бы стать комбайн с режущим исполнительным органом избирательного действия (типа ГПК), однако он не совместим с механизированными креплениями, поддерживающими длинный очистной забой.

Авторами разработана другая концепция компоновки очистного комбайна для выемки угольных пластов сложного строения в длинном очистном забое, позволяющая организовать селективную выемку полосы угля за один проход очистного комбайна вдоль очистного забоя с разделением потоков отбитых полезных ископаемых и отдельной их выдачи на поверхность.

Очистной комбайн для селективной выемки угля (рис. 2.11) содержит корпус 1, установленный на раме с лапами 2. К боковой поверхности корпуса со стороны угольного массива прикреплены два режущих телескопических исполнительных органа 3 и 4 избирательного действия, ориентированных параллельно оси корпуса комбайна во взаимно противоположных направлениях и установленных с возможностью поворота в вертикальной плоскости (вверх и вниз) и в горизонтальной плоскости (в сторону угольного массива от корпуса комбайна). С завальной стороны к корпусу приварены две площадки 5 и 6 симметрично поперечной оси корпуса на уровне выше рамы. Эти площадки предназначены для размещения на них машиниста и помощника машиниста комбайна. В пространстве между исполнительными органами 3 и 4, перпендикулярно продольной оси корпуса установлен двусторонний погрузочный лоток 7 с нагребными лапами 8 и 9, снабженный ленточным перегружателем 10, рабочая ветвь ленты которого движется от угольного массива в сторону выработанного пространства (завала). Под корпусом 1 и над рабочей ветвью ленты перегружателя 10 с возможностью перемещения в вертикальной плоскости прикреплен плужковый сбрасыватель 11.

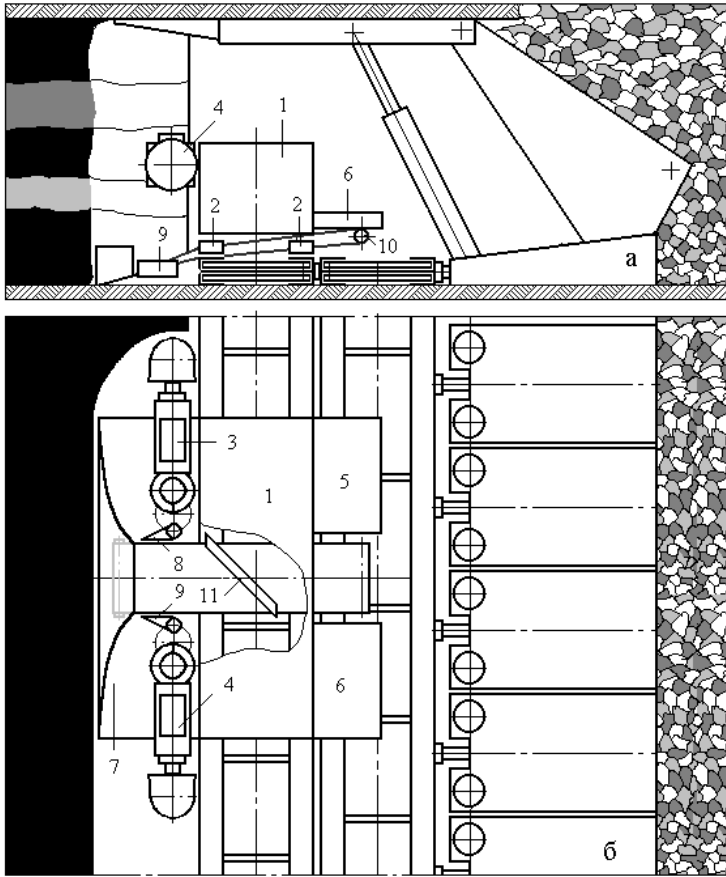


Рисунок 2.11 – Очистной комбайн в длинном очистном забое

а – поперечное сечение очистного забоя; *б* – вид в плане; 1 – корпус; 2 – лапа; 3, 4 – режущий исполнительный орган избирательного действия; 5, 6 – площадка; 7 – ленточный перегружатель; 8, 9 – нагребная лапа; 10 – плужковый сбрасыватель

Селективная выемка угольного пласта, содержащего два и более прося с ценными компонентами, может быть осуществлена следующим образом. Выемочный столб пологого угольного пласта (рис. 2.12) готовят проведением конвейерного 1 и вентиляционного 2 штреков, в монтажной камере монтируют секции механизированной крепи 3, скребковый консольный конвейер 4 и очистной комбайн 5 – на раме забойной части консольного конвейера 4. В конвейерном штреке 1 монтируют телескопический ленточный конвейер 6, и рельсовые пути 7, а в вентиляционном – рельсовые пути 8 и перегружатель 9.

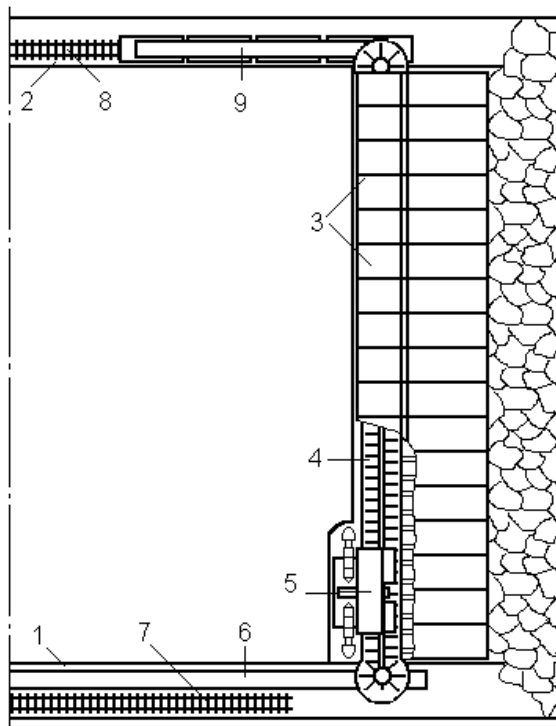


Рисунок 2.12 – Схема подготовки выемочного столба

1 – конвейерный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – секции механизированной крепи; 4 – консольный скребковый конвейер; 5 – очистной комбайн; 6 – ленточный конвейер; 7 – рельсовый путь; 8 – рельсовый путь; 9 – перегружатель

В исходном положении погрузочный лоток находится в нише. Секции крепи задвинуты, перекрывая кровлю очистного забоя. Очистной комбайн, двигаясь от конвейерного штрека к вентиляционному, отдельно вынимает полосу угля и породных прослоев. Сначала вынимают нижнюю пачку угля у почвы пласта на глубину, равную ширине погрузочного лотка, и вдоль очистного забоя – на величину телескопичности стрелы режущего исполнительного органа. Отбитый уголь нижней пачки нагребавшей лапой направляется на ленту перегружателя. Поскольку это уголь, то помощник машиниста опускает плужковый сбрасыватель до соприкосновения с лентой перегружателя – отбитый уголь нижней пачки сбрасывается с ленты перегружателя в забойный лоток консольного скребкового конвейера. Затем отбитый уголь нижней пачки консольным конвейером транспортируется до конвейерного штрека, где его перегружают на рабочую ветвь телескопического ленточного конвейера и далее средствами магистрального транспорта он выдается на поверхность.

После выемки нижней пачки угля приступают к выемке породного прослоя. При этом плужковый сбрасыватель переводят в верхнее положение – отбитая порода прослоя перегружателем направляется в завальный лоток консольного скребкового конвейера. В завальном лотке отбитая по-

рода транспортируется скребками к вентиляционному штреку, где перегружателем направляется, например, в вагонетки, которыми и выдается на поверхность.

При выемке средней угольной пачки опускают плужковый сбрасыватель – отбитый уголь транспортируется к конвейерному штреку, а при выемке следующего породного прослойка плужковый сбрасыватель поднимают – отбитая порода транспортируется к вентиляционному штреку и там, в зависимости от содержания ценных компонентов, может быть погружена в ту же вагонетку или в другую.

После выемки всех слоев очистной комбайн передвигают вдоль очистного забоя и повторяют выемку пласта в том же порядке до тех пор, пока очистной комбайн не выйдет на вентиляционный штрек. По мере продвижения очистного комбайна вдоль очистного забоя вслед за ним осуществляют передвижку секций крепи. На сопряжении очистного забоя с вентиляционным штреком комбайн выполняет работы по формированию верхней ниши (в том же порядке выемки угольных пачек и породных прослоев), а после передвижки консольного конвейера и задвижки последних секций крепи приступают к выемке полосы в том же порядке.

Таким образом, за счет применения очистного комбайна с режущим исполнительным органом избирательного действия достигается раздельное воздействие на угольные пачки и породные прослои пласта; за счет использования в конструкции комбайна двухстороннего погрузочного органа с нагребными лапами исключается необходимость разворачивать комбайн; за счет применения в конструкции комбайна поперечного ленточного перегружателя с плужковым сбрасывателем достигается разделение потоков угля и породы прослоев по соответствующим транспортным цепочкам, причем, они могут быть так же разделены в зависимости от очередности их выемки в порядке отработки слоев.

При механизированной разработке крутонаклонного угольного пласта сложного строения с видимой границей «уголь-прослой» между слоями с различной ценностью полезных ископаемых также возможна организация селективной выемки. Для этих условий авторами адаптирована технологическая схема выемки мощного крутонаклонного угольного пласта агре-

гатируемыми крепями в длинных столбах по простирацию, обрабатываемых полосами по падению (щитовая система разработки).

Длинный выемочный столб готовят проведением транспортного 1 и вентиляционного 2 штреков (рис. 2.13). У дальней границы столба (на фланге) проводят скат 3 у почвы пласта. У вентиляционного штрека 2 сооружают монтажную камеру 4, в которой монтируют секции щитовой крепи 5 очистного забоя мощного крутонаклонного пласта.

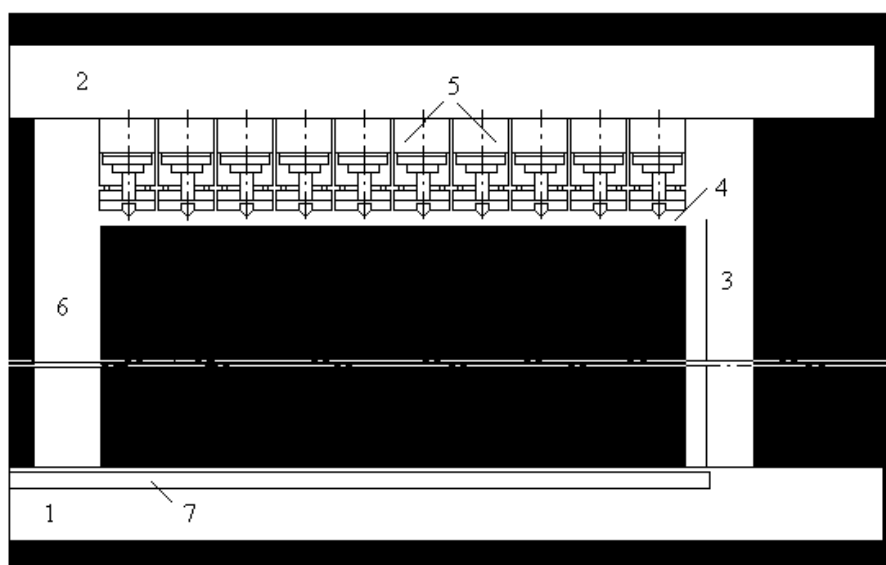


Рисунок 2.13 – Схема подготовки выемочного столба

1 – конвейерный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – фланговый скат; 4 – монтажная камера; 5 – секции агрегатированной крепи; 6 – ходок; 7 – ленточный конвейер

Секция крепи (рис. 2.14) содержит основание 1, жестко связанное с нормально ориентированным к нему с завальной стороны неподвижным ограждением 2, подвижное ограждение 3, посредством оси 4, с возможностью поворота в вертикальной плоскости, связанное с неподвижным ограждением 2, выдвигной козырек 5, две укосины 6, установленные между основанием 1 и подвижным ограждением 3 и ориентирующие последнее под тупым углом к неподвижному ограждению 2. В пространстве между укосинами 6 с возможностью углового перемещения в вертикальной плоскости установлена телескопическая каретка 7, на которой также с возможностью углового перемещения установлен режущий исполнительный ор-

ган 8. Исполнительный орган 8 выполнен в виде телескопической стрелы со сферической режущей головкой, снабженной резами. К боковым сторонам основания прикреплены гидравлические домкраты передвижки 9, обладающие двойной раздвижностью, а во внутреннем пространстве основания размещен гидравлический привод эмалированного скребка 10, который установлен перед основанием под углом к нему с возможностью поворота в плоскости своего поперечного сечения. В пространстве между укосинами 6, основанием 1, ограждениями 2 и 3 установлены разновысокие ступени, образующие лестницу 11, обеспечивающую подъем поперек секции в направлении от фланговой ее стороны. В пространстве между лестницей 11, неподвижным ограждением 2 и основанием 1 установлен электропривод 12 стопорного бура 13, ориентированного по нормали к основанию в сторону почвы пласта.

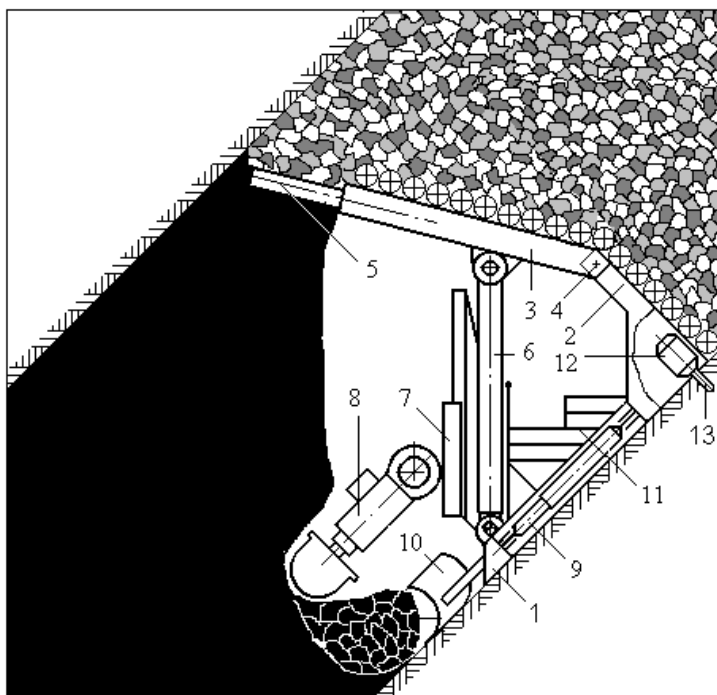


Рисунок 2.14 – Агрегатированная секция крепи в очистном забое (боковые ограждения не показаны)

1 – основание; 2 – неподвижное ограждение; 3 – подвижное ограждение; 4 – ось; 5 – выдвигающийся козырек; 6 – укосина; 7 – качающаяся каретка; 8 – режущий исполнительный орган; 9 – домкрат передвижки; 10 – эмалированный скребок; 11 – ступени лестницы; 12 – привод стопорного бура; 13 – стопорный бур

В исходном положении секции установлены в линию, выдвигающиеся козырьки выдвинуты до соприкосновения с кровлей пласта, скребки находятся в положении «грести» и прижаты к основаниям секций, буры каждой секции заглублены в почву пласта.

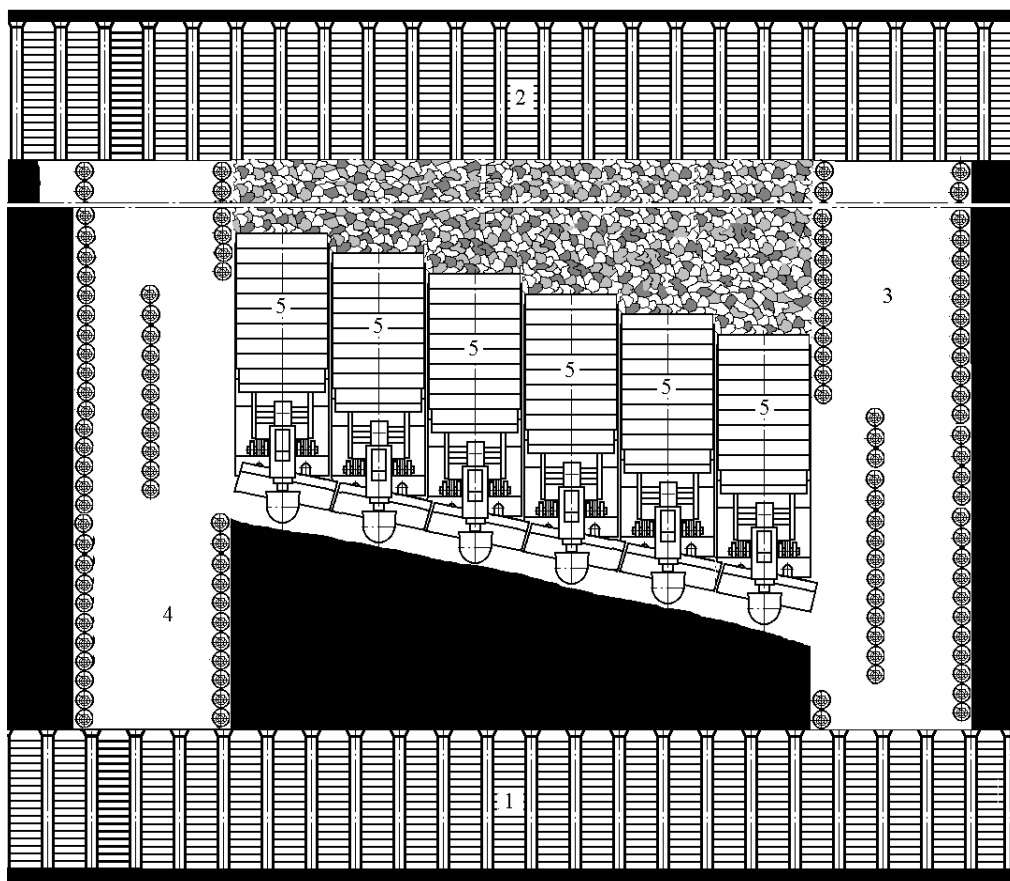
Работа агрегатированных секций по выемке угля осуществляется следующим образом. Сначала включают в работу крайнюю фланговую секцию, установленную на фланге выемочной полосы. Исполнительным органом 8 разрушают массив у почвы пласта на глубину, равную телескопичности стрелы. Затем исполнительный орган переводят в среднюю часть мощности пласта, а в зоне у почвы пласта из основания данной секции выдвигают скребок 10 на величину его хода. За счет этого отбитый уголь приобретает форму вала и подгребается к очистному забоя. По окончании хода скребка 10 его переводят в положение «транспортировать», т.е. поворачивают в поперечной плоскости скребка. За счет заданного угла установки относительно фронта основания, скребок 10 оказывается установленным под углом к горизонту, за счет чего обеспечивается самотечный транспорт отбитого угля вдоль очистного забоя. Отбитый уголь самотеком транспортируется в фланговый углеспускной скат. Уголь, отбитый исполнительным органом в средней части мощности пласта и у кровли, под собственным весом поступает в желоб скребка 10 и далее самотеком следует в углеспускной скат.

После окончания выемки в зоне действия первой (фланговой) секции ее стопорные буры выводят из почвы пласта, саму секцию передвигают на шаг передвижки домкратами 9, забуривают стопоры 13 и повторяют выемочные работы в том же порядке. Затем включают в работу вторую секцию и при этом для транспорта отбитого угля вдоль забоя используют желоб скребка фланговой секции и т.д.

По мере подвигания по падению пласта линия установки секций крепи принимает уступообразный вид – каждая последующая секция отстает на шаг передвижки от предыдущей, а линия очистного забоя ориентирована под углом к простиранию пласта (рис. 2.15).

В случае разработки крутонаклонного пласта сложного строения, например, с расположением прослоя с ценными компонентами у почвы пласта, и необходимости организации селективной выемки, сначала вынимают прослой по всей длине очистного забоя в зоне каждой агрегатированной секции с организацией самотечного транспорта отбитой породы прослоя по желобам, а затем, после незначительной задержки во времени, –

оставшейся толщии пласта. При этом очередность ввода в работу секций крепи по выемке прослоя может быть организована от флангового ската к ходку, а при выемке оставшейся толщии – в обратном направлении.



*Рисунок 2.15 – Схема формирования линии очистного забоя
1 – транспортный штрек; 2 – вентиляционный штрек;
3 – углеспускной фланговый скат; 4 – ходок; 5 – секция агрегатированной крепи*

3 Геохимические характеристики исходной горной массы, товарной продукции и отходов при традиционном обогащении углей

3.1 Геохимический статус продуктов обогащения горной массы и их технологических отходов на разрезе «Бачатский»

В мониторинговом режиме работавших обогатительных установок на разрезе «Бачатский» в периоды 28.06.1994 г. и 08.07-11.07.1994 г. было отобрано 57 проб, в т. ч. 23 из угольных концентратов, 16 из горной массы, 13 из пород, 5 из шламов (табл. 3.1). Все пробы были подготовлены для геохимического изучения.

Таблица 3.1 – Объемы опробования продуктов обогащения обогатительных установок на разрезе «Бачатский»

Наименование группы в выборках	Число проб
Угольный концентрат	23
Разубоженная горная масса	16
Порода	13
Шлам	5
Итого:	57

В результате геохимических исследований с определением содержания 35 «малых» элементов и 9 главных зольных компонентов углей выявились тенденции к накоплению ассоциаций элементов с разными содержаниями в зольных составных частях, получаемых на обогатительных установках угольных концентратов и отходах. Установлено, что содержание Al_2O_3 частично достигает в угольных концентратах кондиционных содержаний для последующего извлечения из золы углей, т. е. более 25 %. В ходе обогащения исходной горной массы в зольной части угольных концентратов выявлены Sc, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tb, W, Au, Hg, U и другие элементы. Их представительность (кратность) обогащения составляет от 2 до 9. Зола угольных концентратов может быть объектом гидрометаллургической переработки с извлечением кондиционных содержаний Al_2O_3 , TiO_2 , Sc, Y, суммы РЗЭ (при содержании в золе более 0,1 %), других металлов и композиций.

Уголь еще в течение долгого времени будет оставаться энергоносителем

лем, по крайней мере, в регионах с развитой угледобычей и там, куда поставки нефтегазовых теплоносителей ограничены и нецелесообразны. В Кузбассе и прилегающих к нему областях основными потребителями кузнецких углей являются предприятия энергетической промышленности, котельные, коксохимзаводы, коммунально-бытовой сектор. Имеющиеся литературные данные и другие сведения свидетельствуют о наличии широких возможностей более полного использования потенциала углей, получаемых золошлаковых отходов, продуктов переработки и обогащения угольного сырья. Рост цен на уголь и транспортные тарифы в прошлом не привели к рациональному расширению угледобычи и необходимой реструктуризации угольной промышленности, в предлагавшихся нами направлениях совершенствования использования сырьевого потенциала углей и минеральных отходов. Более того, в конце XX века сложились опасные тенденции сокращения добычи кузнецких углей, сокращения рабочих мест. Для выхода из критической ситуации в угольной промышленности Кузбасса с нашим участием были разработаны научно-технические программы, утвержденные Администрацией Кемеровской области [136]. Сущность наших предложений в этих программах заключалась в использовании в качестве сырья для получения ряда металлов и минеральных продуктов из золошлаковой массы добываемых кузнецких углей, отходов цветной и черной металлургии. В 1988 - 1994 годах нами был проведен значительный комплекс исследований, составлена автоматизированная база данных по геохимии углей Кузбасса. В различных районах угледобычи в Кузбассе нами впервые выделены редкоземельные, золотосодержащие и другие элементосодержащие угли с промышленными содержаниями химических элементов в вычисленном составе ЗШМ [88, 93, 146]. Из зольной массы кузнецких углей гидрOMETаллургическим способом возможно извлечение до 15-20 металлов и минеральных компонентов, имеющих спрос на мировом рынке, в т. ч. по высоким ценам.

В соответствии с задачами исследований в мониторинговом режиме работавших обогатительных установок, далее сокращенно именуемых «Бекорит» и «КНС», отобрано 57 проб, в т. ч. на первой из них 32 пробы, на второй – 25 проб.

Частные выборки анализированных проб представлены следующими группами в сумме по двум установкам (см. табл. 3.1). Отобранные пробы,

после их подготовки, были направлены на следующие виды аналитических исследований (табл. 3.2).

В основном, все виды исследований проведены индивидуально для каждой пробы. Исключением является минералогическое изучение, которое выполнено для групповых проб, составленных, соответственно, из угольных концентратов, разубоженной горной массы, пород, шламов. По данным количественных определений содержаний элементов и других показателей углей получены результаты расчетов на РС.

Таблица 3.2 – Виды аналитических работ, выполненные в аналитических центрах, для отобранных проб обогатительных установок на разрезе «Бачатский»

№ п/п	Виды анализов	Наименование и место размещения лаборатории
1.	Спектральный, химические, электронно-микроскопические, минералогические, рентгено-структурный	Западно-Сибирский испытательный центр (ЗСИЦ) г. Новокузнецк
2.	Инструментальный нейтронно-активационный	Томский государственный политехнический университет, лаборатория ядерно-геохимических исследований

3.1.1 Аномальные и повышенные концентрации химических элементов в исходной горной массе, товарной продукции и отходах обогащения

Исследовались пробы исходной горной массы, продукции и отходов двух обогатительных установок – отсадочной машины «Бекорит» и крутонаклонного сепаратора «КНС» (табл. 3.3 – 3.9). Средние данные анализов проб по двум обогатительным установкам не имеют существенных различий и могут интерпретироваться как единый массив данных. Зольность концентратов, в среднем, оказалась весьма близкой (10,98-11,51 %). Также почти равными являются их плотности (1,43-1,44 г/см³). Главные золообразующие компоненты мало отличаются по содержаниям. Они также почти одинаковы по TiO₂ с данными, приведенными для углей марки СС пласта Мощного разреза «Бачатский», для проб со средней зольностью 12 %. Рассчитанные средние данные по другим компонентам ЗШМ того же

угольного пласта составили, %: 49,8 SiO₂; 32,1 Al₂O₃; 4,4 Fe₂O₃; 2,57 MgO; 7,5 CaO; 0,57 Na₂O; 1,16 K₂O; 0,93 P₂O₅.

Сравнение приведенных данных свидетельствует об устойчивом повышенном содержании глинозема в зольном остатке концентратов обогатительных установок (24,51-25,03 %) и рядовых товарных углях (32,1 %) марки СС пласта Мощного.

Таким образом, золы этих концентратов и, возможно, углей всех разрабатываемых пластов разреза «Бачатский» следует перерабатывать для получения глинозема в целях обеспечения сырьем цветной металлургической промышленности Кузбасса. Последнее позволит не только экономить на транспортных расходах по доставке импортного глинозема из других стран и российских регионов, но и создаст новые рабочие места.

Характеристики зольной части разубоженной горной массы по установкам свидетельствуют о заметных колебаниях зольностей исследованного материала: 51,8-73,9 (средн. 61,1 %, «Бекорит») и 48,4-64,0 (средн. 53,4 %, «КНС»), как это видно из таблиц 3.6; 3.7. В этих пробах, в среднем, больше, чем в золах концентратов, кремнезема (68,32-71,46 %) меньше глинозема, содержания которого близки к минимальному порогу современных промышленных кондиций.

В процессе обогащения угольные концентраты несколько обедняются кремнеземом, щелочами, в значительной мере – фтором. При этом в концентратах незначительно накапливаются диоксид титана, оксид кальция и заметно – Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, Cl, S. Надо полагать, что эти три упомянутые компонента и два элемента связаны в органическом веществе углей или входят в кристаллические решетки глинистых минералов, не поддающихся извлечению из горной массы на используемом обогатительном оборудовании. Отметим, что MgO и P₂O₅ зафиксированы в приблизительно равных содержаниях в горной массе и концентратах. Это также свидетельствует о тесных связях здесь этих элементов с веществом углей.

Выделенные породы имеют пределы зольностей 73,9-89,4 (средн. – 83,26%, «Бекорит»), 52,7-83,6 (средн. – 71,05%, «КНС»). Заметно различие средних и частных зольностей пород, отделяемых разными обогатительными установками, работавшими с неодинаковыми по составу горными массами исходного сырья, доставляемого для обогащения (см. табл. 3.3 – 3.9).

Таблица 3.3 – Химический состав золообразующей части углей, выделенных 26.06 – 11.07.94 г. на обогащительных установках РГСП «Карбо – КХ» (ОМ «Бекорит»), угольный концентрат)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %																Среднее	
		2441	2453	2458	2462	2470	2475	2482	2491	2496									
1.	A ^d , %	14,60	10,50	14,30	8,10	13,00	8,80	9,50	11,60	13,20	11,51								
2.	SiO ₂	63,66	62,40	62,89	59,14	64,09	58,73	58,97	57,90	64,13	61,32								
3.	TiO ₂	0,95	0,90	0,87	0,88	0,81	0,92	0,91	0,91	0,98	0,90								
4.	Al ₂ O ₃	24,36	24,83	23,18	26,91	21,53	27,79	28,06	24,65	24,00	25,03								
5.	Fe ₂ O ₃	5,14	5,70	5,52	6,50	5,88	5,56	5,75	9,92	5,29	6,14								
6.	MnO	0,09	0,09	0,08	0,10	0,08	0,12	0,09	0,14	0,08	0,09								
7.	MgO	1,03	1,00	1,33	1,20	1,54	1,16	1,12	1,38	1,01	1,19								
8.	CaO	1,31	1,48	2,16	1,70	2,50	1,95	1,50	2,01	1,06	1,74								
9.	Na ₂ O	0,30	0,30	0,40	0,30	0,39	0,32	0,30	0,30	0,30	0,32								
10.	K ₂ O	2,72	2,47	2,65	2,49	2,27	2,37	2,55	2,17	2,61	2,47								
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
12.	Сумма	99,56	99,17	99,08	99,22	99,09	98,92	99,25	99,38	99,46	99,23								
13.	P ₂ O ₅	0,05	0,05	0,07	0,05	0,09	0,09	0,07	0,05	0,05	0,06								
14.	F	0,0023	0,0018	0,0028	0,0029	0,0033	0,0027	0,0047	0,0018	0,0027	0,0028								
15.	Cl	0,048	0,021	0,046	0,056	0,031	0,038	0,056	0,047	0,054	0,044								
16.	S	0,30	0,26	0,23	0,23	0,11	0,27	0,25	0,21	0,16	0,22								
17.	Сумма	99,96	99,50	99,42	99,56	99,32	99,32	99,63	99,69	99,73	99,57								
18.	d ^d , г/см ³	1,45	1,42	1,49	1,43	1,44	1,41	1,42	1,44	1,48	1,44								

Таблица 3.4 – Химический состав золообразующей части углей, выделенных 26.06-11.07.94 г. на обогащательных установках РГСП «Карбо-КХ» («КНС», угольный концентрат)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %																	Среднее
		2442	2443	2446	2447	2450	2451	2463	2464	2467	2468	2478	2479	2486	2487				
1.	A ^d , %	13,70	7,60	17,50	6,80	11,50	8,00	15,80	9,90	10,20	7,6	12,1	8,4	15,5	8,9	10,96			
2.	SiO ₂	64,52	59,64	63,26	68,75	60,47	65,11	65,02	61,66	60,86	59,84	63,33	59,08	65,79	61,08	62,74			
3.	TiO ₂	0,92	0,85	0,84	0,85	0,87	0,94	0,88	0,79	0,94	0,82	0,95	0,91	0,92	0,78	0,87			
4.	Al ₂ O ₃	24,50	24,57	24,72	19,55	25,90	23,98	23,84	24,86	26,03	25,26	25,05	26,66	23,49	24,77	24,51			
5.	Fe ₂ O ₃	5,14	10,49	5,87	4,43	7,63	4,50	5,51	7,84	4,72	6,66	4,12	6,80	4,52	8,25	5,58			
6.	MnO	0,10	0,23	0,09	0,08	0,15	0,08	0,10	0,16	0,07	0,11	0,06	0,10	0,07	0,19	0,10			
7.	MgO	0,81	0,89	0,91	1,01	0,88	0,90	0,86	0,93	1,08	0,91	0,96	1,34	0,87	0,85	0,87			
8.	CaO	0,79	0,83	1,15	1,49	0,90	0,97	0,88	0,79	2,70	2,13	1,80	1,93	0,90	0,91	1,29			
9.	Na ₂ O	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,34	0,30	0,36	0,42	0,32	0,30	0,30	0,30	0,31			
10.	K ₂ O	2,64	2,00	1,97	2,93	2,31	2,71	2,21	2,29	2,31	2,06	2,60	1,96	2,66	2,42	2,36			
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
12.	Сумма	99,72	99,80	99,11	99,39	99,41	99,49	99,64	99,62	99,07	98,01	99,19	99,08	99,52	99,55	99,32			
13.	P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,09	0,11	0,07	0,07	0,02	0,02	0,04			
14.	F	0,0027	0,0018	0,0029	0,0030	0,0018	0,0018	0,0058	0,0018	0,0022	0,0042	0,0026	0,0018	0,0038	0,0018	0,0027			
15.	Cl	0,050	0,051	0,025	0,029	0,038	0,028	0,052	0,022	0,033	0,036	0,053	0,030	0,024	0,031	0,036			
16.	S	0,26	0,26	0,23	0,23	0,22	0,23	0,19	0,18	0,20	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21			
17.	Сумма	100,05	100,13	99,42	99,70	99,69	99,78	99,91	99,84	99,40	98,35	99,51	99,38	99,77	99,81	99,62			
18.	d ^d , г/см ³	1,45	1,40	1,48	1,40	1,42	1,41	1,49	1,45	1,42	1,38	1,44	1,42	1,48	1,45	1,43			

Таблица 3.5 – Химический состав залеобразующей части углистых пород, выделенных 26.06-11.07.94 г. на обогащительных установках РГСП «Карбо-КХ» (ОМ «Бекорит», рзубоженная горная масса)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %													Среднее
		2439	2455	2457	2461	2469	2474	2483	2492	2495					
1.	A ^d , %	51,80	54,60	66,80	69,00	63,40	73,90	56,80	59,30	54,00	61,10				
2.	SiO ₂	70,26	71,81	70,50	73,60	72,70	72,68	70,57	71,27	69,78	71,46				
3.	TiO ₂	0,80	0,73	0,76	0,71	0,72	0,70	0,78	0,75	0,81	0,75				
4.	Al ₂ O ₃	18,56	17,81	17,63	17,05	17,44	16,86	18,31	18,04	18,66	17,81				
5.	Fe ₂ O ₃	4,00	3,50	4,23	3,17	3,58	4,26	4,42	3,90	4,45	3,94				
6.	MnO	0,06	0,05	0,07	0,04	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06				
7.	MgO	1,01	0,99	1,26	0,89	0,86	0,84	1,02	0,94	1,09	0,99				
8.	CaO	1,29	1,00	1,61	0,69	0,74	0,81	0,77	0,99	1,07	1,00				
9.	Na ₂ O	0,59	0,38	0,72	0,52	0,44	0,39	0,48	0,45	0,47	0,49				
10.	K ₂ O	3,07	3,11	2,93	3,02	3,10	3,01	3,20	3,06	3,17	3,07				
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
12.	Сумма	99,64	99,38	99,71	99,69	99,63	99,62	99,61	98,77	99,56	99,51				
13.	P ₂ O ₅	0,07	0,02	0,02	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05				
14.	F	0,01	0,0071	0,0229	0,0158	0,0161	0,0167	0,0088	0,0134	0,0157	0,0142				
15.	Cl	0,062	0,032	0,045	0,036	0,021	0,031	0,036	0,024	0,036	0,036				
16.	S	0,21	0,23	0,09	0,05	0,13	0,08	0,10	0,05	0,08	0,11				
17.	Сумма	99,99	99,67	99,89	99,84	99,87	99,82	99,82	98,93	99,74	99,73				
18.	d ^d _r , г/см ³	1,87	1,91	2,14	2,26	2,11	2,21	1,95	2,01	1,89	2,04				

Таблица 3.6 – Химический состав золообразующей части углистых пород, выделенных 26.06-11.07.94 г. на обогатительных установках РГСП «Карбо-КХ» («КНС», разубоженная горная масса)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %											Среднее
		2444	2448	2452	2465	2466	2480	2488					
1.	A ^d , %	52,40	52,60	48,40	56,50	49,50	50,50	64,00	53,41				
2.	SiO ₂	67,86	63,92	65,02	70,79	69,63	68,57	72,49	68,32				
3.	TiO ₂	0,90	0,95	0,86	0,78	0,87	0,87	0,75	0,85				
4.	Al ₂ O ₃	20,71	25,54	19,38	19,13	19,78	19,58	17,34	20,20				
5.	Fe ₂ O ₃	4,41	4,68	5,38	3,30	3,69	4,04	3,74	4,18				
6.	MnO	0,07	0,09	0,10	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07				
7.	MgO	1,19	0,75	1,05	1,02	0,96	1,25	1,02	1,03				
8.	CaO	1,55	0,83	4,30	1,27	1,13	1,61	1,00	1,67				
9.	Na ₂ O	0,30	0,30	0,38	0,60	0,41	0,47	0,43	0,41				
10.	K ₂ O	2,79	2,41	2,93	2,71	3,04	3,15	2,77	2,83				
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
12.	Сумма	99,78	99,47	99,40	99,65	99,57	99,60	99,85	99,61				
13.	P ₂ O ₅	0,05	0,05	0,02	0,05	0,09	0,07	0,05	0,05				
14.	F	0,0065	0,0070	0,0018	0,0095	0,0072	0,0072	0,0143	0,0076				
15.	Cl	0,036	0,024	0,018	0,028	0,039	0,021	0,032	0,028				
16.	S	0,15	0,07	0,10	0,07	0,13	0,14	0,07	0,10				
17.	Сумма	100,02	99,62	99,54	99,81	99,84	99,83	100,02	99,81				
18.	d ^d _r , г/см ³	1,89	1,91	1,85	1,94	1,87	1,88	2,05	1,91				

Таблица 3.7 – Химический состав золотобразующей части пород, выделенных 26.06-11.07.94 г. на обогатительных установках РГСП «Карбо-КХ» (ОМ «Бекорит», породы)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %																Среднее
		2440	2454	2459	2460	2471	2476	2484	2493	2497								
1.	A ^d , %	84,00	68,80	73,90	88,20	86,90	89,40	86,60	84,20	87,40	83,26							
2.	SiO ₂	69,68	70,56	72,44	71,88	72,17	71,96	71,95	69,74	70,63	71,22							
3.	TiO ₂	0,81	0,73	0,67	0,71	0,72	0,75	0,74	0,76	0,80	0,74							
4.	Al ₂ O ₃	18,33	17,36	15,84	16,54	16,94	17,11	16,90	17,95	18,26	17,24							
5.	Fe ₂ O ₃	4,71	4,83	5,32	5,07	4,21	4,23	4,28	5,09	4,32	4,67							
6.	MnO	0,08	0,07	0,09	0,11	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07							
7.	MgO	1,08	1,03	0,95	1,03	1,07	1,02	1,09	1,02	1,04	1,03							
8.	CaO	1,37	1,30	1,06	0,84	0,97	0,84	0,93	1,03	0,81	1,01							
9.	Na ₂ O	0,47	0,44	0,45	0,46	0,43	0,41	0,51	0,52	0,48	0,46							
10.	K ₂ O	3,15	3,03	2,85	3,05	3,08	3,29	3,14	3,21	3,16	3,10							
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
12.	Сумма	99,68	99,35	99,67	99,69	99,65	99,67	99,61	99,40	99,56	99,58							
13.	P ₂ O ₅	0,07	0,02	0,02	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05							
14.	F	0,0107	0,0151	0,0178	0,0075	0,0077	0,0081	0,0070	0,0035	0,0120	0,0099							
15.	Cl	0,036	0,032	0,030	0,030	0,024	0,028	0,016	0,042	0,046	0,032							
16.	S	0,06	0,10	0,09	0,03	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05							
17.	Сумма	99,86	99,52	99,83	99,81	99,79	99,81	99,73	99,54	99,69	99,73							
18.	d ^d , г/см ³	2,55	2,19	2,26	2,56	2,65	2,64	2,54	2,56	2,58	2,50							

Таблица 3.8 – Химический состав золообразующей части пород, выделенных 26.06.-11.07.94 г. на обогатительных установках РГСП «Карбо-КХ» («КНС», породы)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %					Среднее
		2445	2473	2481	2489		
1.	A ^d , %	73,0	52,7	83,6	74,9		71,05
2.	SiO ₂	67,29	69,61	68,60	69,05		68,63
3.	TiO ₂	0,88	0,82	0,81	0,87		0,35
4.	Al ₂ O ₃	19,81	18,89	18,20	19,59		19,12
5.	Fe ₂ O ₃	5,82	4,43	5,10	4,52		4,96
6.	MnO	0,10	0,07	0,07	0,08		0,08
7.	MgO	1,05	1,08	1,49	1,04		1,16
8.	CaO	1,35	1,15	1,50	0,90		1,22
9.	Na ₂ O	0,40	0,41	0,55	0,49		0,46
10.	K ₂ O	3,02	3,13	3,22	3,12		3,12
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
12.	Сумма	99,72	98,88	99,54	99,66		99,45
13.	P ₂ O ₅	0,02	0,07	0,07	0,05		0,05
14.	F	0,0293	0,0053	0,0106	0,0167		0,0155
15.	Cl	0,029	0,033	0,020	0,029		0,028
16.	S	0,08	0,34	0,03	0,04		0,12
17.	Сумма	99,86	99,27	99,61	99,75		99,62
18.	d ^d , г/см ³	2,22	1,85	2,52	2,26		2,21

Таблица 3.9 – Химический состав золообразующей части шламов, выделенных 26.06.-11.07.94 г. на обогащительных установках РГСП «Карбо-КХ» (ОМ «Бекорит», шламы)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %							Среднее
		2472	2477	2485	2494	2498			
1.	A ^d , %	77,7	58,4	68,7	40,1	45,8		72,67	
2.	SiO ₂	74,11	73,43	73,75	71,63	71,73		72,93	
3.	TiO ₂	0,67	0,76	0,67	0,80	0,83		0,75	
4.	Al ₂ O ₃	15,29	16,75	15,79	18,21	18,21		16,35	
5.	Fe ₂ O ₃	4,73	3,95	4,21	3,75	3,49		4,02	
6.	MnO	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04		0,05	
7.	MgO	0,84	0,84	0,92	0,84	0,91		0,87	
8.	CaO	0,82	0,86	0,94	0,96	0,97		0,91	
9.	Na ₂ O	0,45	0,37	0,36	0,42	0,41		0,40	
10.	K ₂ O	2,62	2,68	2,91	2,82	2,95		2,80	
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	
12.	Сумма	99,59	99,70	99,60	99,47	99,54		99,58	
13.	P ₂ O ₅	0,07	0,05	0,07	0,05	0,05		0,06	
14.	F	0,0196	0,0066	0,0100	0,0056	0,0062		0,0096	
15.	Cl	0,037	0,046	0,024	0,043	0,042		0,038	
16.	S	0,04	0,10	0,21	0,21	0,12		0,14	
17.	Сумма	99,76	99,90	99,90	99,78	99,75		99,81	
18.	d ^d _r , г/см ³	2,34	1,97	2,18	1,71	1,77		1,99	

Породы незначительно обогащены по сравнению с горной массой – Fe_2O_3 ; обеднены – CaO , S . Остальные показатели содержаний между ними примерно равны. Шламы имеют показатели зольностей 40,1-77,7 (средн. 72,67 %, «Бекорит») (см. табл. 3.7). Они, в сравнении с породами, обогащены SiO_2 , Cl , S ; обеднены TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O ; содержания P_2O_5 , F – почти одинаковы. Особенности статуса щелочных компонентов заключаются в существенном преобладании K_2O над Na_2O . Это выражается по отношениям их содержаний в угольных концентратах – 7,56; разубоженной горной массе – 6,56; в шламах – 7,0; породах – 6,76. Полагаем, что геохимические связи калия с его радиоактивным изотопом K^{40} , Rb , Sr , другими s-элементами, связи с p, d, f-элементами следует отдельно изучить для выявления картины генетических взаимоотношений со стабильными элементами и радиоизотопами в кузнецких углях и отходах их переработки.

Таким образом, за исключением глинозема, выраженных аномалий по содержаниям компонентов не выявлено (рис. 3.1). Сравнение содержаний «малых» элементов по средним данным приведено в таблице 3.10.

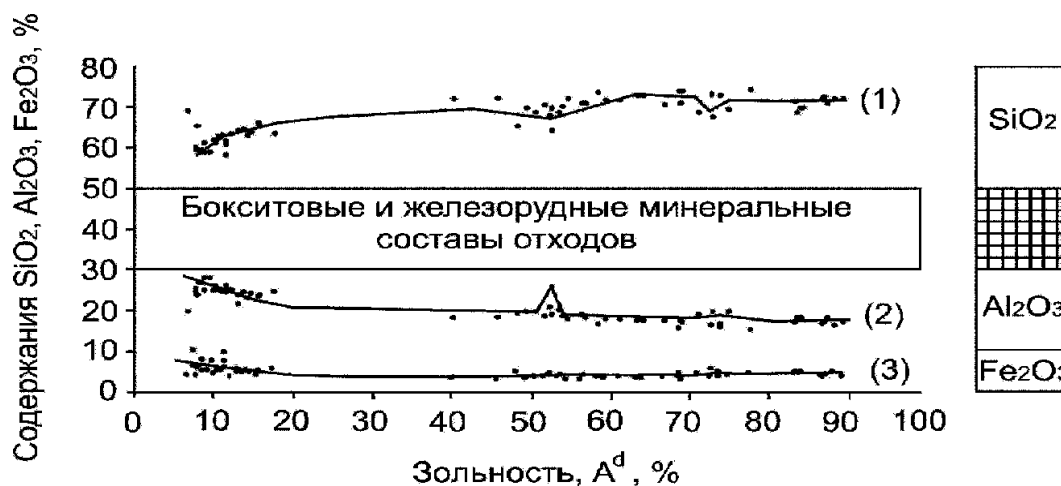


Рисунок 3.1 – Распределение связей зольности и содержаний SiO_2 (1), Al_2O_3 (2), Fe_2O_3 (3) в угольном концентрате, РГМ, шламе, породах при обогащении отходов добычи углей на ОУ «КНС» разреза «Бачатский»

Обобщенные коэффициенты обогащения ЗШМ угольных концентратов к ЗШМ исходной горной массы составляют от 1,0 до 2,0: Ti (1,5), V (1,3), Cr (2,0), Mn (1,7), Ni (1,9), Cu (1,3), Rb (1,4), La (1,9), Ce (1,8), Sm

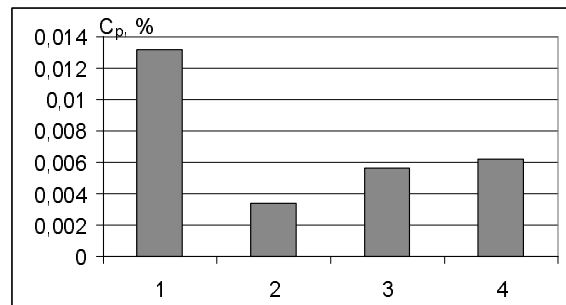
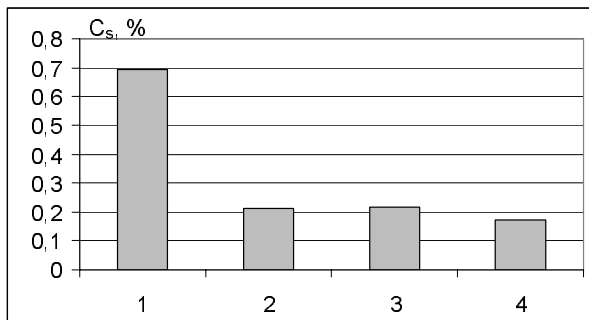
(1,9), Eu (1,9), Hf (1,9), Th (2,0); от 2,0 до 9,0: Be (4,3), Sc (2,8), Co (2,4), Zn (4,8), Ga (2,5), Sr (4,8), Y (3,3), Zr (5,8), Nb (4,0), Mo (4,8), Cs (2,1), Ba (2,9), Tb (3,1), Yb (2,4), Lu (2,1), Ta (2,2), W (8,9), Au (4,5), Hg (6,0), Pb (2,4), U (2,4). Распределение s, p, d, f – групп элементов показано на рисунке 3.2.

Таблица 3.10 – Выборка средних данных (г/т) в пересчете на золы содержаний «малых» химических элементов

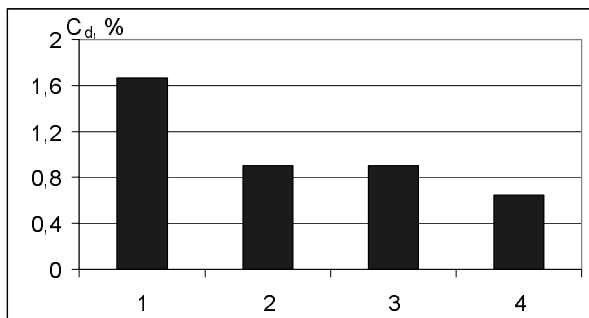
Элемент	Угольный концентрат	Разубоженная горная масса	Шлам	Порода
1	2	3	4	5
Li	-	42,4	39,9	31,7
Be	14,9	3,5	2,88	2,7
Sc	49,5	17,7	14,6	13,6
Ti	10683,6	7008,7	7223,9	4731,4
V	191,6	142,4	121,1	114,7
Cr	127,9	65,6	62,6	62,0
Mn	1614,9	962,1	591,7	926,3
Co	42,0	17,8	19,8	11,2
Ni	63,5	34,0	32,3	28,6
Cu	74,4	56,2	55,0	46,0
Zn	500,6	104,4	116,3	88,3
Ga	54,0	21,8	18,9	23,1
Rb	224,3	157,5	117,6	157,9
Sr	2764,0	575,8	559,9	416,4
Y	155,4	47,2	58,5	37,5
Zr	2498,9	431,8	619,2	360,3
Nb	89,1	22,0	27,5	20,0
Mo	9,5	2,0	2,1	1,6
Cs	14,4	7,0	4,5	6,9
Ba	3944,7	1341,4	1451,4	1108,3
La	85,1	45,7	31,2	43,7
Ce	166,5	90,4	54,0	83,5
Sm	15,4	8,0	4,7	7,6
Eu	6,2	3,2	1,6	3,3
Tb	3,7	12	0,9	1,34
Yb	10,2	4,2	3,8	3,8
Lu	1,7	0,8	0,7	0,6
Hf	17,3	9,3	7,4	8,2

Окончание табл. 3.10

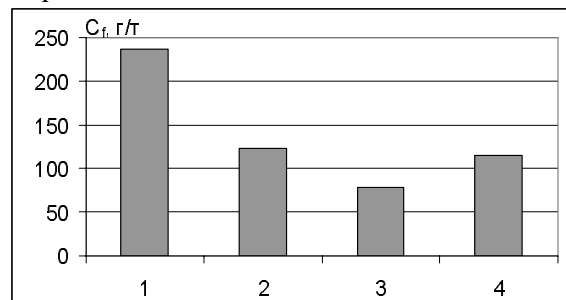
1	2	3	4	5
Ta	7,3	3,3	2,7	2,4
W	360,2	40,5	-	-
Au	0,09	0,02	0,02	0,01
Hg	0,18	0,03	0,04	0,03
Pb	77,9	32,3	37,2	38,8
Th	25,5	12,6	10,2	12,7
U	7,4	3,1	2,8	2,9



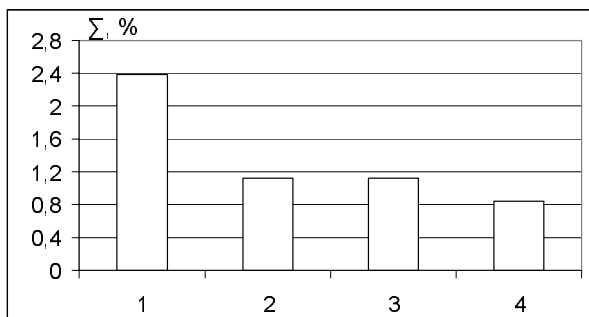
А. s-элементы



Б. p-элементы



В. d-элементы



Г. f-элементы

Рисунок 3.2 – Распределение s, p, d, f-элементов и их суммы при обогащении отходов добычи углей разреза «Бачатский»

1 – угольный концентрат; 2 – РГМ; 3 – шлам; 4 – порода

Д. Сумма содержаний

Из приведенных перечислений ясно, что наиболее выраженной тенденцией к накоплению в золах этих угольных концентратов обладают W,

Hg, Zr, Sr, Mo, Zn, Au. Представительной является картина распределений оксидов элементов в зависимости от зольности исследованных угольных концентратов, горной массы, пород, шлама. Общей тенденцией здесь является преобладание наиболее высоких содержаний оксидов в золах концентратов углей. Ниже приведем наиболее выраженные особенности распределения оксидов. Максимальные содержания Sc_2O_3 превышают два геохимических фона (здесь «фон» соответствует зольному кларку оксида элемента). Средние значения содержаний в концентратах составляют 74,4-77,3 г/т, что в 1,62-1,68 раза выше условной кондиции (по расчетам ВНИИХТа кондиция на извлечение Sc составляет 30,0 г/т) на извлечение. Следовательно, все пробы угольного концентрата имеют промышленные содержания скандия по технологии ВНИИХТа (Всероссийский научно-исследовательский институт химических технологий, г. Москва).

Зольный кларк TiO_2 больше 2 имеют 73,9 проб, в их числе 76,5 % проб с содержаниями диоксида титана кондиционными для россыпей, т. е. более 1,5 % TiO_2 [1]. Средние данные для диоксида титана по золам 10 пластов (43,5 %) бачатских углей – 1,7-1,8 %, что может служить основанием для дальнейшего изучения вопроса об извлечении титана из этих зол, сопровождаемых другими элементами в минеральных ассоциациях. В среднем, содержания MnO составили 0,19-0,22 %, что заметно выше кларка. ZnO превышает по зольной части угольных концентратов по средним данным двойной фон, в максимумах достигая 0,16 %. Rb_2O содержится в концентрациях свыше двукратного фона для зол углей в 77,3 % проб, при максимумах до 0,04-0,05 %. Все угольные ЗШМ-продукты имеют содержания по Y_2O_3 выше двукратного уровня. Средние содержания оксида иттрия составляют 196,2-198,6 г/т, что в пересчете на металл соответствует 154,5-156,4 г/т, т. е. выше существующей кондиции [133]. Выше кондиционных содержаний насчитывается 41,7 % проб; максимальные содержания оксида иттрия (Y_2O_3) – 0,032-0,037 %. В данном случае иттрий может быть объектом извлечения из золы угольных концентратов наряду с другими элементами и компонентами. В золах угольных концентратов содержания ZrO_2 составляют более 1 кг/т во всех пробах. Средние содержания диоксида циркония здесь 0,31-0,36 %. Последнее превосходит концентрации ZrO_2 в россыпях [1]. Цирконий, надо полагать, может оказаться в золе в форме диоксида, силикатов или других соединений.

Бедные месторождения содержат 0,1-0,15 % Nb_2O_5 [1]. В золах концентратов углей по расчетам в среднем 0,012-0,013 % пентоксида ниобия. Вероятно, этот металл связан в углях с гафнием, цирконием, редкими землями, танталом. Компонент ВаО присутствует в углях (золах) в высокофоновых-среднефоновых концентрациях. В сумму оксидов редкоземельных элементов входят $La_2O_3 + CeO_2 + Sm_2O_3 + Eu_2O_3 + Tb_2O_3 + Yb_2O_3 + Lu_2O_3$. В дальнейшем будем именовать сумму этих металлов сокращенно РЗМ, РЗЭ, TR, REE; сумму оксидов – ОРЗМ, ОРЗЭ, OTR, OREE. Наибольшие содержания ОРЗМ распределены (в пересчете на золы) в угольных концентратах с зольностью до 20 %. Вычисленные по сумме металлов средние – 319,9 г/т для установки «Бекорит» и 355,2 г/т – для «КНС». Среднее по двум обогатительным установкам – 337,55 г/т, что выше в 1,4 раза кларка для золы углей [156]. Максимальное содержание суммы оксидов РЗМ зафиксировано в пробе № 2450 в количестве 793,1 г/т на установке «КНС» (отбор 09.07.1994 г., в 08.00 часов, из фракции 0,5). Отметим, что для разреза «Бачатский» по пласту Мощному нами выявлены значительно более высокие содержания оксидов РЗМ. Так, по пробам пласта Мощного содержание ОРЗМ составило 3419 г/т. Выявленные нами в пласте Мощном максимальные содержания РЗМ (0,1-0,3 %), отвечают промышленным условиям на извлечение из руд ОРЗМ [1]. Следовательно, если при обогащении на установках «КНС», «Бекорит» исходная горная масса будет содержать более 500 г/т ОРЗМ (в пересчете на золу), то после обогащения будут получены кондиционные на извлечение РЗЭ угольные концентраты, или кондиционные редкоземельные угли, марки углей для нового технического использования при отношениях к мировому зольному кларку не ниже 4-6.

Средние содержания диоксида гафния в концентрате составляют 20,2-20,6 г/т, что может быть приемлемо для извлечения. HfO_2 распределен в расчете на золы угольных концентратов, горной массы, шламов, пород неравномерно. Пик содержания приходится на пробу № 2450, где зафиксировано 42 г/т диоксида гафния. Отметим совпадение в пробе № 2450 пика содержания двуокиси гафния с максимальными и высокими содержаниями оксидов Sc, Ti, Rb, La; TR – Ce, Sm, Eu, Yb; Th, U. Подобные совпадения нами отмечались и на других объектах. Так, на поле шахты «Завьяловская», где нами изучено свыше 200 проб, с максимумом TR_2O_3 в пробе № 1887 совпадают максимумы содержаний оксидов Sr, Sc, Ti, Cr, La, Yb, Lu, U; а также они сопровождаются высокими содержаниями – Hf, V, Co, Th,

Y, Cs, Ni, Ta, Na, Mg, Mn, Fe. При этом проба № 1887 при низкой зольности имела заметно повышенную плотность. Сравнивая оба этих наблюдения, следует подчеркнуть общность геохимических связей в малозольных углях Hf, Sc, Ti, TR, Th, U.

Распределение пентоксида тантала характеризуется для зольной части зольного концентрата областью точек, разделенной линией двукратного угольного кларка примерно пополам. Четыре максимальные значения отвечают содержаниям 17,6-27,6 г/т. Средние составляют здесь 8,2-9,5 г/т. Поскольку бедные руды содержат 120-150 г/т Ta_2O_5 [1], вопросы извлечения этого металла в комплексе с другими должны быть решены при разработке адаптированной индивидуальной технологии с выявлением углей с наиболее высокими содержаниями в пластах, породах [93].

Диоксид вольфрама WO_2 зафиксирован в 7 пробах, что отвечает встречаемости 12,3 %. Максимальное содержание его – 1112,6 г/т, что идентично содержаниям в бедных вольфрамовых рудах [1]. Вопрос о происхождении концентраций вольфрама в данном случае неясен. Не исключено техногенное заражение проб. Мониторинговое наблюдение за содержаниями вольфрама в пробах: № 2447 («КНС»; уголь, фр. 0,5; 8.07.1994 г., 20-00 часов), № 2442 («КНС»; уголь, фр. 0,5; 8.07.1994 г., 13-00 часов), № 2458 («КНС»; уголь; фр. 0,5; 09.07.1994 г., 15-00 часов), свидетельствует о поступлении горной массы в течение 27 часов с повышенными концентрациями вольфрама. Концентрации диоксида вольфрама в этом примере превышают для угольных концентратов пятикратный геохимический фон.

Золото зафиксировано в одном случае с содержанием 0,03 г/т. По данным местных фоновых значений определений, в среднем, по 82 пробам с золотом, золы кузнецких углей в 20,8 раза превосходят кларк зол каменных углей мира. Диоксид тория ThO_2 характеризуется по вычисленным средним содержаниям в зольной части обогащенных углей – 28,6-29,5 г/т, максимум – 57,4 г/т. Выше одного кларка ККЗУ здесь оказалось 60,1 % проб, в т. ч. средние по угольным концентратам. Максимум содержаний – ниже кларка для щелочных базальтоидов и гранитоидов и, в среднем, больше (для проб с зольностью более 50 %) кларка глинистых пород. Данные об экологическом значении тория недавно опубликованы в монографиях Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис [155, 156]. Диоксид урана UO_2 определен по средним и 87,0 % содержаний в рядовых пробах расчетных зол угольных концентратов в 2,0 раза ниже кларка [156]. Экологическое зна-

чение урана (и тория) в будущем следует изучать отдельно с использованием более обширного фактического материала с привлечением биологических и других исследований.

Весьма существенным для дальнейших теоретических выводов и практических целей является выявление геохимических связей между элементами в ЗШМ угольных концентратов и других продуктах обогащения углей. Изучено 47 случаев геохимических связей, из которых выбраны 15. Геохимические связи Sc_2O_3 при расчетных коэффициентах корреляций 0,81 и 0,65 выявлены, соответственно, для Eu_2O_3 и Yb_2O_3 . Они входят в скандиевую подгруппу РЗЭ. Изучены 13 соединений с РЗЭ структурного типа перовскита с ромбической ячейкой [85]. Эти изотипные кристаллические соединения конституционно (в молекулах) содержат Y, Al, Cr, Fe, Sc и девять РЗЭ в 13 соединениях, что, в частности, подтверждается тесными корреляционными связями оксидов трехвалентных Sc, Eu, Yb.

Сумма оксидов редких земель в сочетаниях с HfO_2 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , Rb_2O , Sc_2O_3 , ThO_2 имеет различные коэффициенты корреляционных зависимостей. Наиболее тесные связи суммы оксидов TR имеют с HfO_2 (0,87), Sc_2O_3 (0,71), ThO_2 (0,71), Ta_2O_5 (0,65). Из исследованных примеров TR связей Sm_2O_3 и Eu_2O_3 линейной зависимостью при одинаковом коэффициенте корреляции 0,89 связаны оксиды самария и европия. Оксид иттербия связан с Eu_2O_3 (0,74). Оба этих компонента входят в скандиевую подгруппу иттриевой группы РЗЭ, т. е. химический мотив корреляции существует.

Данные о распространенности (встречаемости) элементов весьма важны для представления о случайных либо устойчивых находениях элементов в углях, горной массе, породах, шламах. Отметим здесь лишь встречаемости элементов в угольных концентратах, %: ОМ «Бекорит» – Rb (88,9), Mo(55,6), Cs(88,9), Eu(88,9), Ta(88,9), W (11,1), Au(88,9), Hg(66,7); ОУ «КНС» – Mo (92,9), W (21,4), Hg(64,3). Остальные элементы имеют стопроцентную встречаемость.

3.1.2 Предварительные результаты минералогического изучения

Минералогические исследования выполнены в ограниченном объеме, в основном, для групповых проб. Горная масса (брикет № 1) под микроскопом в отраженном свете состоит из угольных частиц до 54 % в поле зрения. Глинистые минералы, единичные зерна гетит-гидрогетита, пирит-

та – до 46 %. Форма зерен и частиц: углистого материала – неправильно-угловатая, пластинчатая, реже прямоугольная изометричная; глинистых минералов – неправильная, изометричная, изометрично-вытянутая; пирита – изометричная, кубическая.

Угольный концентрат состоит из угольных обломков до 90-95 %.

Порода содержит до 30 % углистого материала, до 60 % глинистых минералов, в единичных зернах присутствуют гидроокислы железа, пирит.

Результаты минералогического разделения и анализа проб представлены следующими характеристиками. Выделенная из горной массы тяжелая фракция содержит сидерита до 54 %, гидроокислов железа до 45 %, лейкоксена до 1 %. В единичных зернах диагностированы циркон, турмалин, минералы группы эпидота и группы пироксенов, зеленая роговая обманка; малахит – 1 зерно. В легкой фракции преобладают обломки зерна и разных минералов (94 %). Определены – кварц (6 %), карбонаты в единичных зернах. Остальная масса минералов оптическими средствами микроскопического изучения не диагностируется. Выделенная из угольного концентрата тяжелая фракция содержит 83 % сидерита, гидроокислов железа – 2 %, не диагностированных обломков – 15 %. В единичных зернах присутствуют лейкоксен, циркон, минералы группы эпидота, зеленая роговая обманка, зеленая слюда, малахит – 1 зерно. В легкой фракции – уголь до 100 % и единичные зерна кварца. Выделенная из групповой пробы пород тяжелая фракция содержит гидроокислов железа 70 %, сидерита 30 %. В единичных зернах обнаружены: циркон, турмалин, минералы группы эпидота, зеленая роговая обманка, барит, пирит. В легкой фракции – обломки до 100 %. Единичные зерна: кварц, полевые шпаты, карбонаты (точнее не диагностированы). Минералогическое изучение проб выполнено в ЗСИЦ г. Новокузнецка в ЛВСК. Исполнитель Л. Е. Горбунцова, начальник Т. Н. Воропаева.

Отметим наличие в пробах лейкоксена (TiO_2), циркона ($ZrSiO_4$) минералов группы эпидота, сидерита ($FeCO_3$) как носителей Ti, Zr, Fe, Mn, Co, V, Cr, Ni и других редких и редкоземельных элементов. Их выделение и изучение могло бы разрешить неясные пока вопросы форм нахождения элементов.

Результаты рентгеноструктурного анализа тех же групповых проб свидетельствуют о преобладании сидерита ($FeCO_3$) в тяжелых фракциях. В них же в пробе горной массы обнаружено немного кварца, возможно, на-

ходится и анкерит – (Ca, Fe)[CO₃]. В пробе пород, вероятно, присутствует гидрослюда, немного кварца, доломита.

Электронно-микроскопические исследования, выполненные на растворовом электронном микроскопе РЭМ 100У, позволили лишь уточнить размеры частиц.

Образец № 1 представлен смесью мелких по форме (3-20 мкм) сферических частиц и крупных (0,3-0,8 мм) обломочных частиц. Образцы №№ 2, 3 аналогичны образцу № 1. Отдельные обломки превышают 2 мм. Образец № 4: преобладают обломочные частицы с размерами 0,5-1,5 мм. Сферических частиц меньше, чем в предыдущих образцах. Размеры их такие же (до 20 мкм).

Максимальные рассчитанные содержания элементов в золах угольных концентратов ОУ «КНС» и ОМ «Бекорит» в сравнении с новыми данными Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис [156] приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Геохимические данные о максимальных содержаниях (г/т) элементов в золе угольных концентратов

Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис (кларки)		Наши данные содерж., отношение/ количество проб		Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис (кларки)		Наши данные содерж., отноше- ние/ количество проб	
Sc	24	70	2,9/8	La	76	150	2,0/2
Ti	5300	16000	3,0/7	Ce	140	300	2,1/2
Mn	430	3000	7,0/3	Sm	14	30	2,1/2
Zn	170	1100	6,5/3	Eu	2,6	14	5,4/2
Rb	110	300	2,7/2	Tb	2,1	7	3,3/2
Sr	740	5200	7,0/3	Yb	6,9	12	1,7/4
Y	57	200	3,5/3	Lu	1,3	2	1,5/3
Zr	230	3500	15,2/2	Hf	9	27	3,0/2
Nb	22	90	4,0/23	Ta	2	18	6,0/2
Cs	8	40	5,0/2	W	7,8	600	77,0/2
Ba	980	6000	6,1/23				

Из приведенных данных видно, что осредненные максимумы содержаний Zr, Nb присутствуют в пробах в содержаниях близких к максимальным для зол углей. При этом их встречаемость по углям разреза «Бачатский», соответственно, составляет 87 и 100 %. По нашим данным максимальные определения относительно рудных содержаний следующие: Sc (0,7); Ti (0,2); Mn (0,06); Zn (0,06); Rb (0,2); Cs (0,015); Ba (0,1) по BaSO₄;

TR+Y+La (0,24); Ta (0,05); W (0,04). Эти показатели представляются нам низкими. Однако определения максимумов содержаний по нашим данным, вычисленным по программе Fox-Pro (версия 2.0), более оптимистичны (табл. 3.12).

Таблица 3.12 – Определения избранных рудных концентраций по максимальным содержаниям элементов в пробах кузнецких углей

Элемент, ед. изм.	Содержание в угле	Зольность, %	Содержание в ЗШМ	Компонент	Содержание компонента	Отношение содержания металлов: ЗШМ руда [1]
Al, %	2,39	10,74	22,25	Al ₂ O ₃	42,06	1,68
Sc, г/т	30,0	13,24	226,6	Sc ₂ O ₃	347,6	4,5
Ti, %	1,0	13,22	7,56	TiO ₂	12,6	8,4
Mn, %	0,5	13,22	3,78	MnO	4,88	0,2
Fe, %	6,59	12,75	53,8	Fe ₂ O ₃	76,9	3,8
Zn, г/т	200,0	13,39	1493,65	ZnO	1773,5	0,08
Rb, г/т	500,0	13,18	3793,6	Rb ₂ O	4148,7	0,4-2,4
Sr, %	0,3	13,13	2,28	SrO	2,7	-
Y, г/т	310,0	13,20	2348,5	Y ₂ O ₃	2982,4	6,7*
Zr, %	0,7	13,23	5,29	ZrO ₂	7,15	7,6
Nb, г/т	400,0	13,42	2980,6	Nb ₂ O ₅	4263,8	1,0-3,0
Ba, %	0,95	13,18	7,2	BaO	8,0	-
La, г/т	1000,0	13,33	7502,0	La ₂ O ₃	8798,0	2,5
Ce, г/т	350,0	13,08	2675,8	CeO ₂	3286,9	0,89
Sm, г/т	76,0	13,07	581,5	Sm ₂ O ₃	674,3	1,7
Eu, г/т	5,214	13,86	39,9	Eu ₂ O ₃	46,2	1,1
Tb, г/т	60,0	13,72	437,3	Tb ₂ O ₃	503,4	1,2
Yb, г/т	30,0	13,19	227,4	Yb ₂ O ₃	258,9	2,3
Lu, г/т	26,854	13,23	203,0	Lu ₂ O ₃	230,9	8,1
Hf, г/т	36,105	13,07	276,5	HfO ₂	326,1	0,52
Ta, г/т	23,488	14,03	167,4	Ta ₂ O ₅	204,4	1,7
W, г/т	2,9	11,00	26,36	WO ₃	31,0	-

Примечание: * – рудные кондиции оцениваются совместно с суммой РЗЭ по группам: иттриевоземельной (0,1 – 0,5 %), иттриево-цериевоземельной (0,5 – 1,5 %) [1].

Из рассмотренных показателей кондиций (см. табл. 3.10) по максимальным содержаниям 22 элементов в рудные кондиции не входят 7 элементов (31,8 % от количества в списке), 15 элементов кондиционны по данным исследований по различным осадочным месторождениям (68,2 %). Величины кондиционных содержаний нами выбраны, в основном, для эк-

зогенных месторождений [1]. В цитированном источнике нет сведений о содержаниях рассмотренных элементов в угленосных толщах, углях, золошлаках. Рассмотрим прогнозное значение этих 15 элементов.

При содержаниях глинозема в золе кузнецких углей в пределах 20-42 % и выше продукты сжигания кузнецких углей могут рассматриваться как глиноземное сырье для различных целей использования, в том числе и для получения алюминия. Полуторные диоксиды Al и Fe могут иногда составлять 80-100,0 % от состава технической золы. В этих случаях при глубокой переработке отходов железосодержащие компоненты могут быть предварительно извлечены магнитной (ВГМ) сепарацией. Иттриево-земельные РЗЭ в сумме с содержаниями Y, La здесь составляют (при неполном учете РЗЭ) в количественном выражении 1,13 %. Эта величина отвечает нижнему пределу кондиции для извлечения Y, La, РЗЭ. Перечисленные высокие содержания ряда элементов – Sc, Ti, Rb, Y, Zr, Ba, La, РЗЭ, Ta, соответствующие по кондициям содержаниям аналогам в осадочных месторождениях и в рудоносных корах выветривания, в ЗШМ кузнецких углей нередко выше, чем в эндогенных рудах.

3.1.3 Технологические направления извлечения ценных металлов и минеральных компонентов из золошлаковых продуктов товарных углей и продуктов обогащения

В мировой практике РЗЭ, германий традиционно извлекаются из отходов переработки рудных концентратов уранового, ксенотимового, монацитового, других видов минерального сырья, в т. ч. гидрометаллургическим способом [73, 74]. В 1992 году институтами РАН был предложен способ гидрометаллургического извлечения РЗЭ из золы углей некоторых месторождений Дальнего Востока. Результаты геохимических исследований по РЗЭ, в том числе Кузбасса, были доложены на 29-й сессии Международного геологического конгресса В. В. Серединым, Б. Ф. Нифантовым (Япония, Киото, 1992 г.).

Предлагаемая нами схема переработки кузнецких углей (отходов) с кондиционными содержаниями металлов может складываться из следую-

щих этапов:

- предварительное рентгенорадиометрическое обогащение (сепарация) углей (РРС, РРОУ);
- сжигание обогащенных углей при соблюдении заданных режимов и технологии на отдельной теплоэнергетической установке с расходом потребляемого топлива не менее 5 т в час;
- раздельное извлечение ферромагнитной и парамагнитной фракций различными магнитными сепараторами;
- гидрометаллургическая переработка золы углей с получением концентрата РЗЭ и других минеральных продуктов раздельно по технологии ВНИИХТа или другим;
- разделение РЗЭ концентрата и аффинаж с производством чистых металлов или оксидов, отвечающих требованиям качества по мировым стандартам.

Этап РРС не обязателен в тех случаях, когда представляется возможным поставлять на ОУ горную массу, из разрабатываемых участков угольных пластов с РЗЭ, наличие кондиционных количеств которых должно подтверждаться в мониторинговом режиме опробования в ходе добычи углей и поставки кондиционной горной массы на склады для последующей переработки. В других случаях РРС может осуществляться на любых транспортных потоках без нарушения их ритмичности, пропускной способности. Этап получения ферромагнитной фракции (магнетита и других минералов) необходим для извлечения железорудного содержимого из золы углей при кондиции по железу более 7,5 % в ЗШМ. Парамагнитная фракция, извлекаемая ВГМ-сепараторами, производится в целях отделения оксидов титана или других ценных минералов со слабой намагниченностью, например, ферроплатины (Pt, Fe) с примесями Ir, Os, Rh, Pd, Ru (поликсен), сростков минералов, обломков пород.

Наибольший выход циркония и ниобия прогнозируется при выявлении содержаний циркония в пластах кузнецких углей 0,05 - 0,7 %, что при 12 % зольности концентратов углей будет соответствовать 0,42 - 5,8 % металла в ЗШМ. При изучении максимальных по кузнецким углям содержаний циркония по выборкам 179 и 216 проб со средними зольностями 8,06 -

13,86 % и в пределах 7,29 - 8,44 % и 12,14 - 15,55 % установлено, что показатели содержаний циркония убывают от 8,3 до 1,93 % с возрастанием зольности проб.

Проведенное мониторинговое геохимическое обследование продукции и отходов ОУ «КНС» и ОМ «Бекорит» выявило следующие средние показатели: зольность концентратов оказалась близкой (10,96 - 11,51 %) при почти равных плотностях (1,43 - 1,44 г/см³); содержания глинозема в золах концентратов составили 24,5 - 25,03 %, что позволило рассматривать их как бедное кондиционное сырье при получении глинозема для промышленности, в том числе на Новокузнецком алюминиевом заводе. Зола концентратов углей обогащаются в ходе технологических процессов на ОУ «КНС» и ОМ «Бекорит» по сравнению с исходной горной массой до двух раз – Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Rb, La, Eu, Hf, Th; и от 2 до 9 – Be, Sc, Co, Zn, Ga, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Tb, Yb, Lu, Ta, W, Au, Hg, Pb, U. Наиболее выраженной тенденцией к накоплению в угольных концентратах оказались – W (8,9), Hg (6,0), Zr (5,8), Sr (4,8), Mo (4,8), Zn (4,8), Au (4,5). Таким образом, даже при местных фоновых содержаниях, например, золота в золе исходной горной массы (0,1 г/т) в золе концентрата его будет 0,45 г/т, что приемлемо для извлечения и необходимо учитывать при сжигании этих углей на ТЭС, котельных, домашних печах населения. Нашими работами ранее установлено, что на поле разреза «Шестаки» имеются участки пластов углей с содержаниями золота 1 - 4 г/т [88]. Следовательно, такие зола углей (после обогащения горной массы и сжигания угольных концентратов) будут содержать золото в пределах 8 - 33 г/т. Извлечение таких содержаний из «бросовых» золоотходов будет, безусловно, выгодным [1].

Изучены содержания редкоземельных металлов. В среднем, их расчетное содержание в золе (при данной горной массе) составило 288,8 г/т, что недостаточно для их извлечения из зола углей, полученных на обогатительных установках в период проведения мониторинга, т. е. в июне - июле 1994 г. Однако, нам известно, что зольная часть рядовых углей пласта Мощного и некоторых других на разрезе «Бачатский» содержат до 0,1-0,3 % и выше суммы РЗЭ. Низкозольная проба ($A^d = 5,6$ %) углей, лабораторно озоленная при 550°C, пласта Горелого в. п. (опробование 2005 г.)

разреза «Бачатский» содержит, г/т: 162,2 La; РЗЭ, в том числе: 370,8 Ce; 33,0 Pr; 104,7 Nd; 17,85 Sm; 3,81 Eu; 19,45 Gd; 2,45 Tb; 12,98 Dy; 2,41 Ho; 7,09 Er; 1,11 Tm; 7,1 Yb; 1,07 Lu – в сумме – 746,02. Эти данные получены на базе аппаратуры и метода ICP-MS в ИГЕМ РАН, г. Москва, в 2006 г., аналитик М. Ю. Поваренных. Опробование произведено силами ИУУ СО РАН с участием ООО «Роском». Полученное содержание суммы РЗЭ и лантана составляет 0,75 от минимального кондиционного содержания, что характеризует высокий уровень концентрации РЗЭ в низкосолевых кузнецких углях. Такие угли, переработанные в будущем на ОУ, будут соответствовать кондициям для гидрометаллургического извлечения РЗМ. Таким образом, имеется возможность получения на обогатительных установках концентратов углей с кондиционными содержаниями суммы РЗЭ.

Выявленные, в зольной части исследованных в 1994 году угольных концентратов, средние содержания Ti, Y, Zr, Nb, Lu, Hf, Ta, W индивидуально, соответственно, отвечают требованиям технологии гидрометаллургического извлечения. Следовательно, главной задачей будущей деятельности в рассматриваемом направлении будет выбор исходной горной массы для обогащения и создание гидрометаллургического цеха на территории, где предполагается сжигать металлонасыщенный угольный концентрат.

Технологии сжигания редкометалльных углей, технологии переработки угольной золы от их сжигания разработаны и должны быть адаптированы к полученному сырью по набору и содержаниям металлов и минеральных компонентов. Извлечение глинозема и ферромагнитных оксидов железа позволит существенно повысить долю ценных извлекаемых продуктов из сырья. Она составит не менее 25-30 %. Оставшаяся масса кеков может быть использована в стекольной, химической, металлургической и других отраслях промышленности, т. е. переработка зольного сырья будет экологически чистой и безотходной.

Следует также рекомендовать собственникам, добывающим уголь на месторождениях Кузбасса, обратить внимание на факт обнаружения промышленных содержаний элементов платиновой группы металлов, в частности в пласте Горелом в. п. по отобраным нами пробам в 2005-2006 го-

дах. В четырех пробах указанного пласта с разными зольностями (A^d , % – 5,26; 8,16; 13,72; 37,22) обнаружены (ИГЕМ РАН, ICP-MS) следующие, в среднем, содержания ПГМ, г/т: 0,1 Ru; 0,108 Rh; 1,702 Pd; 0,137 Ir; Pt не обнаружена (аналитик М. Ю. Поваренных). При промышленных кондициях содержаний, г/т: 0,001-0,8 Ru; 0,007-0,4 Rh; 0,07-4,0 Pd; 0,002-0,1 Ir все обнаруженные содержания в золе углей пласта Горелого в. п. являются кондиционными для извлечения. Нами рекомендовано собственникам угольного разреза «Бачатский» выполнить с участием ИУУ СО РАН, ООО «Роском» изучение представительности промышленных содержаний ценных металлов в углях поля угольного разреза. Отметим, что многие ценные металлы, обнаруженные нами в кузнецких углях, рассеиваются в окружающей среде при потреблении углей или бесплатно передаются покупателям – странам дальнего зарубежья с высоким уровнем развития технологий, применимых для комплексной переработки кузнецких углей и отходов их промышленного потребления. Информирование покупателей кузнецких углей о содержаниях в них ценных элементов поможет повысить интерес к созданию эффективных технологий извлечения ценных металлов из углей и промышленных отходов.

3.2 Геохимические закономерности распределения элементов в процессе традиционного обогащения углей на разрезе «Моховский»

3.2.1 Районы взятия проб, способы их отбора и методики изучения

Результаты геохимического изучения углей угольного разреза «Моховский», явились основой для выявления закономерностей разделения по содержаниям главных и «малых» элементов, обнаруженных в период мониторингового опробования по результатам анализов извлеченных фракций переработанной на объекте горной массы. В мониторинговом режиме работавшей обогатительной установки, далее сокращенно именуемой ОУ «КНС», отобрано 44 пробы (табл. 3.13). Были выполнены следующие виды анализов (табл. 3.14).

Таблица 3.13 – Группы и численность проб, отобранных на ОУ «КНС» разреза «Моховский»

Наименование группы в выборке	Число проб
Угольный концентрат	13
Разубоженная горная масса	11
Порода	9
Шлам	11
Итого	44

Примечание: пробы отобраны в период 25 – 26.10.1994 г.

Таблица 3.14 – Виды анализов и организации-исполнители анализов проб, взятых на ОУ «КНС» разреза «Моховский»

Виды анализов, определений	Наименование лаборатории и место размещения
Спектральный, химические, электронно-микроскопические, минералогические, рентгеноструктурный	Западно-Сибирский испытательный центр (ЗСИЦ, г. Новокузнецк)
Инструментальный нейтронно-активационный	Томский государственный политехнический университет, лаборатория ядерно-геохимических исследований (г. Томск)

Разубоженная горная масса доставлялась на ОУ «КНС» с территории, где производилась выемка горной массы из пластов углей (рис. 3.3). В отложениях ленинской свиты (P_2ln) на тот период отрабатывались и были опробованы пласты: Сычевские (IV, III, II, I), Колмогоровский (Шурфовой), Безымянный, Наддальний, Красногорский. В ускатской свите (P_{2us}) изучались и осваивались пласты: Красноорловский, Несложный, Тонкий, Инские (III, II, I), Польшаевский (Журинский). Горная масса для переработки представляла собой смесь углей и пород, состав которой было невозможно определить по долевым участию в ней продукции из разработанных пластов. Распределение связей зольности и трех главных компонентов золы углей и пород представлено на рисунке 3.4.

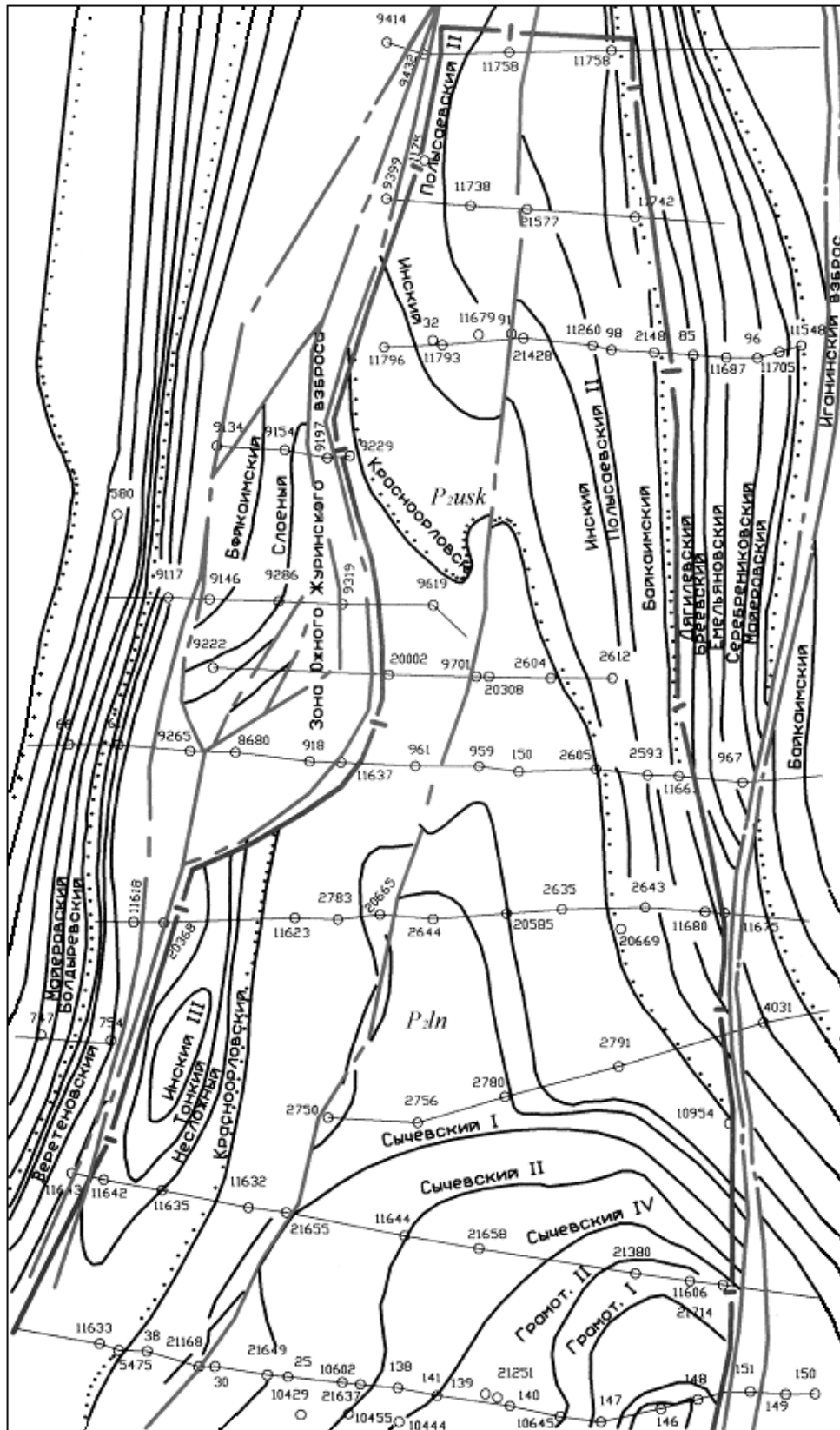


Рисунок 3.3 – Схема геологического строения района угольного разреза «Моховский» (из материалов, переданных геологической службой предприятия)

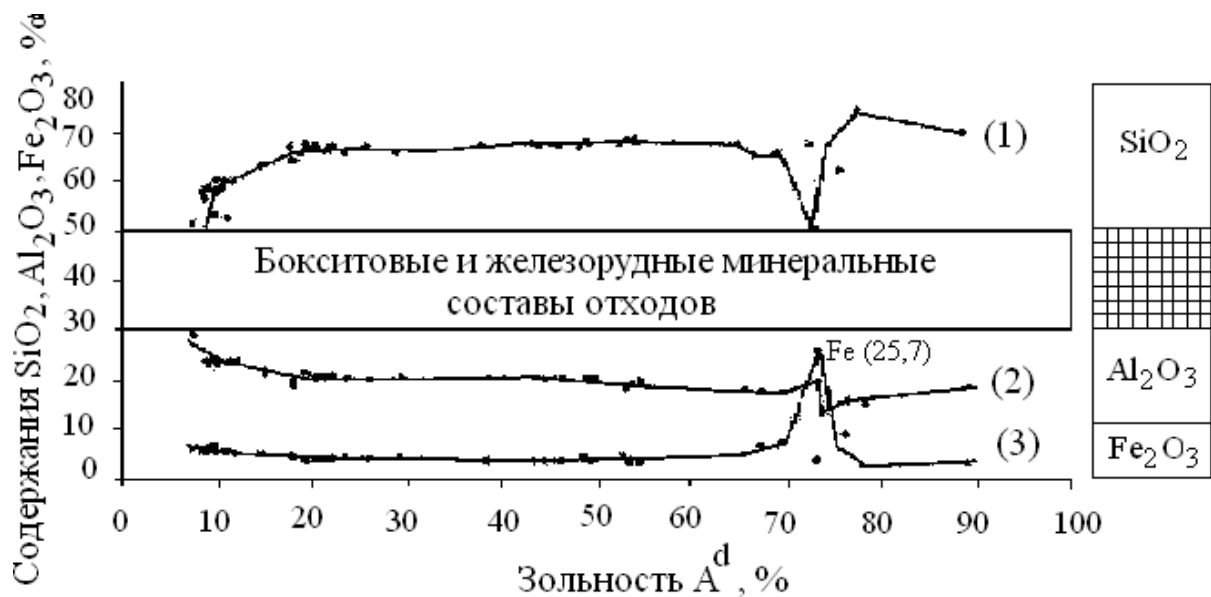


Рисунок 3.4 – Распределение связей зольности и содержаний SiO_2 (1), Al_2O_3 (2), Fe_2O_3 (3) в угольном концентрате, РГМ, шламе, породах при обогащении отходов добычи углей на ОУ «КНС» угольного разреза «Моховский»

Все виды лабораторных исследований проведены индивидуально для каждой пробы. Исключением является минералогическое изучение, которое выполнено для групповой пробы, составленной из частных проб угольного концентрата. Минералогическое изучение групповой пробы концентрата углей включало ее разделение на центрифуге в тяжелых жидкостях. Мономинеральные фракции отбирались вручную и исследовались под бинокулярным микроскопом. Затем эти фракции были изучены рентгенометрическим способом.

Поле разреза «Моховский», имеющее в плане технических границ клиновидную форму с сужением к северу, ограничено с запада и востока крупнейшими региональными естественными зонами взбросов, соответственно, Южно-Журицкого и Иганинского. Осевая часть складчатой синклинали структуры поля пересечена тектоническим разрывным нарушением. В геологическом строении поля принимают участие отложения двух свит от пласта Грамотеинского II до Красноорловского – ленинская свита (P_2ln), ниже от пласта Красноорловского до Полысаевского II - ускатская свита (P_2us) (см. рис.3.3).

В будущем, при геохимических исследованиях, следует обратить внимание на части угольных пластов, прилегающих к разрывным наруше-

ниям. Это важно при опробовании [122]. Так, пласт Сычевский I целесообразно опробовать в районе скважины № 21655, Колмогоровский-Шурфовой по линии между скважинами №№ 2750, 20665; Красноорловский – в районе скважин №№ 1094, 20669, 2605, 2604, севернее 9619, 9229; Полысаевский II – в районе скважины № 1175 (восточнее). Кроме того, целесообразно изучить пробы из пластов углей в местах их смещения разрывным нарушением в осевой части поля разреза.

Геохимические барьеры по максимумам содержаний элементов определены в пластах Сычевском I, Шурфовом, Полысаевском II. Угли этих пластов требуют более детального геохимического изучения в целях выявления высоких и аномальных содержаний ценных металлов.

Химический состав зольной части углей определен и подтвержден рассчитанными суммами содержаний компонентов (табл. 3.15). Отметим, что по этим данным, в среднем, содержания глинозема не отвечают условиям на его извлечение (см. рис. 3.4).

По разрабатываемым пластам частично использованы для изучения данные, содержащиеся в автоматизированной базе «Качество углей Кузбасса» (КУК), составленной С. Г. Двуреченским, С. В. Шаклеиным (табл. 3.16).

Кондиционны для промышленных технологий переработки золы углей пластов: Колмогоровского-Шурфового, Красногорского в. п., Красногорского н. п. Первый из них, по нашим данным, является золотоносным – содержит Au в количестве 0,8 г/т (в расчете на зольную массу).

Содержания S и P, соответственно, в среднем низкие – 0,24 и 0,02. Отметим, что выявленное в золе пластов углей максимальное содержание SO₃ (9,7 %) отвечает золотоносному пласту Шурфовому. Последнее, вероятно, соответствует и повышенному содержанию в нем пирита (FeS₂) или других сульфидов.

Результаты химических анализов и расчеты по ним для зольной части разубоженной горной массы, угольного концентрата, породы, шлама, отобранных на обогатительной установке, приведены в таблицах 3.17 - 3.20.

Таблица 3.15 – Состав зольной части углей пластов поля разреза «Моховский»

Наименование пласта	Зольность угольных пачек, A ^d , %	Зольность с учетом засорения просл., A ^d , %	Содержание компонента, %								Сумма	
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O		SO ₃
Сычевский IV, в. п.	6,1	26,4	36,40	1,10	20,40	9,70	11,40	5,80	1,30	0,90	6,00	93,00
Сычевский III	7,2	10,6	35,20	1,10	25,00	9,40	10,30	4,40	1,20	1,20	7,00	94,80
Сычевский I	6,2	12,3	31,30	1,00	20,00	8,40	19,10	6,60	1,45	2,90	7,40	98,15
Колмогоровский–Шурфовой	7,0	18,5	34,90	1,05	21,00	7,50	12,30	5,40	н. д.	н. д.	9,70	91,85
Красногорский, в. п.	6,4	15,3	48,00	1,00	20,00	8,00	10,20	3,50	н. д.	н. д.	3,50	94,20
Красногорский, н. п.	7,4	10,2	57,80	1,10	21,00	6,90	24,10	2,30	н. д.	н. д.	1,70	114,90
Полысаевский II	5,7	10,6	38,50	1,00	19,00	9,70	14,50	5,60	1,40	1,30	6,30	97,30
Средние данные	6,57	14,84	40,30	1,05	20,19	8,51	14,56	4,80	1,34	1,58	5,94	97,74 - 98,99

Таблица 3.16 – Выборочные показатели качества для пластов углей поля разреза «Моховский»

Наименование пласта	Мощность угольных пачек, м	Мощность породных прослоев, м	Зольность угольных пачек, A ^d , %	Зольность с учетом засорения просл., A ^d , %	Содержание серы, S _{td} , %	Содержание фосфора, P _{td} , %
Сычевский IV, в. п.	3,89	0,39	6,1	26,4	0,23	0,015
Сычевский III	3,55	0,09	7,2	10,6	0,24	0,027
Сычевский I	4,21	0,13	6,2	12,3	0,25	0,022
Колмогоровский – Шурфовой	4,10	н. д.	7,0	18,5	0,24	0,020
Красногорский, в. п.	4,42	0,38	6,4	15,3	0,26	0,026
Красногорский, н. п.	1,09	0,10	7,4	10,2	0,22	0,018
Полысаевский II	6,30	0,10	5,7	10,6	0,21	0,014
Средние данные	3,94	0,20	6,57	14,84	0,24	0,020

Таблица 3.17 – Химический состав золообразующей части углей, выделенных на обогатительной установке «КНС» разреза «Моховский» (угольный концентрат)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %												Среднее	
		2500	2501	2504	2505	2508	2512	2515	2516	2518	2521	2524	2527		2530
1.	A ^d , %	8,50	10,80	17,70	9,80	8,70	11,70	9,80	14,70	9,50	8,80	9,10	7,30	11,00	10,57
2.	SiO ₂	57,77	59,99	64,11	59,92	56,71	59,91	57,87	63,45	53,44	58,88	58,38	51,40	52,49	58,03
3.	TiO ₂	0,98	1,08	0,74	1,02	1,03	1,10	1,00	0,81	0,90	1,05	0,99	0,79	1,03	0,96
4.	Al ₂ O ₃	24,00	23,51	19,14	23,04	24,00	23,89	23,01	21,19	24,20	22,97	23,89	28,92	23,79	23,56
5.	Fe ₂ O ₃	5,42	5,26	4,84	5,89	5,88	5,15	5,75	5,10	6,68	5,39	6,17	5,84	5,60	5,61
6.	MnO	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04
7.	MgO	2,86	2,29	2,60	2,31	2,92	1,98	3,07	2,26	3,80	2,82	2,57	2,19	2,41	2,62
8.	CaO	4,38	3,41	4,17	3,39	4,74	3,22	4,85	2,19	6,07	4,56	3,81	4,22	3,68	4,05

Продолжение таблицы 3.17

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %													Среднее
		2500	2501	2504	2505	2508	2512	2515	2516	2518	2521	2524	2527	2530	
9.	Na ₂ O	0,91	0,97	1,38	1,03	0,91	0,94	0,86	0,79	1,05	0,89	1,52	1,03	1,13	1,03
10.	K ₂ O	2,41	2,49	2,27	2,41	2,47	2,54	2,51	2,60	2,00	2,39	1,66	1,52	2,33	2,28
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.	Сумма	98,77	99,04	99,29	99,06	98,70	98,77	98,96	99,15	98,20	98,99	99,02	95,95	92,50	98,18
13.	P ₂ O ₅	0,26	0,20	0,10	0,19	0,28	0,23	0,20	0,14	0,33	0,21	0,18	0,87	0,32	0,27
14.	F	0,0071	0,0060	0,0086	0,0060	0,0060	0,0065	0,0052	0,0060	0,0051	0,0049	0,0043	0,0085	0,0064	0,0062
15.	Cl	0,088	0,038	0,064	0,023	0,036	0,054	0,046	0,048	0,055	0,076	0,094	0,057	0,026	0,054
16.	S	0,25	0,24	0,20	0,25	0,22	0,25	0,26	0,21	0,21	0,20	0,23	0,23	0,25	0,23
17.	Сумма	99,38	99,52	99,66	99,53	99,24	99,31	99,47	99,55	98,80	99,48	99,53	97,12	93,10	98,74
18.	d _{r,3} ^d г/см ³	1,40	1,42	1,49	1,40	1,40	1,42	1,43	1,45	1,40	1,40	1,41	1,38	1,41	1,42

Таблица 3.18 – Химический состав золообразующей части углей и углистых пород, выделенных на обогатительной установке «КНС» разреза «Моховский» (разубоженная горная масса)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %														Среднее
		2502	2503	2506	2509	2511	2514	2517	2520	2523	2526	2529				
1.	A ^d , %	48,80	23,20	53,90	49,00	45,00	43,00	28,80	45,80	53,90	37,90	52,40	43,80			
2.	SiO ₂	68,04	65,89	68,77	67,71	67,66	67,53	65,89	67,39	67,86	67,35	67,43	67,41			
3.	TiO ₂	0,84	0,88	0,85	0,87	0,87	0,86	0,86	0,87	0,81	0,84	0,80	0,85			
4.	Al ₂ O ₃	19,57	20,65	19,58	20,31	20,45	20,36	20,85	20,56	19,80	20,59	18,18	20,08			
5.	Fe ₂ O ₃	3,81	4,30	3,43	3,61	3,56	3,70	4,33	3,68	3,77	3,76	4,97	3,90			
6.	MnO	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,07	0,05			
7.	MgO	1,45	1,89	1,31	1,59	1,57	1,52	1,82	1,57	1,46	1,37	1,60	1,56			
8.	CaO	1,23	1,88	1,18	1,35	1,25	1,32	1,69	1,27	1,09	1,19	2,67	1,47			
9.	Na ₂ O	1,50	0,78	1,51	1,03	1,07	1,02	0,81	0,99	1,58	1,42	1,16	1,17			
10.	K ₂ O	3,01	3,00	2,85	2,31	3,10	3,01	2,92	2,98	3,04	2,85	2,68	2,94			
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
12.	Сумма	99,49	99,32	99,52	99,42	99,57	99,37	99,22	99,35	99,45	99,42	99,56	99,43			
13.	P ₂ O ₅	0,06	0,09	0,05	0,05	0,05	0,07	0,09	0,07	0,06	0,08	0,04	0,06			
14.	F	0,0206	0,0143	0,0166	0,0210	0,0179	0,0171	0,0105	0,0193	0,0198	0,0185	0,0182	0,0177			
15.	Cl	0,072	0,067	0,075	0,060	0,051	0,038	0,047	0,063	0,087	0,065	0,043	0,061			
16.	S	0,18	0,25	0,17	0,23	0,20	0,23	0,21	0,23	0,15	0,20	0,19	0,20			
17.	Сумма	99,82	99,74	99,83	99,78	99,89	99,73	99,58	99,73	99,77	99,78	99,85	99,77			
18.	d ^d , г/см ³	1,83	1,52	1,88	1,83	1,77	1,74	1,59	1,80	1,87	1,69	1,89	1,76			

Таблица 3.19 – Химический состав золоторазрушающей части илтамов, выделенных на обогащательной установке «КНС» разреза «Моховский»

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %													Среднее
		2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542			
1.	A ^d , %	22,00	20,20	20,20	17,50	18,70	20,00	21,60	19,30	21,30	25,60	19,10	20,50		
2.	SiO ₂	67,26	66,81	67,40	67,03	65,58	66,64	66,42	66,67	66,28	67,24	67,48	66,80		
3.	TiO ₂	1,03	1,09	1,05	1,09	1,06	1,07	1,07	0,97	1,04	1,01	0,84	1,03		
4.	Al ₂ O ₃	20,45	20,67	20,28	19,99	21,59	20,83	20,93	21,21	21,00	20,19	21,22	20,76		
5.	Fe ₂ O ₃	3,91	4,10	3,91	4,56	4,10	4,06	4,01	3,90	4,01	4,22	3,75	4,05		
6.	MnO	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04		
7.	MgO	1,54	1,58	1,56	1,66	1,58	1,53	1,55	1,54	1,56	1,56	1,42	1,55		
8.	CaO	1,33	1,48	1,47	1,55	1,41	1,47	1,44	1,35	1,51	1,36	1,15	1,41		
9.	Na ₂ O	1,07	0,98	1,02	0,98	1,02	1,00	0,96	0,98	1,09	1,15	1,00	1,02		
10.	K ₂ O	2,93	2,84	2,85	2,79	2,93	2,92	2,96	2,72	2,97	2,81	2,35	2,82		
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
12.	Сумма	99,56	99,59	99,58	99,70	99,31	99,56	99,39	99,38	99,50	99,59	99,25	99,49		
13.	P ₂ O ₅	0,06	0,06	0,06	0,07	0,09	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06		
14.	F	0,0116	0,0092	0,0096	0,0093	0,0098	0,0088	0,0106	0,0113	0,0102	0,0104	0,0083	0,0099		
15.	Cl	0,030	0,030	0,025	0,038	0,028	0,033	0,026	0,052	0,043	0,031	0,028	0,033		
16.	S	0,28	0,26	0,27	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,34	0,32	0,31	0,29		
17.	Сумма	99,94	99,95	99,95	100,07	99,71	99,95	99,78	99,79	99,95	100,01	99,66	99,88		
18.	d ^d , г/см ³	1,53	1,51	1,52	1,49	1,50	1,51	1,52	1,51	1,53	1,56	1,51	1,52		

Таблица 3.20 – Химический состав золотобразующей части углистых пород, выделенных на обогащательной установке «КНС» разреза «Моховский» (порода)

№ п/п	Наименование	Содержание компонента, элемента в пробе, %										Среднее
		2499	2507	2510	2513	2519	2522	2525	2528	2531		
1.	A ^d , %	53,10	72,50	77,20	48,00	75,50	66,50	72,70	88,10	64,80	68,71	
2.	SiO ₂	68,50	67,78	74,20	66,67	62,20	65,36	50,73	69,87	67,43	65,86	
3.	TiO ₂	0,81	0,82	0,68	0,80	0,66	0,77	0,67	0,78	0,80	0,75	
4.	Al ₂ O ₃	19,33	19,58	15,13	20,64	16,17	17,68	13,39	18,57	18,18	17,63	
5.	Fe ₂ O ₃	3,31	3,81	2,64	4,47	8,88	6,60	25,68	3,21	4,97	7,06	
6.	MnO	0,05	0,06	0,04	0,05	0,11	0,11	0,55	0,05	0,07	0,12	
7.	MgO	1,59	1,56	1,01	1,68	2,82	2,13	2,53	1,24	1,60	1,80	
8.	CaO	1,27	1,53	1,69	1,41	4,73	2,73	3,29	1,02	2,67	2,26	
9.	Na ₂ O	1,67	1,69	1,99	1,13	1,42	1,45	0,67	2,03	1,16	1,47	
10.	K ₂ O	2,97	2,69	2,31	2,64	2,45	2,69	2,01	2,78	2,68	2,58	
11.	п.п.п.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
12.	Сумма	99,50	99,52	99,69	99,49	99,44	99,52	99,52	99,55	99,56	99,53	
13.	P ₂ O ₅	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
14.	F	0,0219	0,0183	0,0136	0,0166	0,0116	0,0195	0,0096	0,0087	0,0172	0,0152	
15.	Cl	0,070	0,061	0,058	0,042	0,071	0,074	0,049	0,043	0,024	0,055	
16.	S	0,21	0,10	0,06	0,21	0,06	0,07	0,11	0,08	0,12	0,11	
17.	Сумма	99,85	99,74	99,85	99,81	99,63	99,72	99,73	99,72	99,99	99,76	
18.	d ^d , г/см ³	1,88	2,22	2,27	1,80	2,37	2,15	2,52	2,51	2,15	2,07	

В таблице 3.17 приведены анализы по 13 пробам. Отметим, что угольные пробы №№ 2504, 2516 были взяты 25.10.94 г., соответственно, 9-00 и 13-00 часов на породном конвейере, но по зольностям 17,7 % и 14,7 % они отвечают углю. Все пробы, за исключением № 2504, по содержаниям Al_2O_3 и Fe_2O_3 обладают высокими уровнями концентраций. Средние данные, соответственно, – 23,56 % и 5,61 %. Все 13 результатов отвечают требованиям для силикатных анализов, их средняя абсолютная погрешность – минус 1,26 %. Она может быть отнесена к потерям при прокаливании. Силикатные анализы разубоженной горной массы представлены 11 пробами (см. табл. 3.16). Абсолютная погрешность анализов, в среднем, – 0,23 %, что подтверждает надежность аналитических работ. По силикатным анализам шламовых проб, в среднем, погрешность анализов – 0,12 % (см. табл. 3.19). Для породных проб погрешность – 0,24 % (см. табл. 3.20).

3.2.2 Данные химического изучения продуктов обогащения углей

Отслеживался в мониторинговом режиме процесс обогащения углей на ОУ «КНС» по пробам угольного концентрата (13), разубоженной горной массы (11), шлама (11), породы (9). Угольный концентрат имеет выявленные показатели средней зольности (%) и ее пределов (в скобках): 10,57 (8,50-17,70). Среднее содержание – Al_2O_3 (23,56%), максимальное – 28,92%. $K_2O:Na_2O=2,2$. Содержания P_2O_5 и серы выдержанные и, соответственно, не превышают 0,27 и 0,23 %. Разубоженная горная масса с более высокой зольностью (в среднем, 43,8 %) имеет пониженные средние показатели по Fe_2O_3 (3,9 %) и более высокие по SiO_2 (67,41 %). Представительность по P_2O_5 снижена для РГМ в сравнении с концентратом в 4,5 раза; серы – незначительно (1,15). Шламы, судя по отношению содержаний $K_2O:Na_2O=2,8$, обогащены калием. Высоких глиноземных и железистых содержаний не обнаружено. Породы имеют максимальный из фракций обогащения показатель зольности – 68,71 % при содержании SiO_2 – 65,86 %, максимум по Fe_2O_3 (проба № 2525 – 25,68 %) связан с более высокими значениями зольности – 72,7 %, плотности – 2,52 г/см³ (см. табл. 3.15 – 3.18). Повышенные содержания оксидов алюминия и железа в продуктах обогащения и в угольных пластах сведены в таблицу 3.21.

Таблица 3.21 – Данные о повышенных содержаниях Al_2O_3 , Fe_2O_3 в золе продуктов обогащения углей и пластах

	Содержание, %	
	Al_2O_3	Fe_2O_3
Угольный концентрат	23,56	5,61
Разубоженная горная масса	20,08	3,90
Шлам	20,74	4,05
Уголь пласта Колмогоровский-Шурфовой	21,00	7,50
Уголь пласта Красногорский в. п.	20,00	8,00
Уголь пласта Красногорский н. п.	21,00	6,90

3.2.3 Выборочные геохимические характеристики

угольных пластов-продуцентов разубоженной горной массы

Далее приведем общие необходимые показатели и характеристики (статус) выявленных содержаний ценных, токсичных элементов в пластах ленинской и ускатской свит (см. табл. 3.16, 3.17).

В составе ленинской свиты – P_2In изучены четыре пласта. Пласт Сычевский III характеризуется по 31 элементу, включая Na, Mg, Fe. Средний ККЗУ – 1,55. Наиболее информативными по ККЗУ из них являются: В (2,93), Sr (2,66), Zr (4,33), Ba (5,98), Hf (6,36), U (2,36). По токсичным в выборке В – 0,88. По выборке РЗЭ – 0,898. Общий геохимический фон содержаний элементов невысокий. По ККГП выявлены аномалии В, Sc, Вi; высокие уровни – Ba, U. Пласт Сычевский I охарактеризован по 35 элементам, включая Na, Mg, Fe. Среди высоких ККЗУ отметим Zr (8,66), Nb (11,36), Ba (6,84), Hf (6,36), – в среднем, он выше 2. Аналогично – по TR – 0,98; по токсичным – 0,90; по ценным – 4,37. Пласт Шурфовой – приведены данные по 35 элементам, включая Na, Mg, Fe. Характерные ККЗУ – Na (3,45), Mg (6,48), Mn (5,52), Rb (2,69), Sr (3,80), Zr (4,25), Nb (11,16), Ba (5,31), La (2,58), Hf (8,48), Ta (2,06), Au (40,0), U (5,0). В среднем, – 3,6.

По ценным металлам, соответственно, – 4,17; по токсичным – 1,66. В среднем для ККГП – 27,2, что является аномальным. Здесь же для золота – 800,0. Пласт Безымянный характеризуется по 31 элементу с Na, Mg, Fe включительно. Общий геохимический фон ККЗУ невысокий – 1,84; аномалий не выявлено; высокие концентрации Mg, Hf. TR – 0,86; А (ценные металлы) – 2,75, В (токсичные элементы) – 1,15.

В ускатской свите, P_{2us} , характеризуются в этом контексте три пласта. Пласт Красногорский – выявлено 37 элементов. Средний фон ККЗУ – 1,82. Наиболее высокие концентрации Zr, Nb. Пласт Польшаевский II – выявлены 33 элемента с Na, Mg, Fe. Характерным являются (среди ККЗУ) – В (4,0), Mg (6,48), Mn (7,73), Zr (5,95), Nb (15,62), Sn (4,17), Ba (8,19), Yb (2,1), Lu (3,12), Hf (11,25), U (6,92). Общий – 3,18; А – 5,76; В – 2,22. Аномалии по ККГП – В, Sc, Nb, Ba, Lu, Bi, U; в общем – 43,85. Среднее содержание урана в золе составляет 103,75 г/т, что требует дальнейших определений на степень опасности этих углей по ЕРН. Пласт Польшаевский I – изучено 33 малых элемента и Na, Mg, Fe. Наиболее существенные концентрации по ККЗУ – Mg (6,48), Co (3,24), Sr (3,2), Zr (11,9), Nb (15,62), Sn (2,1), Ba (9,29), Yb (2,1), Hf (9,38), U (4,33). Общий фон – 2,82; А – 2,72; В – 0,48. Наиболее значительными по ККГП являются концентрации Be, В, Mg, Sc, Co, Sr, Y, Zr, Mb, Mo, Sn, Cs, Ba, Eu, Yb, Lu, Hf, Bi, U (17,57!). Для пластов поля разреза «Моховский», в целом, характерны повышенные и аномальные (по ККГП) концентрации бора, в том числе по пластам: Сычевский III (18,2), Польшаевский II (25,0), Польшаевский I (6,2) и другим. Средний показатель по бору ККГП по 7 пластам равен 9,3. Рассмотренная часть отложений P_2 является фрагментом геохимической фации борсодержащих углей Ленинского ГЭР.

Отношения содержаний K_2O и Na_2O в моховских угольных концентратах, разубоженной горной массе, шламах и породах, соответственно, составили – 2,2; 2,5; 2,8; 1,8. Также как и в бачатских угольных концентратах, РГМ, отходах K_2O преобладает, но существенно меньше. В сравнении со средними показателями для кузнецких углей по 341 пробе с Na_2O (1,98 %) и 34 пробам с K_2O (2,7 %) и отношении 1,4 обогащенные моховские угли содержат относительно больше K_2O в 1,2 раза; бачатские меньше – 1,1 раза. По Na_2O распределения другие: моховские – меньше в 1,9 раза; бачатские – меньше в 6,2 раза. Калиевая «специализация» золошлаков пластов бачатских углей может быть объяснена преобладанием в глинистой фракции калийсодержащих гидромусковита, гюмбелита; обломков микроклина, ортоклаза и других содержащих калий минералов. И. Нарай-Сабо привел кристаллохимические показатели связей более 190 соедине-

ний калия с химическими элементами, входящими в минералы и руды, осадочные породы, угли и другие природные образования. В частности, калий входит в соединения с Br, Cl, F, S, C и с другими элементами в кристаллохимических постройках с Os, Pd, Pt, Re, Ru. Обнаруженные в кузнецких углях ПГМ элементы могут быть не только в самородной форме, но и в других перечисленных соединениях [85].

Актуальность разнообразных задач изучения угольных минеральных отходов и необходимость решения проблемы переработки с получением прибыли не вызывает сомнений. Экономическая ситуация в России в настоящее время препятствует развитию научных исследований в рамках госбюджетных возможностей. Поэтому особенно привлекательным является поиск таких путей и решений проблемы, при осуществлении которых можно получать дополнительные доходы, как от продаж, так и от переработки отходов, включая угольные и золошлаковые. В исследовательском этапе этой работы (это очевидно!) приходится всегда начинать с сырьевой базы производства. В случае поисков оптимальных решений для угольной промышленности, прежде всего, следует изучить показатели пластов разрабатываемых углей. Созданная нами в прошлом геохимическая БД «Геохимия углей Кузбасса» содержит сведения об элементном составе более половины от числа всех разрабатывавшихся в Кузбассе до настоящего времени угольных пластов. До 2009 года эти данные пополнены информацией мониторингового опробования углей, продукции и отходов обогатительных установок, сезонно перерабатывающих отходы добычи углей – разубоженную горную массу. Проведение этих исследований было вызвано необходимостью получения новых данных для оценки продукции и отходов ОУ «КНС», в т. ч. разреза «Моховский». В ходе исследований эта задача была расширена и дополнительно включила освещение вопросов геохимии угольных пластов и минералогии угольного концентрата, сравнение геохимических связей элементов в выборке кузнецких углей и по выборкам выполненных анализов 1995 года для изученного объекта исследований. В результате дополнительных исследований были выявлены золотоносность углей пласта Шурфового, освещена новая геолого-экономическая оценка использования зольной части разрабатываемых разрезом «Моховский» угольных пластов. Приведены результаты выявления

аномальных и повышенных концентраций редких, редкоземельных и других металлов в угольных пластах, товарной продукции, отходах обогатительной установки.

Для оценки возможности извлечения алюминия из углей поля разреза рассмотрены данные по 7 пластам в их стратиграфической последовательности от Сычевского IV в. п. до Полысаевского II. По наличию Al_2O_3 зольная часть пласта Полысаевского II не отвечает необходимой кондиции на глинозем; в остальных эти (Al_2O_3) содержания в пределах 20-25 %. По максимальному содержанию Fe_2O_3 пласты Колмогоровский-Шурфовой, Красногорский в. п., н. п. удовлетворяют кондиции. В среднем, продукция этих пластов, в рамках зольностей угольных пачек (5,7-7,4 %), близка к кондициям на извлечение глинозема ($Al_2O_3 - 20,95$; $Fe_2O_3 - 8,55$) (см. табл. 3.15).

Пласты характеризуются низкими концентрациями токсичных металлов (суммарно, В*, где «*» обозначены обобщенные показатели из БД «Геохимия углей Кузбасса»), в среднем, 1,22 по ККЗУ. Максимум В = 2,22 выявлен для пласта Полысаевского II, где и содержание урана составило 103,75 г/т. По показателю А* (ценные металлы) пласты также, в среднем, характеризуются ККЗУ – 3,71, а пласт Полысаевский II – наивысшим показателем среди них – 5,76. Аномальными и высокими ККЗУ в пластах обладают: Zr, Nb, Ba, Hf, Au, U. Угольный концентрат по высоким аномальным концентрациям зольной части по элементам характеризуется следующими их концентрациями: As, Sr, Y, Zr, Nb, La, Ce, Hf; А – 5,22; В – 1,43. Сумма TR в золе – более 0,12 %. Кондиционность зольной части концентрата ($Al_2O_3 - 23,56$; $Fe_2O_3 - 5,61$), в среднем, удовлетворительная при $A^d = 10,57$ %. При мониторинговом наблюдении выявлено, что 92,3 % проб концентрата соответствуют условиям извлечения алюминия.

В ходе наблюдений за обогащением выявилось, что уменьшение зольности произошло, в среднем, в 4,28 раза. За тот же период в концентрате по сравнению с разубоженной горной массой, в среднем, в 3,07-5,61 раза произошло повышение содержаний по 10 элементам, т. е. по 31,25 % от учтенного их массива, в т. ч. по Li, Be, Zn, Nb, Mo, Sb, Ta, Hg, Pb.

В рамках кондиций технологий извлечения малых элементов, в том числе разработанных ВНИИХТ и по нашим оценкам, в список потенци-

ально извлекаемых металлов нами включены (по средним содержаниям в зольной части проб концентратов): Sc, Ti, Ga, Sr, Y, Zr, Nb, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta. В шламах со средней зольностью 20,5 % содержание глинозема, в среднем, кондиционно – 20,76 %. Общий показатель кондиционности для 11 проб – 90,9 %. По Fe_2O_3 все пробы условно кондиционны, в среднем, его содержание составило 4,05 %. Отметим, что содержание этого компонента в 1,38 раза ниже в шламе, чем в концентрате. Это предопределяет возможность совместного использования зол шламов и концентратов для извлечения металлов. Средняя зольность шламов и максимально зафиксированный ее предел 25,6 % не ограничивают возможностей использования золы шламов для извлечения алюминия по рассматриваемым показателям кондиций. Из зол шламов возможно извлечение Ti, (V-?), Sr, Y, Zr, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta. В исследованных породах по ККЗУ: РЗЭ – 0,58; А – 1,27; В – 0,69. Эти показатели почти на уровне и ниже фоновых. В списке металлов нами в породах почти не выявлено содержаний и концентраций, которые следовало бы рассматривать в качестве рекомендуемых для извлечения или дальнейшего изучения. По отношению к глинистым породам Sc, As выявлены в аномальных концентрациях; для Sr, Y, Hf они в пределах от 2,2 до 3,7 (Y). Содержание Al_2O_3 на уровне кондиции составило 11,1 % от массива породных отходов. Все пробы обладают пониженным содержанием Fe_2O_3 , в среднем, – 7,06 %. Изложенное, однако, не отрицает возможностей обнаружения в этих породах высоко аномальных концентраций металлов. Такие примеры хорошо известны [37, 41].

В породах поля разреза «Моховский» при незначительной (низкой) встречаемости следует ожидать высоких и аномальных концентраций (по ККГП): Sc, Ti, Mn, As, Y, Zr, Au, возможно, Al и Fe, других. Настоящими исследованиями выявлены по данным результатов исследований ККГП, в среднем, по 9 пробам: скандий – 10,9; встречаемость – 100 %; мышьяк – 10,4; встречаемость – 22,2 %. Аномальность скандия по отношению к глинистым породам является характерной геохимической особенностью для пород угленосной толщи Кузбасса, в целом, и для тех из них, которые находятся в непосредственном контакте с углями. Технологически возможно извлечение скандия из пород (отходов обогащения), если его содержание,

в среднем, будет более 30 г/т; в нашем примере – 14,1 г/т. Выявлены отчетливые зависимости приуроченности повышенных содержаний металлов к низкочольным углям за исключением марганца.

Исследование геохимических связей содержаний элементов выполнено для угольного концентрата, шламов, разубоженной горной массы в сравнении с данными для 182 проб кузнецких углей из продуктивных разрабатываемых пластов. Наиболее интересными в теоретическом и практическом приложении являются тесно связанные в угольном концентрате редкоземельные металлы с Co, Ti, Sr, Th, Hf. В разубоженной горной массе эти связи прослеживаются шире, включая дополнительно Cr, Zr, V, Rb, Y; здесь отметим и тесные связи для редких элементов: Cr – Th, Sc – Nb, V – Nb, Zr – V, Sc – Zr, Ti – V; а также менее тесные, но весьма информативные: Ti – Zr, TR – Rb, Cr – Co, Hf – Th, Hf – Co, Sc – V, V – Eu, Y – La, Ti – Cr, Eu – Hf, Zr – La.

На примере схемы корреляции элементов в кузнецких углях приведен прогноз соответствующих зависимостей между элементами в углях и продуктах их переработки обогащением. Следует в дальнейшем выявить на примере изучения углей пласта Шурфового на разрезе «Моховский» геохимические связи золота с Ni, Na, Ti, Ba, TR, Ca, Zr, Co, Al, Fe. Это позволит осуществить целенаправленный поиск золотосодержащих углей и пород на разрабатываемом поле разреза.

Предположительно минеральными формами носителей элементов в углях могут быть: интерметаллиды, хроматы, молибдаты, вольфроматы, сложные окислы, карбонаты, силикаты. Особенно выделим здесь возможности металлоорганических соединений, выявление которых в углях Кузбасса является важнейшей задачей будущих исследований.

Выполненными минералогическими исследованиями установлено, что концентрат углей содержит в тяжелой фракции всего 0,03633 % диагностированных минералов. Среди них на долю сидерита приходится 94 %, магнетита – 3 %, пирита – 2 %, не диагностированных обломков темной окраски – 1 %. В единичных и редких зернах присутствуют эпидот, кварц, циркон, апатит, лимонит, стекло, гематит, мартит, сфен, гранат, корунд, муассанит. Из них рентгенометрически не подтверждены – муассанит, циркон; сфен рентгенометрически не исследовался.

Элементный состав минералов не определялся из-за недостаточных количеств навесок, выбранных из тяжелой фракции вручную под бинокулярным микроскопом. Полагаем, что элементный состав минералов тяжелой фракции углей должен быть обязательно освещен в последующих исследованиях и по другим минералам. Расшифровка элементного состава минералов тяжелой фракции даст возможность количественно ответить на вопрос о долях вхождения металлов в неорганические минералы и в органическую массу углей. Последнее позволит выбрать наиболее выгодный способ извлечения металлов из углей, в т. ч. не сжигая их.

Пригодными для извлечения из зольной части углей разреза «Моховский» (технологических ЗШО) являются металлы: золото, редкие земли при содержаниях их более 0,1 % в сумме, кроме того Sc, Ti, Ga, Y, Nb, Hf, Ta; алюминий. Необходима дальнейшая оценка золотоносности пласта Шурфового, а также близких по геохимическим показателям пластов Сычевского I, Колмогоровского, Безымянного, Польшаевского II. Следует оценить также ураноносность пластов: Сычевских III и I, Шурфового, Безымянного, Красногорского, Польшаевских II и I.

Имеется необходимость и возможность освещения в дальнейшем экономической оценки дополнительной потребительской ценности товарного угольного концентрата, углей и отходов. При этом следует представить на базе полученных результатов мониторинга элементов выбор традиционных и специальных методов обогащения, которые могут быть применены к угольному сырью. Приведенные кондиционные уровни содержаний металлов в зольной массе угольного концентрата, шлама, пригодны для извлечения металлов. Удовлетворительными кондиционными содержаниями глинозема в золе обладают пласты Сычевские IV, III, I; Колмогоровский-Шурфовой, Красногорский в. п. и н. п. В них же среднее содержание Fe_2O_3 – 8,3 %, что ниже норматива условной кондиции. В стратиграфическом разрезе пласты от Сычевского I до нижней пачки пласта Красногорского включительно имеют удовлетворительные кондиции на совместное извлечение оксидов железа, глинозема по сумме содержаний Al_2O_3 и Fe_2O_3 при достижении суммы показателей свыше 30,0 %, (см. табл. 3.17). Например, по пробам 2518, 2524, 2527 при среднем по 12 пробам 29,17 % Al_2O_3 . Прогноз кондиции на глинозем – 25,0 %.

Угольный концентрат будет пригоден для извлечения глинозема при содержании Al_2O_3 , в среднем, свыше 23,56 %; Fe_2O_3 – 5,61 %; зольности не более 10,57 %. Он также содержит комплекс редких металлов, включающих Sc (30,2 г/т), Sr (0,53 %), Y (253 г/т), TR (более 0,1 %), Nb (94,2 г/т), Hf (13,3 г/т), Ta (9,6 г/т) и других потенциально ценных элементов, которые можно извлечь в составе вероятных коллективных концентратов.

Окончательные выводы о пригодности угольного концентрата, шламов, разубоженной горной массы для извлечения из них металлов можно будет сделать только после технологических испытаний этих объектов исследований путем лабораторного, адаптационного промышленного извлечения металлов. Породы от обогащения, выделенные в ходе мониторинга на ОУ «КНС», по изученным данным, не рекомендованы для извлечения из них металлов.

В качестве рекомендации отметим, что на производственной базе разреза «Моховский» следовало бы организовать поток продукции металлоносных углей для опытно-промышленного извлечения алюминия, золота, редкоземельных и других металлов. Угольный концентрат (при $A^d=8-10$ %) предлагается отправить на сжигание в котельные, где реализуется низкотемпературный способ сжигания в «кипящем слое». Опробование золы при этом позволит получить более надежные результаты промышленного концентрирования ценных металлов в конденсированных не разделенных со шлаками золах (bottom ash), а также пополнить информацию о характере рассеяния токсичных элементов в окружающей среде. В ходе предлагаемого промышленного эксперимента ожидается, что золошлаки таких углей можно будет продать в качестве сырья для получения ценных металлов и золота.

В итоге этого рассмотрения подчеркнем, что для пластов поля разреза «Моховский» характерны повышенные концентрации бора; повышенные, высокие и аномальные – Na, Mg, Mn, Rb, Sr, Nb, Ba, TR, Hf, Ta, Au, U. Повторяемость подобных ассоциаций элементов в Шурфовом и Полысаевских пластах позволяет рекомендовать их для дальнейшего выявления промышленных содержаний золота, TR, Hf, Ta, U, алюминия, а также других ценных металлов.

3.2.4 Геохимия угольного концентрата и других продуктов обогащения

Мониторинговое изучение проб, отобранных на ОУ «КНС», по комплексу «малых» (и других) элементов выявило ряд закономерностей в размещении их по потокам исходной горной массы, продуктам ее обогащения.

Угольный концентрат (11 проб) и две пробы (N 2504 и N 2516) углей, попавшие в процессе обогащения в породные отходы (вероятность такого попадания оценивается в 18,2 %), характеризуются набором из 33 малых элементов и 444 элементопределениями. По ККЗУ характерная ассоциация здесь включает Ti (2,79), V (3,12), Cr (3,28), Zn (4,05), As (20,10), Sr (6,83), Y (6,02), Zr (7,86), Nb (11,78), Sb (4,23), Ba (3,84), La (5,82), Se (6,36), Hf (6,66), Ta (3,71). Общий показатель – 3,51. По TR – 2,24. Вычисленная сумма содержаний TR в золе более 0,12 %. Отметим в качестве вывода, что набор и существенно высокие концентрации металлов в золе угольного концентрата и углей позволяют дать благоприятный прогноз извлечения из соответствующих зол Li, Sc, Ti, Ga, As (токсичный!), Sr, Y, Zr, Nb, Tr, Hf, Ta. Этой ассоциации может сопутствовать золото, вероятно, PGM. Средние данные по содержаниям компонентов и металлов, г/т: Sc – 30, TiO₂ – 16752, Sr – 5323, Y – 253, ZrO₂ – 2229, Nb – 94, La – 241, Sm – 10, Eu – 4, Tb – 2, Yb – 8, Lu – 2,5, HfO₂ – 11, с округлением до 1,0. В этот список для последующего рассмотрения следует добавить найденное золото (пласт Шурфовой).

Разубоженная горная масса, являющаяся исходным материалом для обогащения на ОУ «КНС», охарактеризована результатами изучения 11 проб на 35 элементов (Li - U), 420 элементопределениями. В ней по ККЗУ не выявлено существенно высоких уровней концентрации элементов за исключением мышьяка (15,1) по двум пробам с встречаемостью 18,2 %. Средние суммы показателей: TR – 1,02, А – 2,18, В – 0,74. Далее приведем сравнение данных и вычисленных коэффициентов обогащения при переработке горной массы на ОУ «КНС» (табл. 3.22). Уменьшение зольности произошло, в среднем, в $(42,09 : 9,83) = 4,28$ раза.

Таблица 3.22 – Обогащение содержаниями элементов угольного концентрата ОУ «КНС» разреза «Моховский»

Элемент	Содержания в золе, г/т		Показатель обогащения
	угольный концентрат	горная масса	
Li	197,04	50,17	3,93
Be	24,21	6,36	3,81
Sc	30,17	19,02	1,59
Ti	10043,60	7378,63	1,36
V	467,93	325,53	1,44
Cr	256,15	103,74	2,47
Co	36,52	12,28	2,97
Ni	73,19	26,91	2,72
Cu	91,09	48,83	1,86
Zn	506,07	109,59	4,62
Ga	43,60	23,22	1,88
As	1505,57	1133,47	1,33
Sr	5323,89	1253,28	4,25
Y	253,04	176,44	1,43
Zr	1650,58	802,97	2,06
Nb	94,21	23,87	3,95
Mo	9,66	3,15	3,07
Sb	31,72	6,62	4,79
Cs	21,13	13,54	1,56
Ba	3491,90	1631,26	2,14
La	241,75	94,73	2,55
Ce	954,07	335,19	2,85
Sm	10,35	6,66	1,55
Eu	4,39	2,86	1,53
Tb	2,28	0,79	2,89
Yb	8,67	4,89	1,77
Lu	2,50	0,87	2,87
Hf	13,31	9,31	1,43
Ta	9,65	1,72	5,61
Hg	0,24	0,07	3,43
Pb	51,39	12,80	4,02
Th	20,71	16,45	1,26

Из приведенных примеров вычислений ясно, что обогащение по группам элементов произошло в мониторинговый период опробования следующим образом, в пределах:

1. 1,26 – 2,97 Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Ga, As, Y, Zr, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Th. По 22 элементам; 68,75 % от массива приведенных данных;

2. 3,07 – 5,61 Li, Be, Zn, Sr, Nb, Mo, Sb, Ta, Hg, Pb. По 10 элементам; 31,25 % от массива приведенных данных.

3. Подчеркнем выявленную тенденцию к накоплению в обогащенной угольной массе Ta (5,61), Sb (4,79), Zn (4,62), Sr (4,25), Pb (4,02).

4. Шламовая масса содержит 36 элементов (Li - U), представленных в 11 пробах 426 элементопределениями. Значительные концентрации в пределах надфоновых-высокофоновых ККЗУ выявлены для Ti (3,2), V (4,99), As (6,6), Sr (3,2), Y (6,6), Zr (7,9), Nb (6,6), La (4,2), Ce (4,1), Hf (5,1).

5. Выделим факт обнаружения иттрия в пересчете на золу шлама в количестве 275 г/т. Общий уровень ККЗУ шламов, в среднем, – 2,25; TR – 1,78; А – 3,59; В – 1,33. Сумма TR на золу шлама составляет, в среднем, – 821,8 г/т, что является достаточно высоким показателем.

Вычисленные показатели обогащения в сравнении «уголь-шлам» приведены в таблице 3.23. Соотношение зольностей между концентратом углей и шламом составляет: $20,655 : 9,83 = 2,1$. К этому показателю в расчетном примере ближе всего находятся данные по Li, Zn, Sr, Mo, Pb.

Такое совпадение можно рассматривать как подтверждение приведенной выше тенденции близкого сродства перечисленной группы элементов к органическому веществу углей. Относительно невысокие показатели накопления элементов в шламе: Ti (1,16), V (1,61), Mn (1,22), Ni (1,06), Y (1,09), Zr (1,01), также как и аналогичные для углей для Sc, Co, Ga, Cs, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Hf, Hg, Th, свидетельствуют о равных вероятностях их встречаемости и тенденции к накоплению как в шламах, так и в угольных концентратах. Более высокие показатели, например, для As, Sb, Ta указывают на выраженное сродство к органической части углей.

Таблица 3.23 – Перераспределение содержаний элементов при обогащении горной массы углей на ОУ «КНС» разреза «Моховский»

Элемент	Содержание в золе, г/т		Показатель обогащения
	угольный концентрат	шлам	
Li	197,04	98,52	2,00
Be	24,21	14,45	1,68
Sc	30,17	27,52	1,10
Ti	10043,60	11604,48	0,86
V	467,93	478,82	0,62
Cr	256,15	143,19	1,79
Mn	249,92	305,22	0,82
Co	36,52	22,66	1,61
Ni	73,19	77,51	0,94
Cu	91,09	71,82	1,27
Zn	506,07	240,85	2,10
Ga	43,60	33,72	1,29
As	1505,57	497,02	3,03
Sr	5323,89	2521,82	2,11
Y	253,04	275,00	0,92
Zr	1650,58	1664,04	0,99
Nb	94,21	52,55	1,79
Mo	9,66	4,93	1,96
Sb	31,72	7,28	4,36
Cs	21,13	14,28	1,48
Ba	3491,90	2020,71	1,73
La	241,75	176,54	1,37
Ce	954,07	620,73	1,54
Sm	10,35	9,37	1,10
Eu	4,39	3,29	1,33
Tb	2,28	2,14	1,06
Yb	8,67	8,32	1,04
Lu	2,50	1,41	1,77
Hf	13,31	10,20	1,30
Ta	9,65	3,26	2,96
Hg	0,24	0,18	1,33
Pb	51,39	24,08	2,13
Th	20,71	16,79	1,23

Породы, в среднем, по 35 элементам (9 проб, 348 элементоопределений) в рамках ККЗУ обладают подфоновыми концентрациями за исключением Ti (1,1), Mn (3,03), As (1,81), Rb (1,68), Y (2,29), Zr (1,42), Nb (1,87), La (1,03), Ce (1,20), Hf (3,1). Обобщенные показатели: TR – 0,58; A – 1,27; B – 0,69. Относительно глинистых пород (ККГП) аномальными

и повышенными концентрациями, в среднем, обладают Sc (10,87), As (10,44), Sr (2,49), Y (3,7), Hf (2,21). Шлам незначительно обогащен Ti, V, Mu, Ni, Y, Zr. Только марганец имеет тенденцию к накоплению в породах (5,88). Среднее содержание иттрия в породах 96,21 г/т близко к концентрации на извлечение (табл. 3.24).

Таблица 3.24 – Характеристики обогащения (обеднения) содержаниями элементов угольного концентрата и пород

Элемент	Содержание в золе, г/т		Показатель обогащения
	угольный концентрат	порода	
Li	197,04	48,46	4,07
Be	24,21	3,28	7,38
Sc	30,17	14,13	2,14
Ti	10043,60	3981,29	2,52
V	467,93	137,35	3,41
Cr	256,15	65,36	3,92
Mn	249,92	1469,76	0,17
Co	36,52	5,73	6,37
Ni	73,19	10,78	6,79
Cu	91,09	36,33	2,51
Zn	506,07	79,53	6,36
Ga	43,60	17,42	2,50
As	1505,57	135,70	11,09
Sr	5323,89	746,49	7,13
Y	253,04	96,21	2,63
Zr	1650,58	298,60	5,53
Nb	94,21	14,93	6,31
Mo	9,66	1,50	6,44
Cs	21,13	6,49	3,26
Ba	3491,90	875,05	3,99
La	241,75	42,72	5,66
Ce	954,07	179,32	5,32
Sm	10,35	4,56	2,27
Eu	4,39	1,79	2,45
Tb	2,28	0,65	3,51
Yb	8,67	3,85	2,24
Lu	2,50	0,55	4,54
Hf	13,31	6,20	2,15
Ta	9,65	1,55	6,22
Hg	0,24	0,05	4,80
Pb	51,39	11,78	4,36
Th	20,71	11,35	1,82

В процессе обогащения углей нами обнаружены тенденции накопления (т. е. увеличения содержаний в низкзолном продукте) элементов s, p, d, f – групп, что показано на рисунке 3.5. Li, Be, Sr имеют преимущественную тенденцию связей с угольным концентратом, чем Cs, Ba. Максимум (из четырех p-элементов) концентрирования имеет сурьма. Для примеров 16 элементов d-группы цинк и тантал максимально накоплены в концентрате углей. Для Ce, Tb, Lu при почти равных коэффициентах обогащения (2,85-2,89) заметно выражено почти двукратное преимущество вхождения в угольный концентрат, чем у Sm, Eu, Yb.

Роль и участие главных компонентов углей отражена на рисунке 3.6. Роль SiO₂ заключается в том, что диоксид кремния более содержателен, в основном, в породах, которые представлены песчаниками или алевролитами.

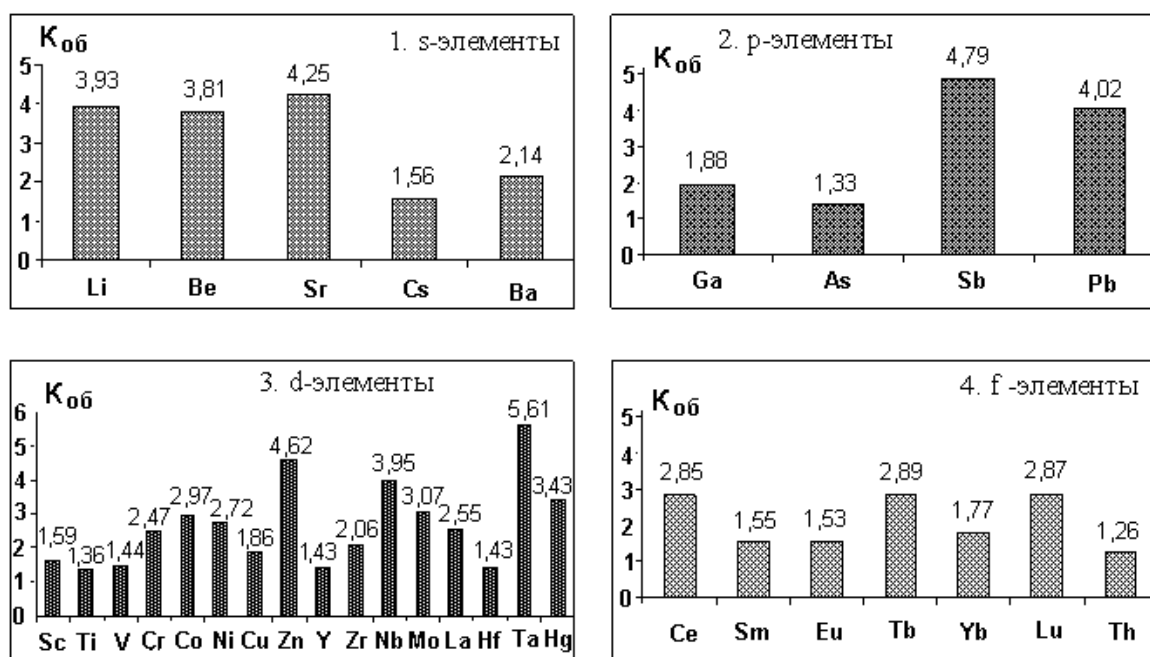
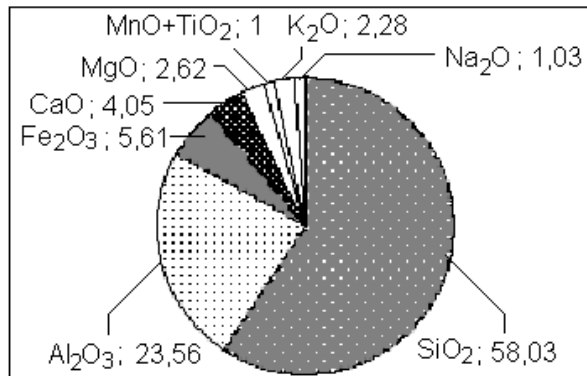
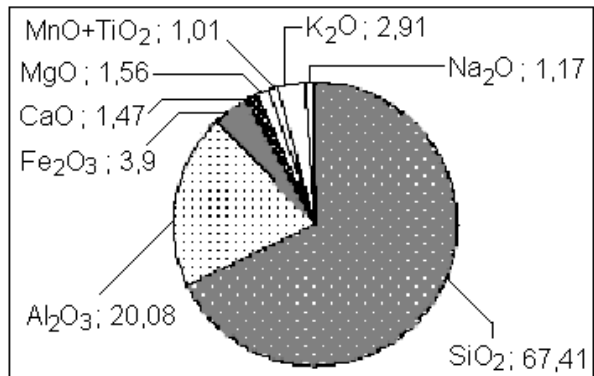


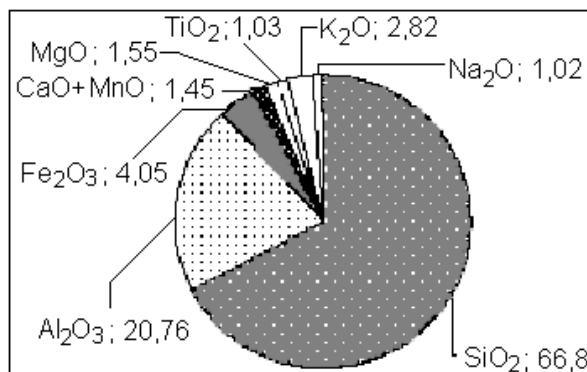
Рисунок 3.5 – Показатели обогащения (K_{об}) угольного концентрата на ОУ «КНС» разреза «Моховский»



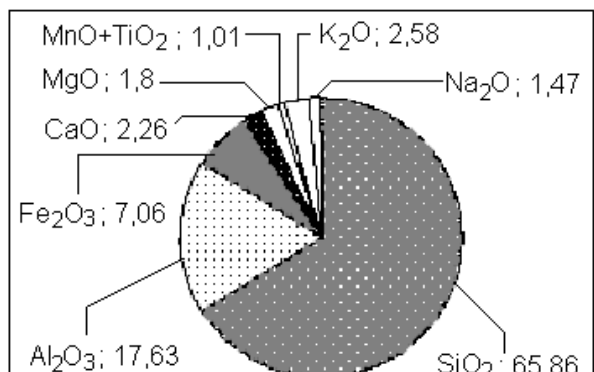
А. Угольный концентрат



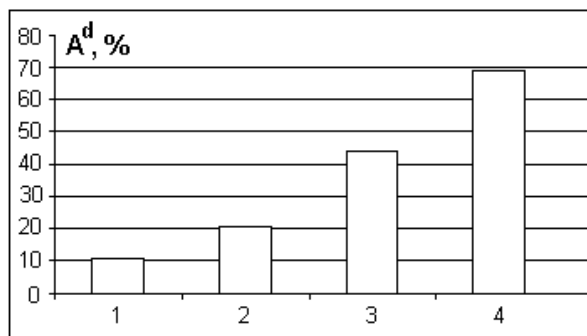
Б. РГМ



В. Шлам



Г. Порода



Зольность: 1 – уголь; 2 – шлам; 3 – РГМ; 4 – порода

Рисунок 3.6 – Структура изменения показателей содержания компонентов при обогащении углей на разрезе «Моховский»

3.3 Формирование геохимического состава техногенных месторождений полезных ископаемых при обогащении углей

Под техногенным месторождением полезных ископаемых понимается скопление минеральных веществ, образующихся в результате складирования отходов добычи полезных ископаемых (некондиционные руды, вскрышные и вмещающие породы), обогатительного (хвосты, шламы), металлургического (шлаки, золы, кеки), энергетического (золошлаковые от-

ходы) и других производств, качество и количество которых позволяют осуществить их добычу и переработку на рациональной экономической основе [137].

По нашему мнению, под техногенным месторождением полезных ископаемых следует понимать такое скопление минеральных сообществ, образующихся в результате складирования отходов добычи и переработки полезных ископаемых (некондиционные руды, вскрышные и вмещающие породы; хвосты и шламы обогатительного производства; шлаки, золы, кеки металлургического производства; золошлаковые отходы энергетического производства и т. п.), качество и количество которых позволяют осуществить их последующее промышленное освоение при условии экономической (экологической) целесообразности.

Различают следующие морфологические типы минеральных месторождений техногенного сырья: сухие отвалы, гидроотвалы, хвосто- и шламохранилища, комбинированные отвалы.

С целью наиболее полного извлечения различных полезных ископаемых при комплексном освоении угольных месторождений авторами предложен способ формирования техногенного месторождения полезных ископаемых с заданным геохимическим составом, определяющим основное направление его последующей разработки [97]. Данный способ ориентирован на применение в промышленно развитом регионе. Например, в Кемеровской области, где разработка угольных месторождений привела к накоплению различных отвалов от предприятий добычи, обогащения и сжигания углей. Все добываемые коксующиеся угли и более половины энергетических углей в настоящее время подвергаются обогащению на крупных обогатительных фабриках или установках. При этом более 13 % горной массы складированы в отвалах.

При обогащении углей выделяют угольный концентрат и образуются отходы обогащения, в том числе так называемые «хвосты», в которых иногда содержание ценных элементов-примесей близко к промышленному, т. е. экономически оправданному для переработки этих отходов обогащения с целью получения новых видов минерального сырья.

В угольных пластах одного месторождения марочный состав угля не

однороден, более того, один и тот же пласт в границах шахтного поля угледобывающего предприятия может содержать две и более марки угля. То же самое относится к содержанию ценных элементов-примесей в углях одной марки.

Идея формирования техногенного месторождения полезных ископаемых определенного геохимического состава состоит в том, чтобы организовать поставку на обогатительную фабрику углей не только по марочному составу, но и в зависимости от качественного состава и количественного содержания в них ценных элементов-примесей, а также с учетом возможных способов последующей разработки техногенного месторождения.

Например, на обогатительные фабрики (ОФ) необходимо поставлять угли разных марок, но на ОФ-1 следует поставлять угли этих марок с кондиционными содержаниями золота и платины, на ОФ-2 – циркония, гафния, РЗЭ; на ОФ-3 – сульфидов и т. д. При таком формировании поставок углей на обогатительные фабрики будет незначительно усложняться работа маркетинговой службы угольной отрасли, однако наряду с этим в хвостохранилищах обогатительных фабрик будет накапливаться учтенный, первично подготовленный материал для последующей промышленной переработки с целью получения ценных элементов. Таким образом, будут формироваться техногенные месторождения полезных ископаемых определенного геохимического состава.

4 Кузнецкие угли с кондиционными для промышленного извлечения содержаниями химических элементов

4.1 Выбор угольных пластов, перспективных для извлечения ценных компонентов из угольного сырья

Исследованы данные результатов изучения 1274 угольных, золошлаковых, углеобогатительных и других проб. В результате изучения комплекса элементов установлены содержания по ряду объектов, подлежащие дальнейшей количественной оценке по геолого-геохимическим, экономическим, экологическим показателям. Экология и экономика освоения и использования ресурсов твердого минерального топлива и, в первую очередь углей, становятся все более актуальными в связи с необходимостью выбора источников энергии, потреблением металлургического кокса, сжиганием ежегодно возрастающих объемов разнообразных по качественным показателям углей и другим причинам.

Расширение площадей угледобывающего комплекса привело к изъятию к 1991 году из общего земельного фонда в Кузбассе свыше 93,6 тыс. га земель, из которых более 53,9 тыс. га (57,6 %) были нарушены. Добыча и обогащение углей формируют ежегодный поток выбросов в атмосферу более 138 тыс. т, в их числе твердые пылевые загрязняющие отходы составляют более 45,1 тыс. т. Еще масштабнее усугубляется нагрузка на добывающие регионы в связи с концентрацией в них предприятий энергетической, металлургической, химической и других отраслей промышленности. Общий выход сухой золы по ТЭС Кемеровской области в 1990 году составил 2580 тыс. т (утилизировано 0,3 %), золошлаковых отходов – 2950 тыс. т (реализовано 15 %).

Вместе с тем, представление только о валовых показателях минеральных вредных выбросов не раскрывает полной картины засорения природной среды, в частности, химическими элементами и их соединениями. Выявление структурирования потоков рассеяния минеральных выбросов на атомарном и молекулярном уровнях позволит определить и решить важнейшие вопросы комплексного устранения вредных последствий техно-

генной аккумуляции и миграции токсичных элементов в геосферах. Дж. О. Приагу, Дж. М. Пацына на основе многолетних наблюдений рассчитали средние величины глобальных антропогенных потоков одиннадцати токсичных элементов, выбрасываемых при сжигании топлива, пирометаллургии и формирующихся за счет других источников. Установлено, что 9,3 % потока разносятся в атмосфере, 18,5 % – поступает в гидросферу, 72,2 % – поглощается почвами и наземной растительностью. Общая токсичность выделяемых в геосферы химических элементов по заключению упомянутых авторов превышает суммарную токсичность радиоактивных и органических загрязнений. Последнее, учитывая активную циркуляцию накапливающихся микроэлементов в природных средах по пищевым цепям, создает серьезную угрозу для здоровья человека и грядущих поколений [155].

Другой гранью затронутой проблемы является использование в экономике ряда ценных элементов и компонентов, накопленных углями в ходе геологической истории их формирования. Геохимия углей и вмещающих их пород является отображением процессов денудации древних горных сооружений, окружавших, например, современную территорию Кузбасса. Выявление направленных потоков древнего рассеяния элементов в угольной толще, возможно, даст основания для поисков повышенных концентраций таких характерных для кузнецких углей элементов, как цирконий, иттрий, редкоземельный комплекс и других.

Эта часть исследования выполнялась на базе заданий Целевой комплексной программы «Рациональное комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов в народном хозяйстве на 1987-1990 гг. и на период до 2000 года», утвержденной Госпланом СССР от 28.04.87 г. № 58 и приказом Министерства геологии СССР от 02.06.87 г. № 324. Постановлением Верховного Совета СССР от 27 ноября 1989 г. «О неотложных мерах экологического оздоровления страны» предусматривалось существенно расширить объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию экологически чистых малоотходных технологий и продукции с экологической паспортизацией всех действующих предприятий, экологически опасных объектов, а также отдельных территорий. В Постановлении Совета Министров СССР от 13.01.90 г. № 40 «О социально-экономическом развитии Кемеровской области в 1991 - 1996 годах» было

предусмотрено «обеспечить... разработку технологии извлечения редкоземельных компонентов из угля и золы от его сжигания», а также «организовать систематическое геолого-экономическое картирование Кузбасса и, в первую очередь, территорий крупных промышленных центров». Также эти задачи неоднократно ставились перед научным сообществом, но не выполнялись из-за отсутствия требуемого объемного финансирования.

В соответствии с задачами исследований выполнено обобщение полученных нами данных о геохимии кузнецких углей и отходов [86-91]. Сведения о содержаниях малых химических элементов в разрабатываемых пластах кузнецких углей и товарной продукции взяты из автоматизированного банка данных «Геохимия углей Кузбасса», который был создан нами в 1990 году и продолжает пополняться и совершенствоваться. Были исследованы:

- содержания химических элементов в угольных пластах по пластово-промышленному и пластово-дифференциальному опробованию угольной продукции действовавших разрезов и шахт, всего по 63 предприятиям, в том числе по 19 разрезам и 44 шахтам;

- содержания химических элементов отдельно в зольных и шлаковых отходах углесжигания на шести ТЭС; без технологического деления отходов – на одном предприятии;

- содержания «малых» химических элементов или элементов-примесей в продуктах обогащения ЦОФ «Березовская».

Оценка содержаний «малых» химических элементов была проведена в соответствии с действующей инструкцией [53] и на основе опыта исследований [49 - 51].

Обнаруженные нами аномалии содержаний урана в углях разреза «Итатский» (более 100 г/т) вызвали необходимость радиологического и дополнительного геохимического исследования как района п. Итат, так и поля вблизи расположенного разреза. По нашему предложению силами ВНИИХТ, ВНИПИПТ, СГГЛ ВНИГРИ уголь осуществлено предварительное обследование радиационной обстановки района п. Итат.

Примеси химических элементов в кузнецких углях достаточно подробно рассмотрены в опубликованных работах Б. Ф. Нифантова [142, 146], С. И. Арбузова [15] и других авторов (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Сравнительные данные о средних содержаниях (г/т) химических элементов в углях Кузбасса и в мире

Элемент	Содержание в кузнецких углях, г/т		По данным Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис [155, 156]
	в пластах угля	в товарном угле	
Li	20,9	18,93	14±1
Be	2,2	1,97	0,2±0,1
B	28,1	33,26	47±3
Sc	4,7	4,48	3,7±0,2
Ti	1504	1758	890±40
V	21,2	22,36	28±1
Cr	23,6	25,55	17±1
Mn	202,8	211,27	71±5
Co	7,8	6,81	6±0,2
Ni	15,4	15,13	17±1
Cu	12,6	13,58	16±1
Zn	39,0	30,04	28±2
Ga	5,2	6,71	6,0±0,2
Ge	1,7	1,68	2,4±0,2
As	78,6	55,03	9,0±0,7
Sr	297,4	317,74	100±0,7
Y	21,1	18,19	8,2±0,5
Zr	301,0	268,8	36±3
Nb	15,5	11,99	4±0,4
Mo	1,3	1,14	2,1±0,1
Ag	0,73	0,01	0,1±0,016
Sn	1,9	1,54	1,4±0,1
Ba	689,2	1066	150±10
La	21,6	15,31	11±1,0
Ce	30,2	31,12	23±1,0
Yb	1,9	1,35	1,0±0,06
W	1,4	-	0,99±0,11
Hg	0,23	0,13	0,10±0,01
Pb	9,5	8,69	9,0±0,7

Для оценки встречаемости элементов нами принята следующая шкала (%): 1. Высокая, 90-100; Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Ga, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Ba, La, Yb, Pb, Bi; 2. Повышенная, 75-90; Li, B, Ge, Sr; 3. Средняя, 40-75; Zn, Rb, Ag, Cs, Ce, Sm, Eu, Tb, Lu, Hf, Ta, Th, U; 4. Пониженная, 20-40; F, Cl, Hg. Возможно, пониженная встречаемость элементов связана с недостаточным массивом данных лабораторных определений; 5. Низкая, 10-20; Сурьма; 6. Спорадическая, меньше 10; золото, таллий.

По Кузнецкому бассейну рассчитаны средние содержания элементов по угольным пластовым и товарным пробам (см. табл. 4.1). Определены оценки уровней концентраций «малых» химических элементов относительно средних содержаний для углей бывшего СССР (табл. 4.2). Отметим, что аномальные концентрации выявлены для Р (11,27-13,02), Nb (9,99-10,03), La (10,21-11,01), Ta (11,85-11,75), соответственно, для пластовых и товарных проб. Высокофоновыми оказались Zr (5,38-4,74), Ba (7,10-6,70), Bi (6,30-6,05). Превышения средних содержаний над фоном в 3-5 раз выявлены для Li, Sr, Zr, Au (?). Недостаточен массив данных для Hg, U. Несомненно, эта шкала нуждается в дальнейшем уточнении, т. к. численная представительность массива данных по элементам неодинакова, выявление некоторых из них (например, золота, ртути, урана) сопряжено с методическими, лабораторными трудностями, высокими ценами на более надежные аналитические исследования. В целом, за исключением данных по As, Se, Ag, Cs, Au, Hg, U, уровни концентрации установлены достаточно достоверно. Таким образом, в кузнецких углях наиболее вероятным нам представляется обнаружение в повышенных концентрациях следующих комплексов элементов: 1. F, P, Cl, Sc, Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Cu; 2. Rb, Sr, Y, Zr, Nb. 3. Ba, La, редкоземельных элементов. 4. Гафния, тантала. 5. Bi, Th, U. В связи с нахождением высоких концентраций урана и тория может отмечаться несколько повышенное содержание радиогенного свинца.

В золошлаковых отходах (пробы 1062, 1063, 1064) по данным экспериментального сжигания на Кемеровской ГРЭС партии угля (пробы 1060, 1061), организованного нами в 1990 г., получены результаты, сведенные в таблицу 4.3. Их рассмотрение позволило сделать вывод о существенном накоплении в отходах сжигания, в среднем, – Li (в 3,17 раза), Sc (5,08), Ti (5,67), V (7,19), Cr (13,6), Mn (1,63), Co (5,39), Ni (5,47), Cu (2,8), Ga (1,79), Y (3,17), Nb (1,67), Mo (3,4), Cs (3,02), Ba (3,78), La (6,11), Ce (7,10), Sm (3,37), Eu (1,57), Tb (1,59), Yb (3,14), Lu (2,88), Hf (4,52), Pb (2,25); также существенно накапливаются P, Rb, Ta.

Отметим весьма высокий уровень концентрации хрома в высокодисперсных золоносах, где его осаждение в электрополе фильтра 1 ряда достигает 16, а в поле фильтра 2 ряда – 19,4.

Таблица 4.2 – Сравнение геохимических уровней концентраций «малых» химических элементов для кузнецких углей по осредненным данным товарных и пластово-промышленных проб (к данным по содержаниям элементов в каменных углях мира)

Элемент	Уровень концентрации		Характеристика уровня
	по товарным пробам углей	по пластовым пробам углей	
1	2	3	4
Li	1,4	1,5	фоновый
Be	1,0	1,1	фоновый
B	0,7	0,6	подфоновый
F	1,03	1,4	фоновый
P	11,3	13,0	аномальный
Cl	1,6	1,8	фоновый
Sc	1,2	1,3	фоновый
Ti	2,0	1,7	фоновый
V	0,8	0,8	подфоновый
Cr	1,5	1,4	фоновый
Mn	3,0	2,9	надфоновый
Co	1,1	1,3	фоновый
Ni	0,9	0,9	подфоновый
Cu	0,8	0,8	подфоновый
Zn	1,1	1,4	фоновый
Ga	1,1	0,9	подфоновый
Ge	0,7	0,7	подфоновый
As	6,1	8,7	надфоновый высокий
Se	0,1	0,1	подфоновый
Rb	1,8	2,8	надфоновый низкий
Sr	3,2	3,0	надфоновый низкий
Y	2,2	1,8	фоновый
Zr	7,5	8,4	надфоновый высокий
Nb	3,0	3,9	надфоновый средний
Mo	0,5	0,6	подфоновый
Ag	0,1	7,3	надфоновый высокий
Sn	1,1	0,6	подфоновый
Sb	0,4	1,7	фоновый
Cs	2,09	1,6	надфоновый
Ba	7,10	4,6	надфоновый средний
La	1,4	2,0	надфоновый
Yb	1,4	2,0	надфоновый
Hf	2,6	2,8	надфоновый
Ta	11,8	11,7	аномальный
Au	-	3,0	надфоновый
Hg	2,3	1,3	надфоновый
Tl	46,7	-	аномальный
Pb	1,0	1,1	фоновый

Окончание таблицы 4.2

1	2	3	4
Bi	1,4	1,7	надфоновый
Th	1,3	4,2	надфоновый средний
U	0,9	1,4	надфоновый

Таблица 4.3 – Распределение содержаний (г/т) элементов в исходном угле и продуктах его сжигания на Кемеровской ГРЭС

Номер пробы	Продукт	Li	Be	Sc	Ti	V	Cr	Mn
1060	уголь	20,0	2,0	4,6	700,0	20,0	25,0	350,0
1061	угольная пыль	20,0	2,0	3,1	700,0	18,0	10,0	210,0
1062	шлак	20,0	1,8	18,78	3800,0	120,0	94,0	980,0
1063	зола 1 ряд	100,0	1,5	19,56	3700,0	150,0	280,0	150,0
1064	зола 2 ряд	70,0	1,6	20,29	4400,0	140,0	340,0	240,0

Продолжение таблицы 4.3

Co	Ni	Cu	Ga	Sr	Y	Nb	Mo	Sn	Cs	Ba
5,2	7,5	20,0	7,0	250,0	15,0	10,0	1,0	2,0	1,7	1500,0
3,7	7,0	30,0	5,0	300,0	14,0	10,0	1,0			2000,0
19,9	45,0	50,0	8,2	200,0	54,0	10,0	4,8	2,0	6,1	4615,0
26,4	35,0	50,0	14,0	300,0	340,0	20,0	2,7	3,0	4,0	1080,0
25,7	39,0	110,0	10,0	300,0	50,0	20,0	2,7	3,0	5,3	920,0

Окончание таблицы 4.3

La	Ce	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Pb	Th	Na
15,5	31,0	3,87	1,0	0,76	2,2	1,0	1,46	15,0	4,8	1025,0
10,7	22,0	3,05	2,4	2,02	2,2	0,5	0,81	7,2	3,5	1057,0
91,0	182,9	11,37	2,5	3,14	7,9	1,46	4,61	26,0	18,6	4154,0
72,0	176,3	10,48	2,7	1,92	4,6	2,28	5,42	26,0	20,5	3172,0
77,0	204,9	13,15	2,8	1,56	8,2	2,75	5,43	23,0	22,6	4372,0

Примечание: зольные пробы 1063 и 1064, соответственно, отобраны с электрофильтров 1 и 2 ряда.

Обобщив ряд вычисленных коэффициентов накопления, заметим, что они получены для партии сжигаемого угля с постоянной зольностью, поэтому выделим комплексы элементов со следующими пределами коэффициента накопления КН: 1. Склонные к высокой концентрации в ЗШО ($КН \geq 6,0$) – V, Cr, La, Ce. 2. Склонные к повышенной концентрации в ЗШО ($6 \geq КН \geq 4$) – Sc, Ti, Co, Ni, Hf. 3. Склонные к заметной концентрации в ЗШО ($4 \geq КН \geq 2$) – Li, Cu, Y, Mo, Cs, Ba, Sm, Yb, Pb. 4. Склонные к накоплению в ЗШО ($2 \geq КН \geq 1$) – Mn, Ga, Nb, Eu, Tb.

Если принять во внимание, что среднее содержание хрома в кузнецких углях составляет 24-26 г/т, то средний поток токсичных соединений хрома на каждую тонну сжигаемого угля составит более 1400 г в пересчете на оксид хрома (Cr_2O_3). Из таблицы 4.3 следует, что повышенные концентрации 29 элементов часто встречаются в шлаках и золоносе, осаждаемом на электрофильтрах 1-2 рядов.

Отметим коэффициенты концентраций, вычисленные нами по сведениям Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис [155, 156] (средние выборочные данные по электрофильтрам), – Li (1,04), Sc (0,8), Ti (0,8), V(2,0), Cr(2,6), Mn(0,4), Co(0,7), Ni(0,4), Cu(0,7), Ga(0,3), Sr(0,4), Y(0,7), Nb(0,9), Mo(0,2), Sn(0,5), Cs(0,6), Ba(1,0), La(1,0), Ce(1,4), Sm(0,8), Eu(1,1), Tb(0,8), Yb(0,9), Lu(1,9), Hf(0,6), Pb(0,4), Th(0,9). Из 27 перечисленных элементов в золе электрофильтров оказались с подфоновыми концентрациями – 19, т. е. 70,4 %. В шлаках, по ККЗУ, марганец обнаружен в концентрации в 2,3 выше, чем в золошлаках мира. Определения ККУ марганца по пластовым и товарным пробам углей отвечают квалификации его уровня как надфонового (3,0) (см. табл. 4.2). Таким образом, весь марганец (203-211 г/т) при сжигании концентрируется в шлаке. Дальнейшие расчеты выбросов элементов с продуктами сжигания позволят суммарно и поэлементно оценить экологическую нагрузку на регион от неорганического вещества сжигаемых углей.

Аналогично приведем вероятный поток (выход) токсичных и ценных элементов при сжигании кузнецких углей в среднем по ЗШО по вычисленным коэффициентам накопления (табл. 4.4).

Полученные данные, в основном, хорошо согласуются со средними содержаниями элементов в золах каменных углей бывшего СССР [62]. Существенные различия получены в сторону увеличения ожидаемых средних содержаний для Ti (в 1,85 раза), Cr (3,43), Ba (3,62), Ce (1,24-2,48); а также ниже среднефоновых для Cu (0,38), Ga (0,21), Mo (0,13), Yb (0,55), Pb (0,10).

В 1991 году были отобраны и исследованы спектральными и ИНАА методами пробы шлаков, золы, отходов углеобогащения (табл. 4.5). Результаты спектрального анализа этих проб, выполненные во ВНИИХТ, приведены в таблицах 4.6. и 4.7.

Таблица 4.4 – Расчет прогнозируемого накопления элементов в золошлаковых отходах кузнецких углей (г/т)

Элемент	Пределы содержаний в кузнецких углях	Коэффициент накопления	Средний выход
Li	19-20	3,17	61,8
Sc	4,5-4,8	5,08	23,6
Ti	1500-1800	5,67	9072
V	21-22	7,19	154,6
Cr	24-26	13,6	340
Mn	180-210	1,63	310
Co	6,7-6,8	5,39	36,4
Ni	13,7-15,1	5,47	76,6
Cu	12,9-13,6	2,8	37,2
Ga	6,1-6,7	1,79	11,5
Y	18-19	3,17	53,9
Nb	12	1,67	20,0
Mo	1,13-1,14	3,4	3,9
Ba	1005-1066	3,78	3914
La	15,3-16,5	6,11	97,2
Ce	31-39	7,10	248,5
Yb	1,4	3,14	4,4
Pb	8,6-8,7	2,25	19,6

Таблица 4.5 – Перечень проб ТЭС и ЦОФ «Березовская» Кемеровской области, отобранных и изученных в 1991 году

№ п/п	№ пробы	Предприятие	Место отбора	Материал пробы
1.	1265	Кемеровская ГРЭС	отвал	шлак
2.	1266	Новокемеровская ТЭЦ	отвал №2	шлак
3.	1279	Беловская ГРЭС	золоотвал	зола
4.	1280		шлакоотвал	шлак
5.	1281	Южно-Кузбасская ГРЭС	золоотвал	зола
6.	1283		цех	шлак
7.	1284	Западно-Сибирская ТЭЦ	цех	зола
8.	1290		цех	шлак
9.	1285	Томь-Усинская ГРЭС	отвал	шлак
10.	1289		отвал	зола
11.	1286	Кузнецкая ТЭЦ	отвал	шлак
12.	1291		отвал	зола
13.	1269	ЦОФ «Березовская»	отходы обогащения	порода

Таблица 4.6 – Результаты спектрального анализа отходов ТЭС Кемеровской области, шлаки, содержания, г/т

Элемент	Номер пробы							Сред.	Кларк ЗУ	ККЗУ
	1265	1266	1280	1283	1290	1285	1286			
Be	7	3	4,5	10	3	6	6	5,6	16	0,35
Sc	8	3,5	10	10	3	4	6	6,4	17	0,38
Ti	3000	3250	3000	3000	2500	2000	2500	2750	3600	0,76
V	70	80	100	100	100	80	80	87,1	150	0,58
Cr	500	450	500	300	800	150	250	421,4	78	5,4
Mn	800	700	250	400	800	400	300	521,4	485	1,08
Co	4	6	6	6	6	1	4	4,71	27	0,17
Ni	10	10	10	10	10	4	10	9,1	70	0,13
Cu	30	30	30	40	40	20	20	30	64	0,47
Zn	175	200	150	150	200	*	150	171	125	1,37
Ga	10	10	10	10	10	10	15	10,7	43	0,25
Y	35	20	30	60	10	20	30	29,3	42	0,7
Zr	125	125	175	200	100	40	150	130,7	210	0,62
Nb	*	20	10	30	*	*	10	17,5	8	2,2
Mo	3,5	4	4	1	4	*	1	2,92	19	0,15
Ag	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,031	1,7	0,018
Sn	1,5	2	2	1	4	*	1	1,92	6,0	0,32
Ba	350	300	500	400	400	200	200	335,7	910	0,37
La	55	35	45	60	30	30	30	40,7	41,5	0,98
Pb	15	20	25	20	10	20	20	18,6	110	0,17

Примечание: * - элемент не обнаружен.

Рассмотрение полученных результатов свидетельствует о том, что Be, Sc, Ti, V, Co, Ni, Cu, Ga, Y, Zr, Mo, Ag, Sn, Ba, Pb в ЗШО Кузбасских ТЭС присутствуют в концентрациях ниже кларковых. Этот вывод не отрицает возможности обнаружения в ЗШО в дальнейшем более высоких содержания по отдельным объектам или конъюнктурным и технологическим условиям сжигания углей на ТЭС. Следует обратить внимание на содержания выше кларка элементов в золах сжигания каменных углей.

В общем, из указанного примера видно, что Cr, Mn, Zn, Nb, La накоплены в ЗШО кузнецких ТЭС. Из них, в первую очередь, отметим продукты сжигания Южно-Кузбасской ГРЭС, обогащенные Cr, Mn, Y, Nb, La. Здесь особо выделяется группа элементов (итрий, ниобий, лантан), связанная с РЗЭ. Поэтому ЗШО Южно-Кузбасской ГРЭС, прежде отходов других ТЭС, должны быть вторично и в полном объеме опробованы на комплекс ценных элементов. Повышенные содержания ванадия, хрома и марганца, ко-

торые являются токсичными [4], могут вносить негативный вклад в экологию геосфер и влиять на развитие заболеваемости населения при воздействии пылегазовыми продуктами сжигания. Отметим, что содержания хрома в продуктах сжигания кузнецких ТЭС, в основном, в 1,74-9,30 раз выше кларка.

Таблица 4.7 – Результаты спектрального анализа отходов ТЭС Кемеровской области, золы, содержания, г/т

Элемент	Номер пробы				Сред.	Кларк ЗУ	ККЗУ
	1279	1281	1284	1289			
Be	7	10	8	7	8,0	16	0,5
Sc	8	10	8	10	9,0	17	0,53
Ti	3000	2000	3000	3500	2875	3600	0,8
V	90	40	80	90	75,0	150	0,5
Cr	250	400	150	520	330	78	4,2
Mn	150	600	400	175	331	485	0,68
Co	4	4	4	5	4,2	27	0,16
Ni	10	10	10	10	10	70	0,14
Cu	30	30	30	30	30	64	0,47
Zn	250	100	200	200	188	125	1,5
Ga	10	10	10	10	10	43	0,23
Y	30	60	30	30	37,5	42	0,89
Zr	100	100	200	150	138	210	0,65
Nb	20	*	*	20	20	8	2,5
Mo	3	1	4	2,5	2,6	19	0,14
Ag	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	1,7	0,02
Sn	1	1	2	1,5	1,4	6,0	0,23
Ba	300	400	400	300	350	910	0,38
La	45	80	60	55	60	41,5	1,44
Pb	15	20	30	20	21,2	110	0,19

Примечание: * - элемент не обнаружен.

Сравнение концентраций элементов в золах (fly ash) и шлаках (bottom ash) показало, что для 13 элементов нет различий процессов накопления-рассеяния между золами и шлаками, так как их концентрации отвечают отношениям 0,9-1,1. Этими элементами являются Ti, V, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Zr, Nb, Mo, Ag, Ba, Pb. Различными показателями накопления в золе обладают Be, Sc (по 1,4), Y (1,3), La (1,5); преимущественно накапливаются в шлаках Cr (1,3), Mn (1,6), Sn (1,4). Отходы углеобогащения рассмотрены ниже на примере ЦОФ «Сибирь» по литологической фракции пород с зольностью 74,7 % (табл. 4.8).

Таблица 4.8 – Сравнение геохимических показателей продуктов обогащения ЦОФ «Сибирь» с кларками глинистых пород

	Li	Be	P	Cl	Sc	Ti	V	Cr	Mn
ЦОФ «Сибирь», г/т	46,7	4,6	1200	444	12,7	2500	94	59,8	616
КГП, г/т	66	3,0	770	180	1,3	4600	130	90	850
ККГП	0,71	1,53	1,56	2,47	0,98	0,54	0,72	0,66	0,72

Продолжение таблицы 4.8

	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Se	Rb	Sr	Y	Zr
ЦОФ «Сибирь», г/т	12,8	23	21	62	18,8	0,36	77,5	291	26	360
КГП, г/т	19	68	45	95	19	0,6	140	300	26	16
ККГП	0,67	0,34	0,47	0,65	0,99	0,6	0,55	0,97	1,0	22,5

Продолжение таблицы 4.8

	Nb	Mo	Ag	Cs	Ba	La	Ce	Eu	Tb	Yb
ЦОФ «Сибирь», г/т	34	1,2	0,05	9	1300	48,8	53,5	2,2	3	2,6
КГП, г/т	11,0	2,6	0,07	5,0	580	59	92	1,0	0,9	2,6
ККГП	3,1	0,46	0,7	1,8	2,24	0,83	0,58	2,2	3,33	1,0

Окончание таблицы 4.8

	Hf	Pb	Th
ЦОФ «Сибирь», г/т	2,4	21	8,7
КГП, г/т	2,8	20	11
ККГП	0,86	1,0	0,79

При показателях ККГП для большинства рассмотренных элементов, близких к кларку или ниже его, подчеркнем, что Be, P, Cl, Zr, Nb, Cs, Ba, Eu, Tb, Pb выявлены в содержаниях выше кларковых. Наиболее вероятно, что в потоке породных отходов ЦОФ «Сибирь» следует ожидать появление обломочного материала с резко повышенными концентрациями элементов, в т. ч. ценных Zr, Nb; а также ряда токсичных и радиоактивных. Выше кларка здесь обнаружены: токсичный Be; P, Cl – кислотообразователи; Zr (22,5), Nb, Eu, Tb – ценные элементы. Высокая насыщенность породной составляющей отходов ЦОФ «Сибирь» вызывает необходимость поисков в породных отвалах фабрики минералов с цирконием. Возможно обнаружение циркона ($ZrSiO_4$); соединений циркония с Ge, Cl, P, As, F, S,

O, S, Si (ZrSi), V. Подфоновые и фоновые концентрации элементов в породных продуктах обогащения условно подразделены на три группы с ККГП от 0,3 до 0,7; 0,7-0,9; 0,9-1,0. В первую вошли Ti, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Rb, Mo, Ag, Ce, Th; во вторую – V, Mn, La, Hf, Pb; в третью – Sc, Ga, Sr, Y, Yb, Pb. Породные отходы обогащения углей на ЦОФ «Березовская» представлены данными по одной пробе 1269. Эти данные могут очень существенно повлиять на выбор сырья из отходов обогащения для производства строительных материалов. Следует более обдуманно подбирать такое сырье. В частности, имеется необходимость внедрять систему радиологического контроля потока отходов углеобогащения, направляемых на переработку в строительные материалы или другие сферы потребления.

По этим же причинам, т. е. возможности «всплесков» содержания токсичных элементов и природных радиоизотопов в промежуточных продуктах обогащения, следует осуществлять мониторинговый контроль за содержанием комплекса этих элементов в сжигаемых отходах, их золах, как на ТЭС и котельных, так и в топливе, направляемом для отопления индивидуального жилья, железнодорожных вагонов и других объектов. В противном случае можно ожидать дальнейшего рассеяния на территории Кузбасса и России радионуклидных и токсичных отходов с накоплением их в жилых массивах городов и поселков, как например, в р. п. Итат вдоль железных дорог. Возможность выявления сложившейся там ситуации нами была прогнозирована и подтверждена исследованиями.

Данные об отходах сжигания кузнецких углей приведены также в отчете НИР «Исследование теплотехнических свойств углей Кузбасса, сжигаемых и планируемых к сжиганию на ТЭС РЭУ «Кузбассэнерго», подготовленном ответственными исполнителями В. В. Новицким, В. В. Боголюбовым, М. И. Мартыновой – Уральский филиал ВТИ, Челябинск, 1991 г. В отчете, в частности, приведены результаты компонентного исследования шлаков и золы уноса на SiO_2 , TiO_2 , CaO , MgO , MnO , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$, K_2O , Na_2O , P_2O_5 . Нам представляется целесообразным рассмотреть здесь путем сравнения с составом нефелиновых руд возможность переработки сырья ЗШО в качестве альтернативного источника глинозема. Данные о химическом составе золоотходов и нефелиновых руд приведены в таблице 4.9.

Из химической характеристики золы и руд ясно, что золы углей, добываемых на разрезах «Ольжерасский», «Бачатский», «Листвянский», по содержанию в них глинозема не уступают и даже превосходят нефелиновые руды. В целом для кузнецких золошлаков по сравнению с нефелиновыми рудами отметим избыток двуокиси кремнезема, двуокиси титана, оксидов железа, магния, а также незначительный дефицит глинозема, оксида кальция и щелочных металлов. Учитывая изложенное, считаем, что выбранное из золоотходов сырье может быть источником для производства глинозема и цемента при соответствующей адаптации имеющихся технологий переработки золоотходов.

Следует учесть, что содержания оксидов железа, кальция и магния в золах довольно резко изменяются в зависимости от минералогического состава включений и пород, добываемых вместе с углем. Так, по изученным товарным угольным пробам разрезов ОАО УК «Кузбассразрезуголь», содержания (%) оксида трехвалентного железа в ЗШМ находятся в пределах 18-25,6; оксида кальция – 1,0-22,0; оксида магния – 0,5-6,3; при этом содержания кремнезема и глинозема остаются достаточно стабильными. Очевидно, что при повышенных содержаниях в отходах оксида трехвалентного железа (5-25 %) его следует отделить и использовать как добавку к железорудному сырью или для других применений. Кроме того, с высокожелезистыми компонентами золы одновременно могут быть выделены фракции с повышенными содержаниями Li, Sc, Ti, V, Cr, Co, Cu, Zn, Ga, Rb, Nb, Ce, Sm, Yb, Lu, Hf, Th, U. Такая зависимость увеличения содержания МХЭ выявлена нами экспериментально в продуктах сжигания углей на Кемеровской ГРЭС. При разделении золы на магнитном индукционно-роликовом лабораторном сепараторе обнаружено, что в слабоманитных полях (ток 0,5-1,0 А) выделяются V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, La, Ce (при токе до 4,0 А), Sm, Yb, Lu, Pb; уран – в более сильных полях при токах 2,0-10,0 А. Выделение таких зависимостей требуется подтвердить на новом массиве золопроб с содержаниями железа в пределах 3-20 %.

Таблица 4.9 – Данные о химическом составе золы кузнецких углей и нефелиновых руд

Наименование добывающего предприятия, ТЭС, место отбора проб руды	Марка, класс угля, состав руды	A ^d , %	S ^d , %	Компонент золы, %										
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Р-3 «Моховский»	ДР	16,0	0,5	62,2	0,9	21,2	6,1	–	сл.	1,6	3,3	1,1	2,5	0,7
	ГР	17,0	0,6	58,0	0,9	20,7	6,3	–	сл.	2,9	6,1	2,0	2,5	0,6
	ГР	19,0	0,5	62,5	0,9	24,7	4,5	–	сл.	1,4	2,5	0,8	1,9	0,8
Р-3 «Ольжерасский»	СС2С	24,0	0,4	58,6	0,5	30,0	4,1	–	сл.	0,8	2,7	1,0	1,9	0,4
	СР	10,0	0,4	54,2	0,8	36,5	3,8	–	сл.	0,7	1,1	0,4	1,4	1,1
Р-3 «Листвянский»	ТРОК-1	22,0	0,4	56,0	1,0	28,5	1,8	–	сл.	1,9	8,6	0,3	1,9	сл.
Тувинская АО, Дахунурская интрузия, уртит	Нефелин (85,4), канкринит (4,7), титанистый ферроавгит (3,6), щелочная роговая обманка (5,4), кальцит (0,7), титаномагнетит (0,2), %	–	–	39,5	0,3	28,5	1,6	2,2	0,05	0,7	7,7	13,4	3,5	–
	Нефелин	–	–	41,0	–	33,8	0,1	–	–	0,07	2,8	15,6	4,5	–

Примечание: анализы нефелиновой руды взяты из книги «Химические анализы изверженных горных пород и породобра-зующих минералов», из-во «Наука», М.1964, составитель В. Ф. Морковкина.

Рассмотренные особенности распределения химических элементов в кузнецких углях и продуктах их переработки позволяют положительно оценивать возможности переработки ЗШО и других угольных отходов с получением экологически чистых строительных материалов, комплекса ценных элементов, новых видов минерального сырья. В 2005-2006 годах появились данные о внедрении печи академика В. Ф. Шабанова для переработки, в том числе и ЗШО, с получением пористых силикатных материалов и слитков металлов, пригодных для дальнейшего металлургического передела. Представляется реальным использование расплавленного шлака (например, на Кемеровской ГРЭС) для переработки с получением аналогичной продукции.

4.2 Перспективы разработки и внедрения новых технологий использования минерального сырья из отходов потребления углей

Проблема переработки угольных отходов становится более актуальной по мере того, как становится все яснее, что жидкое и газообразное природное топливо не может в полной мере заменить твердое, а использование ядерного топлива чревато пока трагическими экологическими и социальными опасностями и последствиями. Это подтвердилось опытом эксплуатации Чернобыльской и других АЭС.

Уголь будет и в последующие годы активно потребляться как энергоноситель и сырье для производства кокса и других продуктов. В мировой практике усиливается тенденция к более глубокому изучению технологических, качественных свойств энергетических и других углей, угольных отходов в целях более рационального использования и управления системой техносферы «уголь-отходы».

Европейская экономическая комиссия Организации объединенных наций выпустила в свет документ «Международная система кодификации углей среднего и высокого рангов», Женева, Нью-Йорк, 1988 г., для регламентации качественных показателей в мировой торговле углем, его использования на ТЭС и коксохимическими заводами. В этом документе рекомендуется, в частности, в практике мировой торговли углем сообщать покупателям угольной продукции содержания не только токсичной серы,

но также ряда других элементов – фтора, хлора, других ЭП. Видимо, последующими мерами ужесточения контроля за качественными показателями углей может стать их ранжирование по экологическим свойствам в технологиях переработки. А это значит, придется создавать и соответственно использовать в маркетинге банки геохимических данных, характеризующих ископаемые угли из различных месторождений.

Министерство геологии бывшего СССР организовало ряд Всесоюзных совещаний по проблеме малых элементов в углях. На совещании «Малые элементы ископаемых углей. Геология, экономика, технология», проведенном в г. Москве в марте 1991 г., были заслушаны сообщения о возможностях технологического извлечения МХЭ из угольного сырья и отходов. В частности, институтами ВНИИХТ и ИГЕМ были внесены предложения по извлечению из ЗШО углей ценных редких и редкоземельных элементов.

В Кузбассе основным видом топлива для ТЭС являются кузнецкие угли, отходы их обогащения. Используется на ТЭС также мазут в качестве растопочного материала, на поддержание горения при сжигании твердого топлива с низким качеством. На всех ТЭС работают системы гидрозолоудаления совместные, гидравлические с замкнутым оборотным циклом. На Кемеровской ГРЭС и Западно-Сибирской ТЭЦ осуществляется сухое золоудаление через электрофильтры. На остальных ТЭС – мокрое золоудаление с помощью скрубберов. Реализация ЗШО на электростанциях осуществляется: отбором сухой золы от котлоагрегатов с частичной отгрузкой ее потребителям; переработкой шлака в строительный песок и его реализацией; продажей смесей ЗШО с отработавших золошлакоотвалов; изготовлением шлакоблоков.

Движение произведенных отходов сжигания характеризуется следующими показателями. Общий выход сухой золы за 1990 г. составил 2680 тыс. т, использовано 7,7 тыс. т или 0,3 %. Общий выход шлака за тот же период составил 325,5 тыс. т, использовано 130 тыс. т, т. е. 40 %. Цех по переработке шлака в песок построен в 1984 году на Томь-Усинской ГРЭС с проектной годовой мощностью 100 тыс. т. Весь шлак этой ГРЭС перерабатывался в песок. Разработан проект цеха по переработке шлака в песок

для Новокемеровской ТЭЦ на 70 тыс. т в год. Было решено создать подобные цехи для Кемеровской и Беловской ГРЭС.

Золошлаковая смесь отгружалась с золоотвалов Томь-Усинской, Беловской, Кемеровской ГРЭС, Новокемеровской ТЭЦ. При общем выходе ЗШО за 1990 г. 2950 тыс. т ее реализация составила 442,3 тыс. т или 15 %. В тот же период самими ТЭС отсыпано 180 тыс. т ЗШО для наращивания дамб золоотвалов.

Для увеличения объема потребления золошлаковых отходов непосредственно из золоотвалов предусматривается использование золошлаковой смеси в монолитном домостроении на Томь-Усинской и Кемеровской ГРЭС. Использование ЗШО дополнительно характеризуется сведениями, приведенными в таблицах 4.10 и 4.11.

Таблица 4.10 – Реализация кузнецких золошлаковых отходов

Год	Общий выход ЗШО, тыс. т	Объем использования ЗШО, тыс. т	Реализация, %
1986	2448	220,6	9,8
1987	3101	335,0	10,8
1988	2801	454,8	16,2
1989	3006	551,2	18,3
1990	2950	580	19,7

Таблица 4.11 – Выпуск шлакоблоков на тепловых станциях в Кузбассе

Предприятие	Объем выпуска шлакоблоков, тыс. шт./год	Использование ЗШО, тыс. т/год
Томь-Усинская ГРЭС	80,0	1,6
Беловская ГРЭС	250,0	5,0
Кемеровская ТЭЦ	900	1,8
Ново-Кемеровская ТЭЦ	75,0	1,5
Северные электрические сети	50,0	0,9
Итого	545,0	10,8

Принимая во внимание рост динамики потребления отходов от сжигания углей, нам не удалось найти систематических сведений об организации мониторингового контроля за качеством этого сырья или продукции по экологическим и экономическим показателям, в т. ч. уровню радиационной опасности. Размещение отходов ТЭС на территории Кузбасса при-

ведено в таблице 4.12. Накопленные массы отходов Кузбасских ТЭС ежегодно пополняются. Их экологический вклад в ухудшение состояния геосфер полностью не изучен. Освобождение занятых под отвалы земель с последующей рекультивацией стало бы не только экологическим, но и социальным благом. Площади отвалов отходов сжигания углей и их массы к 2006 году возросли на 20-30 %.

Таблица 4.12 – Размещение и запасы отходов в золоотвалах Кемеровской области

Показатель	Всего по АО «Кузбассэнерго»	Тепловые электростанции				
		Томь-Усинская ГРЭС	Беловская ГРЭС	Ю.К. ГРЭС	ЗСТЭЦ	Куз. ТЭЦ
Площадь золоотвалов, га, в т.ч.:	1125,3					
действующих	966,3	402	122	135	-	61
отработавших	159,0	24	50	-	-	-
Наличие золошлаковых отходов на золоотвалах, тыс. т, в т.ч.:	70113,3	18631,8	17690,5	11682,0	5673,1	3146,1
действующих	49413,3	8631,8	11690,5	11682,0	5673,1	3146,1
отработавших	20700,0	10000,0	6000,0	-	хранится на отвале ЗСМК	-

Нами предлагается следующий комплекс технологий для переработки отвалов с отходами углесжигания, обогащения.

1. Комплекс предварительного обогащения (РРС), разработанный в г. Красноярске (автор А. В. Корончевский, Красноярский филиал Советско-Американского предприятия ТЕКОМ), адаптированный к переработке угольных отходов, позволяет сортировать обломочный материал отходов, а также породугольных смесей, по их физическим свойствам, отражающим химический состав сырья; выделять из потока отходов (углей) материал с повышенным содержанием природных радиоизотопов, редкоземельных элементов, железа, других элементов и минералов с радионуклидами.

2. Комплекс технологий, разработанных ВНИИХТ и другими институтами, для получения на основе ЗШО цемента, глинозема, редкоземельных, благородных металлов.

3. Комплекс технологий по утилизации и использованию очищенных отходов для производства экологически чистых строительных материалов, сырья для производства композитных материалов и изделий.

Очевидно, что реализация предлагаемого пакета связанных технологий может быть осуществлена на базе создания в Кузбассе соответствующей отрасли промышленности.

Имеются устные сведения о том, что в процессе предобогащения получают (по хакасским углям) повышение концентраций МХЭ в 10 раз. При среднем содержании в золе, например, скандия 15-20 г/т в таком случае его концентрация возрастет до 200 г/т, железа – от 3-5 % до 30-50 %.

Рекомендации по дальнейшему изучению добываемых и перерабатываемых в Кемеровской области углей нами ранее были отражены в проекте программы «Мониторинг малых химических элементов в цепи – кузнецкие угли, продукты их техногенной переработки – для оценки минерально-сырьевой базы, разработки методов промышленного извлечения ценных компонентов из угольного техногенного сырья и снижения потока в геосферы экологически опасных минеральных загрязнений». В условиях складывающихся рыночных отношений, усиливающегося дефицита государственных средств, выделяемых на фундаментальную и прикладную науку, разобщенности интересов добывающих и перерабатывающих уголь предприятий, инфляции, финансового кризиса и других хорошо известных явлений начала XXI века предложения должны быть не только рекомендательного характера, а иметь все признаки товара, который будет приобретаться, участвовать в создании материальных ценностей. Поэтому в этих и последующих рекомендациях не будут раскрыты «know how» или их детали, которые составляют предмет купли-продажи, т. е. являются товаром. Раскрытие коммерческих секретов не выгодно, они могут быть тенденциозно, неправильно использованы или истолкованы во вред осуществления планируемого бизнеса в будущем, настоящем.

Тем не менее, нами приведен целесообразный, по нашему мнению,

пакет рекомендаций. Их можно сгруппировать по объединяющим признакам: поисковые, мониторинговые, технологические, организационные, коммерческие.

Поисковые – относятся ко всем геохимически слабоизученным минеральным объектам, освоение которых осуществляется или намечается. На поисковой стадии все объекты (товарные угли, пласты углей, их внутренние включения, кровля, почва; золы, шлаки, все продукты обогащения, другие отходы) должны быть полнее изучены как минимум количественными спектральными, другими аналитическими методами с преобладанием технологий INAA, ICP.

Мониторинговый контроль по геохимическим данным должен осуществляться на тех объектах, которые выбрасывают в окружающую среду комплексы ценных или токсичных элементов (компонентов). Есть определенные трудности в том, что не имеется нормативных документов, регламентирующих уровни геохимических выбросов или неоправданного извлечения из отходов ценных компонентов. Даже по радиологической обстановке такие документы носят характер временных (см., например, «Ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего облучения. Временные критерии для принятия решений к организации контроля», этот документ был утвержден главным Государственным санитарным врачом РСФСР Беляевым Е. Н., 05.12. 1990 г., № 43-10/796).

Сами добывающие и перерабатывающие предприятия пока не заинтересованы в осуществлении этого мониторингового контроля, т. к. нет выгодного для предприятия механизма, в т. ч. финансового и правового, регламентации выбросов как токсичных, так и ценных компонентов. Наверное, администрации территорий, добывающих, сжигающих, перерабатывающих угли, должны регламентировать и контролировать уровни вредных потоков минеральных выбросов в экосфере в целях охраны здоровья населения. Как уже указывалось, в Кемеровской области выявлен пример радиационной опасности для населения от природного источника – углей Итатского разреза, содержащих уран.

Есть основания полагать, что в ходе сжигания углей формируются явно опасные концентрации ванадия, хрома, ртути, других элементов и со-

единений. Эту проблему необходимо решать вместе с учеными медиками, биологами под эгидой природоохранных ведомств за счет госбюджетных средств. Пока в Кемеровской области нет достаточного внимания к существу освещенных вопросов, нет согласованных организационных решений и действий, зато есть примеры замалчивания и «лобового» отрицания проявлений экологической опасности, связанной с добычей, потреблением, переработкой кузнецких углей.

По нашему мнению, мониторинг по всем выявленным нами токсичным элементам, прежде всего, необходимо осуществить на ТЭС, металлургических заводах, обогатительных предприятиях, котельных, где вместе с углем сжигается мазут, а это приводит, нередко, к массивному выбросу пентоксида ванадия, содержащегося в отходах «мазутных» и угольных котельных. Требуется также специализированный пересмотр понятия «токсичный химический элемент», т. к. вреден, как правило, не сам элемент, а его соединения, комплексы соединений на органических носителях, обладающих эффектами опасного синергизма. Нам представляется, что пока недостаточно еще разработаны фундаментальные основы мониторингового контроля, позволившего бы осуществлять слежение за движением вредных элементов в атмосфере, биосфере, почвах, гидросфере, а также в биологической цепи питания человека. В частности, подсыпка радиоактивной золы итатских углей на огороды местным населением не вина, а беда населения, которому не было своевременно объяснено вредоносное влияние использования золы углей, содержащих уран. Здесь причина – дефицит экологически более чистого топлива.

Мониторинговый контроль путем частичной сертификации угольной продукции, осуществляемый учеными ИУУ СО РАН (г. Кемерово), представляется нам необходимой, но не достаточной мерой. Этот контроль не охватывает всю выпускаемую угольную продукцию Кузбасса. Есть также замечания к результатам этого контроля по технологическим, методическим, аналитическим аспектам. В итоге следует отметить, что в Кузбассе необходимо было бы организовать единую службу контроля за геохимическими показателями минеральной продукции и отходов, оснащенную высокопроизводительным оборудованием по подготовке проб и аналитических работ. Эта служба не должна быть замкнута ведомственной. Ее науч-

но-методический центр должен состоять из высококвалифицированных специалистов-геохимиков, углехимиков, обогатителей, технологов, экономистов, программистов. Осуществление мониторингового контроля требует существенных затрат на опробование, обработку данных, приобретение парка оборудования, создание постоянного действующей специализированной геологической экспедиции.

Технологические рекомендации по извлечению из сырьевых отходов ценных и других элементов базируются на результатах поискового, мониторингового этапов изучения. Прежде всего, следует разобраться с понятием «кондиций» на ценные элементы или другие выгодно извлекаемые компоненты. Это понятие не может отражать нормы инструкций прошлых лет. Кондиция, т. е. содержание элементов, компонентов, выгодно извлекаемых из сырья, определяется конъюнктурой спроса на внутреннем и мировом рынках. Есть здесь и проблема политического характера. К вывозу были запрещены редкоземельная продукция, сырье, содержащее драгоценные металлы и др. Объясняется такое положение в ведомствах «интересами государства» или «стратегическими». Преодоление запретов может существенно активизировать рынок редких металлов в стране.

Нам представляется рациональным предложить новую технологическую схему организации переработки минеральных отходов, в т. ч. угольных (рис. 4.1). В процессе предобогащения следует все сырье отходов подвергнуть радиологическому контролю, чтобы не допустить в строительные материалы даже «случайных» порций с повышенным содержанием радиоактивных изотопов. Аналогичный контроль должен в обязательном порядке осуществляться для промпродуктов обогащения, направляемых на отопление индивидуального жилья, железнодорожных вагонов, других объектов. Заметим, что промпродукты обогащения могут быть более насыщены токсичными химическими элементами по сравнению с рядовыми, сортовыми углями.

Технологическая исследовательская оценка пригодности углей и отходов для дальнейшей переработки, в зависимости от целей, может составлять несколько десятков тысяч рублей за одну пробу. Изучение качественных характеристик отходов должно быть целенаправленным и может осуществляться в научных институтах, центрах РАН. Координация этих работ

должна финансироваться с участием администрации территории, с максимальным привлечением проживающих в регионе, работающих ученых и специалистов. Коммерческие рекомендации следует здесь рассмотреть в зависимости от интересов партнеров рынка. Продавец (т. е. Кузбасс, угольные сбытовые, посреднические организации) заинтересован в повышенной цене на уголь.

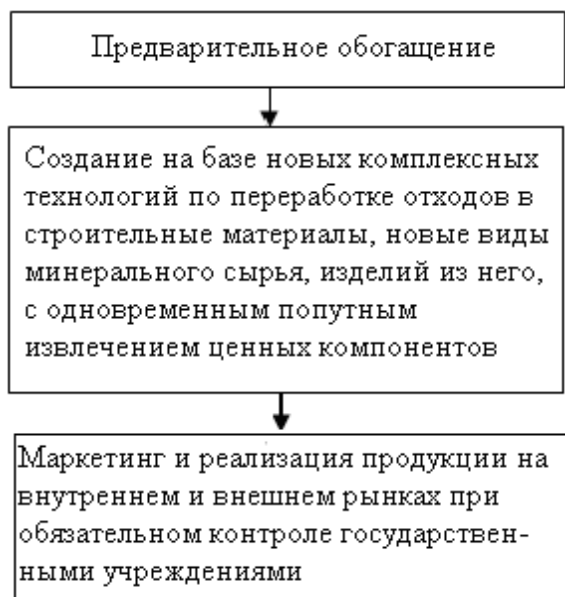


Рисунок 4.1 – Схема новой организации переработки, сбыта ценных минеральных отходов и продукции кузнецких углей

Среди разнообразных способов обоснования цены может быть предложен маркетинговый показатель по экологическим свойствам кузнецких углей на основе содержащихся в них экологически вредных примесей. За более экологически чистый уголь – более высокую цену. Такой принцип вполне оправдан. Он пригоден как для внутренней, так и для внешней торговли. Покупатель (скорее всего зарубежный) будет заинтересован заплатить более высокую цену за уголь (отходы), если в них содержатся промышленные количества ценных компонентов. В этом случае объективная сертификация продукции необходима. Столь же необходимо организовать страховочные мероприятия от возможного загрязнения продукции во время ее транспортировки и на перевалочных площадках, в портах. Содержание ценных компонентов в продукции и углях гарантируется потребителю контрактом на поставку, и поставщик будет нести за это моральную и ма-

териальную ответственность. Выгоды от рационального маркетинга очевидны. Они определяются суммой ценных качеств углей, которые следует выявить и сертифицировать. Деловая заинтересованность и активность всегда приносит доход, прибыль. Ориентировочно отметим, что каждая тонна кузнецкого угля за счет рационального потребления, в т. ч. предлагаемого нами маркетинга, может принести не менее 20-30 рублей дополнительного дохода и прибыли, т. е. свыше 5,4 млрд. руб. в год при объеме переработки 180-200 млн. т углей и минеральных отходов.

В аспектах выполненных нами научно-исследовательских работ отметим наиболее существенные направления будущей работы по мониторингу содержаний химических элементов.

1. В природоохранных и экономических целях требуется в ближайшем будущем разработать и внедрить:

- методы автоматизированного распределения углей и отходов по токсичным примесям, осуществить геохимическое, экологическое ранжирование размещения добывающей промышленности на территории Кузбасса, использовать эту шкалу для маркетинга минеральной продукции;

- выявить комплекс всех ценных элементов в добываемых кузнецких углях, рудах: в пластах, рудных телах, товарной продукции, отходах. Разработать принципы и методы оценки содержаний химических элементов в минеральной продукции и отходах в целях повышения эффективности их промышленного использования с применением шкал.

2. Продолжить изучение углей и отходов ТЭС и других предприятий, обратив внимание на то, что уже на первоначальном этапе исследований в угольной продукции, например, разрезов «Томусинский», «Красногорский», «Черниговский», «Кедровский», «Калтанский», «Бачатский», им. Вахрушева, «Талдинский», «Итатский» и ряда шахт обнаружены ценные, токсичные, радиоактивные примеси [86-88]. Их повышенные концентрации выявлены в отходах углесжигания Кемеровской, Беловской ГРЭС, Западно-Сибирской, Кузнецкой ТЭЦ, Южно-Кузбасской, Томь-Усинской ГРЭС и других предприятий.

3. Продолжить геохимические и технологические исследования отходов переработки, добычи кузнецких углей и рудного сырья в целях внедрения комплекса предлагаемых технологических направлений извлечения ценных и утилизации токсичных компонентов.

5 Геохимический состав продуктов сжигания кузнецких углей

5.1 Промышленные содержания химических элементов в золошлаковом материале кузнецких углей

Выявлен геохимически связанный комплекс химических элементов, включающий Li, Be, Mg, Al, Sc, Ti, Fe, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, ПГМ, РЗЭ, Hf, Ta, Au, Bi, Th, U, всего – 41, в том числе ПГМ – 6 (Ru, Rh, Pd, Re, Ir, Pt); La, лантаноиды – Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, всего 13. Близкими по геохимическим связям являются Mg-Al; Sc-Ti; Fe; Ga, Ge, Rb, Sr; Y, Zr, Nb; Lu-Hf-Ta; ПГМ-Ag-Au; Y-La-РЗЭ; Au-Bi, Th-U. Выделенные нами геохимические диады, триады, тетрады, другие численно (до 30 единиц) комплексы составляют последовательные цепочки элементов 2-6 периодов в таблице Д. И. Менделеева. Они сочетаются в минералогическом поле, включающем интерметаллические соединения (Ag, Au; Pt, Fe; Au, Bi) и другие. Далее рассмотрим и более сложные связи элементов в пластах углей и пород, кристаллических структурах минералов [85].

Литий. Из массива 339 проб выявлено два примера высоких содержаний лития в кемеровской и промежуточной свитах. Первый из них входит в промышленную кондицию ($>0,1\%$) и размещен в пласте IXa в поле разреза «Калтанский» Кондомского ГЭР. Литий там сопровождается промышленными содержаниями Al (16,7 %), соответственно, – Al_2O_3 (31,5 %). Там же промышленные и высокие содержания Sc (155,0 г/т), Ga (104,0 г/т), Zr, Th. Во втором примере в поле разреза «Междуреченский» литий содержится в пласте XXXI промежуточной свиты в количестве 0,06 %, что составляет 0,6 к минимуму промышленного содержания. В комплексе извлекаемых содержаний элементов в связи с литием присутствуют Ti, Fe, Au (1,1 г/т). Присутствие железа особенно благоприятно при реализации извлечения концентрата ЗШМ отходов магнитной сепарацией. Литий в промышленных содержаниях составляет от общей суммы 339 проб в кузнецком ЗШМ 0,6 %. Концентрирование лития в осадочном процессе возможно в форме карбоната или в глинистых минералах в катионной части

листовых силикатов вместе с s-элементами. Литий отмечен в качестве сырьевого источника в каменном угле; в нетрадиционных типах минерального сырья [132]; других сырьевых источниках [131].

Бериллий. Обнаружен при промышленном содержании (0,06 %) в одном случае в пласте Мощном ишановской свиты на шахте «Суртаиха» Прокопьевско-Киселевского ГЭР. Бериллий находится в сопровождении рудообразующих элементов – Al, Ti, Ga и других. Экзогенная природа концентраций бериллия отмечена Н. А. Григорьевым [37]. В. И. Данчев и соавторы указали на присутствие бериллия в третичных угленосных отложениях и сидеритовых конкрециях [40], что имеет прагматическое значение при поисках бериллия в угленосных районах и месторождениях углей Кузбасса. Роль гуминовых и фульвовых кислот была рассмотрена Б. Ф. Мицкевичем и соавторами в аспектах влияния на миграцию бериллия при гипергенезе [82]. Экологическая роль бериллия в углях отражена Л. Я. Кизильштейном [56]; о совместном нахождении Be, B, V в золах каменных углей сообщалось в 1937 году В. А. Назаренко [84]. Последнее сообщение для нас интересно тем, что заметка в трудах Биохимической лаборатории АН СССР указывает на геохимическую природу закономерных связей Li, Be, B, C; B, Si, V из 2, 3 периодов таблицы Д. И. Менделеева.

Магний. Этот элемент вместе с натрием входит в диаду s-элементов и сопровождается в геохимических ассоциациях минеральных представителей пентадой p-элементов: Al, Si, P, S, Cl. В зольном содержимом кузнецких углей 7 элементов образуют устойчивую ассоциацию, включающую K, Ca; Ti, Fe. Эти элементы в оксидных компонентах составляют около 100 % зольной части каменных углей. Связь Al – Si – C с другими элементами свойственна для многих представителей эндогенных и экзогенных пород и метаморфического их комплекса, а также рудных, жильных, зальбандовых составов образований рудоносных комплексов; метасоматитов, магматических или других пород [92]. Рудные содержания магния встречаются в золах углей, по-видимому, весьма редко и преимущественно в низкозольных углях. В материалах наших исследований имеется один пример рудного содержания магния (14,1 %) в золе пласта Наддягилевского ($A^d = 7,1 \%$) казанково-маркинской свиты в шахтном поле ш. «Колмогоровская» Ле-

нинского ГЭР. В этом случае магний находится в сочетании с промышленными количествами Ti, Fe, Ga, Sr.

Алюминий. В ЗШМ кузнецких углей промышленные содержания алюминия выявлены в 12 объектах (7,8 % от 154 проб) в ленинской, кемеровской, ишановской свитах. Их оксидная составляющая по Al_2O_3 находится в пределах 30,6-37,4 %, что достаточно для технологий извлечения и производства ряда товарных продуктов, включая глинозем для металлургии, в том числе с извлечением попутно редких элементов. По нашим данным промышленные содержания алюминия составляют геохимические комплексы, в том числе в рудообразующих количествах с Mg, Sc, Ti, Fe, Ga, Y, Zr, Nb, Ag, La и РЗЭ, Hf, Ta, ПГМ и Au, Th, U.

Скандий. Промышленные содержания этого элемента в трех шахтопластах (0,6 %) кемеровской свиты обнаружены с содержаниями 101,1-155,0 г/т. Они найдены в пластах: IXa на разрезе «Калтанский»; VI Внутренний (проба 970) на ш. «Красногорская»; Подволковский II на разрезе «Черниговец». Пласт Подволковский II характеризуется содержанием Sc (101,1 г/т) и сопровождением рудных количеств: Ti (4,1%); Ga (132,4 г/т). Пласт VI Внутренний: Sc (111,0 г/т), имеет сопутствующий Ti (3,3 %). Пласт IXa: Sc (155,0 г/т) сопровождается Li (1042,0 г/т); Al (16,7 %); Ti (4,2 %); Ga (104,0 г/т); Zr (1,6 %); Th (102,0 г/т). О связях РЗЭ и скандия в углях Кузбасса сообщили С. И. Арбузов и соавторы [15]. В первой половине XX века о геохимии скандия стало известно из сообщения В. М. Гольдшмидта, К. Петерса [33]. О характере распределения скандия в угле сообщил С. А. Гордон и соавторы [34]. В. И. Кузьмин с соавторами предложили солянокислую схему извлечения скандия из зол сжигания углей Бородинского угольного разреза [72]. Вопросы технологий извлечения скандия также разрешены в работах А. Д. Михнева и соавторов [81]. Т. Ю. Усова дополнила новыми сведениями данные о минерально-сырьевой базе скандия [144]. В. В. Щербина в 1960 году впервые подвел итоги изучения скандия и типах его месторождений [153].

Титан. Массив проб с промышленными содержаниями титана включает 24 шахтопласта – 22,4 %. В их числе в тайлуганской свите – 1; в ленинской – 2; в казанково-маркинской – 2; в кемеровской – 17; в промежу-

точной – 2. Максимум содержания титана – в пласте Сычевском III (7,08 %) на разрезе «Моховском» в Ленинском ГЭР. Там же Al (13,2 %). Кемеровская свита по 17 пластоучасткам имеет содержания титана, в среднем, %, и в пределах – 2,7 (1,08-4,8).

Кларк титана в золе каменных углей – $0,53 \pm 0,02$ % [156], что отвечает показателю концентрации 2,0 для Кузбасса. Кларк в 5,1 раза ниже среднего содержания для ЗШМ кемеровской свиты. Пласт Подволковский II, P_{1kr}, с 4,8 % титана обладает рудными содержаниями Ga, Nb, Ag. Пласт кемеровский, имея 1,3 % титана в рудных кондициях, содержит Ga, Y (611,7 г/т). Пласт Волковский с 1,7 % титана отличается по высокому содержанию Ga. На разрезе «Бачатский» II Прокопьевский пласт (P_{1kr}) выделяется содержаниями Ti (2,68 %), Fe (13 %), La (1161,0 г/т), а также Ga, Rb, Sr, Y, Nb, Hf, Ta, U. В поле ш. «Красногорская» с Ti (3,3 %) ассоциируют Sc (111,0 г/т), Ga, Sr, Y, Nb. Среди изученных пластов поля ш. «Красный Углекоп» вместе с Ti (1,8 %) находятся Al (16,0 %), Ga, Sr (0,9 %), Y, Zr, Nb, Hf, Th, U. По пласту Лутугинскому Ti (3,7 %) сопровождается Ga, Rb, Sr (2,4 %), Y, Zr, Nb, Hf, Au (2,47 г/т), Th, U. Пласт IX разреза «Калтанский» вместе с Ti (2,2 %) содержит рудные количества Al, Ga, Rb, Y, Zr, Nb, U. Пласт IXа там же при содержащемся количестве Ti (4,2 %) характеризуется набором рудного материала по элементам: Li (1042,0 г/т), Al (16,7 %), Sc (155,0 г/т), Ga (104,0 г/т), Rb, Y, Zr (1,6 %), Nb, Hf, Th (102,0 г/т).

Разрез «Сибиргинский» по пласту IV-V заметно выделяется по содержаниям рудного вещества по 12 элементам: Li, Al, Ti (2,98 %), Ga (97,6 г/т), Ge (36,6 г/т), Rb, Y (406,5 г/т), Zr (0,7 %), Nb, Hf, Th, U (117,0 г/т). В ассоциации элементов характерно присутствие фосфора – 6,3 %, что близко к уровню минимальной кондиции (7,0 %) и превышает зольный кларк в 42,0 раза, установленный для золы каменных углей [156]. Аномалии содержания фосфора в углях – надежный поисковый признак, который используют при геолого-поисковых работах на РЗЭ, U, Y и другие элементы. В болотных железных рудах фосфор находится в парагенезисе с Fe, Al, Ca, Mg и другими минеральными композициями. Соединения фосфора весьма широко представлены в природе. Они входят во все эндогенные породы, образуют новые соединения в осадочных процессах при накоплении веще-

ства, присутствуют в осадках озерно-болотных фаций. Наиболее известный минерал $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в группе вивианита по сведениям Дж. Д. Дэна и соавторов (1954) сопровождается арсенатами Co, Ni, Zn [47, с. 33], которые, вполне вероятно, содержатся и в углях. Фосфаты в минеральных видах тесно связаны с арсенатами и другими анионными группами в 237 известных минералах [47]. В катионном содержимом безводных кислых и нормальных фосфатов типов $\text{AB}(\text{XO}_4)_2$, $\text{A}_3\text{B}_2(\text{XO}_4)_2$, $\text{A}_3(\text{XO}_4)_2$, $\text{A}(\text{XO}_4)$ присутствуют Li, Be, Na, Al, Ca, Mn, Fe, Y, La, Ce, Dy в сочетаниях: Li-Fe; Li-Mn; Na-Ca-Fe; Na-Ca-Mn; Na-Mn; Na-Fe-Mn; Na-Be; Fe-Mn-Ca; Y; Ce-La-Dy; Al [47, с. 31-32]. Уранил-катиону в водных фосфатах (10) и арсенате (1) сопутствуют Ca, Fe, Al, Cu, Ba, Mg [47, с. 38]. Приведенные примеры из монографии «Система минералогии» Дж. Д. Дэна и соавторов [46, 47] дают ключ к обобщению данных минералогии, кристаллохимии, геохимии объектов в осадочных угленосных формациях. И. Нарай-Сабо определил в структурном типе H_5 (апатита) 18 соединений, в том числе 10 минералов, представленных фосфатами, арсенатами, ванадатами, манганатами, хроматами, силикатами [85, с. 360]. Их катионная часть включает Ca, Sr, Ba, Cd, Pb, известные в качестве распространенных в кузнецких углях и углях мира. И. Нарай-Сабо в монографии «Неорганическая кристаллохимия» приводит модели семи структурных построений из сочетаний P-O; P-O-H с отрицательными зарядами (анионы); дифосфид (3^-); гипофосфат (4^-); пирофосфат (2^-); гексафосфит (12^-); изогипофосфат (3^-); дифосфат (4^-); трифосфат (5^-) [85, с. 353]. Несомненно, дальнейшие исследования минеральных представителей в углях помогут найти фосфор в перечисленном ряду анионных групп, расширив при этом минералогическую базу состава пластов углей и углесодержащих пород.

В углях Кузбасса фосфор представлен в повышенных содержаниях [38]. Наша оценка его присутствия, в среднем по 151 пробе углей – 1,6 ККУ и 2,4 ККЗУ. Пласт III разреза «Томусинский» обладает рудным содержанием по 12 элементам: Ti (2,5 %), Ga (86,5 г/т), Rb, Y, Zr (0,75 %), Nb, Ag, Hf, Au (0,22 г/т), Th, U. Пласт XVII в поле шахты им. Шевякова содержит Ti (1,6 %), Ga, Y (327,9 г/т), Zr (0,49 %), Nb (327,9 г/т), Hf (61,5 г/т). Из рассмотренных примеров кондиционных для извлечения элементов кеме-

ровской свиты Кузбасса видно, что обобщенная модель ассоциативного ряда элементов включает: Sc, Ti, Fe, Ga, Ge, Y, Zr, Nb, Ag, La (PЗЭ), Hf, Ta, Au, Bi, Th, U. В эту же ассоциацию, возможно, будет включена группа платиноидов. Недостаточная информативность по объектам кемеровской свиты не позволяет нам включить ПГМ в рамки ассоциаций рудного вещества по всей свите. Отметим наиболее близкие геохимические связи. Диалды: Mg – Al; Sc – Ti; Ag – Au; Pt – Au; триады: Sc – Ti – Fe; Pd – Ag – Pt; Lu – Hf – Ta; тетрады: Rb – Sr – Y – Zr. Менее сопоставимыми связями отличаются: Li – Be; Rb – Sr; Cs – Ba; Sc – Fe; Ti – Fe; Ga – Ge; Y – Zr – Nb; La – PЗЭ; Bi – Th – U. Современные данные о титане в золах углей [156] свидетельствуют о том, что подавляющая часть рудных содержаний (1,5-6,8 %) образовалась при сорбции веществом угля растворенных соединений титана, транспортированных органическими кислотами [25]. В эксперименте с ниобатом свинца и титанатом стронция установлено, что эти соединения образуют твердый раствор. Возможно, при кристаллизационной осадочной дифференциации Ti – Sr – Nb – Pb образуют часть геохимической ассоциации с синтезом рудоносной составляющей.

Железо. Рудные, в среднем, содержания железа (12,7-21,6 %) выявлены в пяти свитах: P₂ln; P₂us; P₂km; P₁kr; P₁rg; всего – в 24 пластах (22,4 %). Максимальное количество пластоучатков с рудными содержаниями железа отмечено для кемеровской (10) и промежуточной (8) свит. В кемеровской свите извлекаемые содержания железа находятся в пределах 12,6-36,7 при среднем – 18,3 %. Извлечение железа в составе ферромагнитных минералов традиционно осуществимо магнитными сепараторами. Железо в сидерите технологически доокисляется водяным паром [77] с образованием молекулы магнетита и затем извлекается в концентрат обычным или ВГМ-сепаратором. Таким образом, нами предлагается извлекать железо из сыпучих отвалов обогащения углей и руд. Ресурсы железа в них и в отходах сжигания углей в Кузбассе составляют не менее 180,0 млн. т.

Галлий и германий. Они (Ga, Ge) в группе р-элементов тесно связаны с Al, Si. Эти редкие элементы встречаются в пластах кузнецких углей в рудных содержаниях в диадном сочетании или порознь. Галлий найден в пластах P₂km; P₁kr; P₁rg; свит. Сумма его пластоучастков – 13 или 5,0 % от

численной суммы выявленных рудоносных объектов. Наибольшее наполнение галлием 10 угольных пластов установлено для кемеровской свиты.

В опубликованной литературе нами найдены лишь четыре источника по галлию в углях. Т. Ф. Борисова и соавторы сообщили о распределении галлия в угольном веществе [23]. С. И. Бык доложил о распределении галлия в углях продуктивных горизонтов Львовско-Волынского бассейна [26]. Б. Ф. Нифантовым рассмотрена роль галлия в кузнецких углях и угольной продукции [142, 146]. По нашим данным промышленные содержания галлия отмечены в 13 объектах добычи кузнецких углей. Пределы их содержаний: 31,9-158,6; среднее – 120,6 г/т. Отношение к кларку по золе каменных углей – 3,4. По средним показателям для трех свит ($Ga > 100,0$ г/т) этот элемент представляет будущую минерально-сырьевую базу кузнецких углей, так как его минимальная кондиция для бедных руд (50-70 г/т), бокситы [1].

Германий является редким элементом в кузнецких углях. Его потенциал оценен по 3 участкам ленинской (1) и кемеровской (2) свит. Среднее содержание германия выше рудной кондиции составляет 181,2 г/т; в гематит-магнетитовых рудах Казахстана промышленное содержание германия в магнетите составляет 70,0 г/т [1]. Перспектива переработки сырья древних болотных руд, залегающих в разрабатываемых частях угольных пластов, для извлечения германия представляется нам реальной. Магнетит, извлеченный магнитной сепарацией из промышленных отходов, также может стать источником для выделения германия. Изученные нами 25 опубликованных сведений по германию в углях и осадочных породах свидетельствуют о том, что угольное сырье, добываемое в различных странах мира, содержит германий, в том числе в промышленных количествах. Первые данные о редких элементах [33] и германии в каменных углях опубликованы в России В. М. Гольдшмидтом, К. Петерсом в 1938 году; позднее было установлено и наличие германия в углях и продуктах их переработки. Вопросы классификации и распределения германия в углях являются важнейшими для решения задач поискового характера; они рассмотрены в большинстве источников, например, к классификации по степени германиеносности углей внес предложения Ю. И. Горький [36]; о закономерности

стях накопления германия в окисленных углях сообщено в 1965 году С. А. Гордоном и соавторами [34]. Геохимические связи элементов-спутников важны не только с позиций парагенетического нахождения элементов в природе. Они раскрывают, нередко, химизм процессов движения и осаждения вещества с образованием комплексных рудных месторождений. Результаты исследования U–Ge связей в ансамбле с Mo, Be, Zn, P, As и другими элементами известны из публикации В. И. Данчева и соавторов [40].

Географическое размещение германия в месторождениях мира, различных странах, пластах углей в конкретных геологических условиях позволяет понять историю рудоносности и внести тем самым вклад в научные металлогенические (минералогенические) направления.

Комплекс исследований для оценки угольных месторождений с редкими элементами и германием позволяет избрать рациональные пути освоения комплексных (по набору химических элементов) месторождений. Раскрытие такой тематики служит интересам повышения эффективности хозяйственной деятельности в горнодобывающем и перерабатывающем минеральное сырье бизнесе. Дополнительные данные в этих аспектах содержатся в работах Ф. Я. Сапрыкина, В. В. Богданова [123], В. В. Середина [125]. Комплексность добычи и переработки полезных ископаемых – магистральный путь решения экономических и природоохранных проблем, что, в частности, отражено в работах ученых и специалистов М. В. Ториковой [138], К. Н. Трубецкого [140], А. Г. Тулеева [141].

Рубидий и стронций. Рубидий нами определен в углях Кузбасса в 12 пластоучастках ленинской, казанково-маркинской, кемеровской, промежуточной свитах. Его среднее из промышленных содержание равно 810,4 г/т (0,08 %), что превосходит в 7,4 раза зольный кларк каменных углей мира. Пласт III на ш. «Завьяловская» с высоким содержанием рубидия имеет промышленные содержания Ti, Ga, Y, Nb, Au, Bi, U. В Болдыревском (P₂km) пласте Rb (894,7 г/т), Tb (109,2 г/т) сопутствуют в промышленных кондициях Ti, Sr, Y, Zr, Hf, Th, U. Пласт 29 (P₂ km) с Rb (558,0 г/т) обладает промышленными количествами Ti, Fe, Ga, Sr, Y, Nb, Hf, U. Пласт V-бис на шахте «Северный Кандыш» (P₁kr) вместе с Rb (761,9 г/т) имеет в промышленных количествах Al, Fe, Ga, Y, Nb, Hf, Th. Сонахождение оксидов

$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 35,4 + 24,5 = 59,9 \%)$ благоприятно для организации извлечения металлов из этого пласта. В пласте VI (P_{1kr}) содержание Rb составляет 865,0 г/т, что в сочетании промышленных количеств Al, Ti, Ga, Y, Zr, Nb указывает на целесообразность организации на разрезе «Калтанский» производства угольного металлоконцентрата. Рывтенный пласт ($P_2 km$) шахты «Карагайлинская» содержит в виде рудных скоплений в ЗШМ частей пласта Rb (940,6 г/т), а также Ti, Ga, Y, Nb, Hf, Th, U. Пласт 32 ($P_2 ln$) имеет содержание Rb (1200,0 г/т) и сопровождается промышленными количествами Ti, Fe, Ga, Sr, Y, Hf, Th, U в пределах поля ш. «Байдаевская». Шахта «Шушталепская» по пласту XXIX (P_{1pr}) имеет в рудной составляющей ЗШМ галлий и рубидий (406,5 г/т). По разрезу «Междуреченский» XXXII пласт (P_{1pr}), содержащий Rb (842,9 г/т), содержит Hf (100,0 г/т), U (218,6 г/т), а также Ti, Fe, Ga, Sr, Y, Zr Nb, Th. Набор элементов, их значительная ценность, присутствие кондиционного количества La, Ce ($628,6 + 914,3 = 1542,9$ г/т), несомненно, позволяет рекомендовать этот объект для дальнейшего исследования в качестве продуцента угольного концентрата металлов. Группа пластов поля шахты им. Шевякова III, V, VIII, IX, XI, XVII (все P_{1kr}) характеризуется промышленными содержаниями ниобия, тантала и других ценных элементов. Это явилось достаточно убедительной совокупностью фактов для публикации статей Б. Ф. Нифантовым, В.П. Потаповым, А. Н. Заостровским [93, 94]. Рубидий в пласте V присутствует в количестве 714,0 г/т; там же найдено золото – 0,26 г/т. Отмеченная группа пластов рекомендована нами для дальнейшего опоскования в Томь-Усинском ГЭР [88, 146, 142].

Стронций в ленинской, казанково-маркинской, кемеровской свитах содержится в пределах промышленных для ЗШМ количествах 1,0-1,4 %. Размещение стронция в шести пластоучастках максимально для кемеровской свиты. Пласт Грамотеинский II ($P_2 ln$) содержит Sr (1,0 %) в сопровождении Y (583,3 г/т), Zr (1,4 %), La (635,8 г/т), Au (1,17 г/т) и других элементов по шахте «Инская». Пласт Надягилевский ($P_2 km$), поле ш. «Колмогоровская», характеризуется необычным набором промышленно-ценных элементов: Sr (1,2 %), Mg (14,1 %), Ti (2,8 %), Fe (15,5 %); в этом же пласте обнаружено золото (1,32 г/т) на поле ш. «Инская». Пласт Внутренний (?)

кемеровской свиты по полю разреза им. Вахрушева содержит Sr (0,79 %). Пласт Горелый (P_{1kr}) с содержанием Sr (1,03 %) размещен в горном отводе ш. «Северный Маганак». Там же отмечены элементы, имеющие промышленно-кондиционные содержания Ti, Fe, Ga, Y, Nb, Hf. По полю ш. «Красный углекоп» пласт III Внутренний (P_{1kr}) содержит Sr (0,9 %) в сопровождении Al (16,0 %), Ti (1,8 %) и других. Там же пласт Лутугинский (P_{1kr}) имеет Sr (2,4 %), Au (2,47 г/т), Ti (3,7 %), Ga (123,5 г/т) и другие элементы.

Наибольшее содержание Sr (3,2 %) найдено на шахте «Кыргайская Южная» в Ерунаковском ГЭР (наименование пласта и его возраст не выяснены). В том же пласте присутствие Se (199,9 г/т) так же максимально для ЗШМ кузнецких углей. Выяснено, что стронций входит в состав твердого раствора (Pb Nb O₆ – Sr Ti O₃), по экспериментальным данным Э. Ж. Фрейденфельда, Е. Н. Биндар [145]. Другие геохимические данные для стронция подробно изложены Я. Э. Юдовичем, М. П. Кетрис [156]. Приведем наши данные из БД «Геохимия углей Кузбасса» по стронцию. Количество проб – 496; количество элементопределений – 994; встречаемость – 92,5 %; пределы содержаний в угле – 0,318-3000,0 г/т; среднее содержание в угле – 297,439 г/т; средняя зольность на элемент – 13,13 %; среднее содержание в ЗШМ – 2265,34 г/т; SrO – 2678,989 г/т; отношение к угольному кларку – 3,0 (кларки по мировым данным взяты из монографии Я. Э. Юдовича, М.П. Кетрис [156]); отношение к зольному кларку – 3,1; отношение к кларку глинистых пород – 7,55; плотность углей – 1,44 г/см³; средняя мощность угольных пластов – 4,12 м. Из перечисленных данных видно, что кузнецкие угли в большей мере насыщены стронцием, чем угли мира.

Максимальное содержание стронция (расчет наш) в кузнецких ЗШМ составляет 2,28 %, что на 78,8 % отвечает расчетному максимуму. Заметим, что содержание рубидия в кузнецких углях по ЗШМ и отношению к кларку (2,46) также превосходит данные по золе углей мира [156]. В этих наблюдениях видится повышенная роль s-элементов (Rb, Sr) в геохимическом поле кузнецких углей.

Иттрий, цирконий, ниобий. Эта триада элементов в рудном содержимом сосредоточена в пластах углей ленинской и кемеровской свит по 19 пластоучасткам. В их числе: Y (P_{2ln} – 1); (P_{2us} – 5); Zr (P_{2ln} – 1); (P_{1kr} – 7);

Nb (P_1 кг – 5). Среднее содержание рудного иттрия в кузнецких углях составляет 598,4 г/т. Мировые кларки иттрия различны для бурых и каменных углей и их теоретических зольных остатков: для бурых углей – 44 ± 3 г/т, для каменных – 57 ± 2 г/т [156]. Кларк иттрия по земной коре – 11,0 г/т [1]. Среднее содержание иттрия в кузнецких углях по 517 пробам ЗШМ (встречаемость 96,5 %) равно 159,86 г/т при средней зольности проб – 13,2 %. Оценка уровня рудообразующих концентраций для кузнецких углей, по нашим данным, составляет $598,4/159,86=3,7$. Этот показатель может быть равен 9,4 по подсчету для одной пробы с 1500 г/т иттрия или выше. По сведениям Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис в золе углей мира не обнаружено содержания иттрия свыше 1000,0 г/т [156].

Требования промышленности к качеству минерального сырья (иттрий и лантаноиды) опубликованы в 1993 году Н. А. Солодовым и соавторами [133]. Гидрогеохимия агрессивных шахтных вод изучена на примере Кизеловского каменноугольного бассейна М. В. Ториковой. Автор предлагает рассматривать эти воды в качестве источника для извлечения Se, Y, PЗЭ [138]. Роль иттрия, лантана, PЗЭ в пластово-инфильтрационном рудообразующем процессе выявил Е. М. Шмариович с соавторами [149], что следует учитывать в истории формирования угольных пластов. G. M. Eskenazy, E. L. Mincheva отметили геохимическую роль иттрия в углях Болгарии [164, 165]. В Ленинском ГЭР, по ш. «Инская», в пласте Грамотеинском II высокое содержание (в рудных кондициях) иттрия связано с такими же (кондиционными) в ряду: Sr, Y (583,3 г/т), Zr, La, Au. Эта геохимическая ассоциация 5 - 6 периодов в таблице Д. И. Менделеева часто представлена в рудных пластоучастках Rb, Sr, Ce, Ba, Y, Zr, Nb; La, Hf, Ta, Au (2,7 % от массива участков с рудообразующими элементами). Пласт III (P_1 кг), ш. «Завьяловская» в Завьяловском ГЭР, при перечисленном наборе элементов имеет в этом списке, кроме иттрия (172,1 г/т), золото и висмут (58, 99 г/т). Пласт IV-V в поле разреза «Сибиргинский» содержит Y (406,5 г/т) с высокими показателями присутствующих Ti, Ga, Ge, Zr, U. Содержание фосфора здесь же отмечено нами как близкое к промышленной кондиции – 6,3 %. Его концентрация относительно золы каменных углей мира здесь составляет 42,0 раза, а относительно кузнецких ЗШМ – 17,2 по 153 анализам

151 пробы. Роль высоких концентраций фосфора в фосфоритах, костном детрите рыб девонского-неогенового возраста заключается в сорбционной способности фосфатов кальция сорбировать РЗЭ, Y, U [1] с последовательным изоморфным замещением Са-иона на РЗЭ (La, Y) и последних на уран. Наиболее высокое содержание 1500,0 г/т иттрия обнаружено нами в пласте VI Внутренний (ЗШМ) на ш. «Тайбинская» Прокопьевско-Киселевского района (кемеровская свита). Рудообразующими спутниками там являются Ti, Ga, Sr, Nb. Пласт изучен недостаточно. Пласт XVII поля шахты им. Шевякова имеет 327,9 г/т иттрия в комплексе с Ti, Ga, Zr, Nb, Hf. Углистая порода ($A^d=79,3$ %) содержит Rb (97,2 г/т) в количестве, превышающем промышленную кондицию (прослой 0,1 м).

Цирконий выявлен в восьми пластах как промышленно ценный элемент в двух свитах: ленинской (1,4 % – 1), кемеровской (0,9 % – 7). Цирконий – ведущий из редких металлов, выделяемых в промышленной группе элементов, в кузнецких углях с предельными концентрациями и содержаниями 0,3-0,5 %. В этой группе по 46 пробам среднее содержание циркония – 0,87 %. Группа проб (1,0-3,0 % Zr) включает 9 проб и характеризуется 1,7 % среднего содержания. По кузнецким углям нами изучено 511 проб с цирконием, с 95,3 % встречаемостью, при 982 элементопределениях. Пределы его присутствия в пробах углей 0,946-7000,0 г/т, в среднем – 300,97 г/т, что выше кларка для каменных углей – 36 ± 3 г/т [156] в 8,4 раза. При средней зольности кузнецких углей с цирконием $A^d=13,23$ %, средний показатель по этому элементу для ЗШМ равен 0,23 %, т. е. в 9,9 раза выше соответствующего кларка. Предел аномальности по Zr кузнецких углей отвечает отношению максимума содержания в ЗШМ и кларка ($29629,63/230=128,8$). Цирконий добывается, главным образом, из современных или древних россыпей; главный рудообразующий минерал – циркон ($ZrSiO_4$). На восточном побережье Австралии разрабатываются пляжные пески с содержанием 5-9 % тяжелой фракции в шлихах, содержащих до 50 % циркона [129]. Следовательно, промышленная концентрация циркона должна быть не менее 2,5-4,5 %. В пересчете на металл это количество составит 1,2-2,24 % (расчет наш). Если считать, что полученные данные содержаний в указанных пределах отвечают кондициям на извлечение, то

нами найдены пластоучастки с востребованными промышленностью условиями содержаний в ЗШМ кузнецких углей.

Пласт Грамотеинский II содержит в ЗШМ 1,4 % Zr и 8 элементов с промышленно-ценными показателями содержаний (P_2 In). Среди них отметим 31,5 % Al_2O_3 . Пласт IXa на разрезе «Калтанский» выделен по 1,6 % Zr в сопровождении 10 элементов с промышленными содержаниями. Пласт III (P_1 kr) на разрезе «Сибиргинский», наряду с 0,5 % Zr, имеет в списке 9 ценных элементов. Здесь важно отметить 35 % Al_2O_3 ; 2,3 % Ti; 0,25 г/т Au; 33,8 г/т Ag. Значение титана, если он входит в ильменит, заключается в очевидной рекомендации использовать ВГМ-сепарацию для отделения магнитной и парамагнитной фракции концентрата. Возможно, она будет составлять не менее 50,0 %. Тогда в другой фракции содержания элементов возрастут в 2,0 раза. Последнее особенно важно для глинозема, так как его содержание достигнет 70,0 %. Аналогичное заключение нами отнесено и к пласту IV-V (P_1 kr) того же разреза. Из 12 элементов с промышленно пригодными показателями отметим 2,98 % Ti; 36,6 г/т Ge; 0,7 % Zr; 117,0 г/т U. Пласт II (P_1 kr) на разрезе «Томусинский» выявлен по набору 12 элементов 0,75 % Zr; 2,5% Ti; 86,5 г/т Ga; 0,22 г/т Au и других. Там же пласт IV (P_1 kr) содержит 1,6 % Zr и сопровождается Ti, Ga, Sr, Y, Nb в пределах рудных кондиций. Пласт XVII (P_1 kr) с 0,5 % Zr в пределах поля ш. им. Шевякова сопровождается 1,6 % Ti; 327,9 г/т Y; 328,0 г/т Nb; 61,5 г/т Hf. Отметим аномальные по промышленным содержаниям циркония пробы. По разрезу «Томусинский», пласт IV, марка угля Т, выделено 2 пробы (211 и 214), соответственно, с содержаниями циркония, г/т: 29629,63 и 5712,12; в среднем – 17670,88. Обе пробы с зольностью 9,9 %. Они сопровождаются: 18,4 г/т Be; 1,75 % Ti; 90,4 г/т Ga; 11,4 г/т Ge; 261,4 г/т Y; 162,9 г/т Nb; 479,8 г/т La; 707,07 г/т Ce. Таков ожидаемый набор ценных элементов в концентрате из ЗШМ пласта IV. Главными рудообразующими элементами в нем будут Zr, Nb, Ti, PЗЭ, соотношение $Zr/Nb=108,5$. Это характерно для цирконий содержащих рудных концентратов с 0,8-0,9 % циркония.

В среднем, по кузнецким углям с пределами содержаний циркония 0,5-0,9 %, отношение Zr/Nb равно 41,02. Аналогичное фоновое отношение (при количестве проб с $Zr = 511$; $Nb = 461$) равно 19,6. Сравним: пласт II

Томусинского разреза, имея 1,02 % Zr и 259,2 г/т Nb, обладает соотношением $Zr/Nb = 39,3$. В составах минерального вида – циркона (главного носителя рудных количеств циркония; этот металл имеет содержания 45,7-49,6 %). Обычно в цирконе присутствуют примеси Fe, Y+PЗЭ, Th, U, P. По нашим расчетным данным количество примесей в «нормальных» цирконах должно быть, (%): P (<1,47); Al (<0,25); Fe (<0,66); Y (<8,0); Ce (<0,3); Th (<0,9); U (<1,54). Такие ограничения пределов входящих элементов уместно распространить, в том числе индивидуально для каждого из них, на цирконы с неразрушенной кристаллической структурой минерала вследствие его метамиктного состояния. Достаточно отметить, что количества Y, Ce, Th, U в вышерассмотренном примере, относятся к промышленно кондиционным. Таким образом, извлечение из ЗШМ углей метамиктного циркона будет повышать ценность минерального продукта. Достижение этой цели может осуществиться применением технологии ВГМ-сепарации концентратов или при возможностях измерения естественной радиоактивности и селективного отделения продукта в технологии обогащения сырья по естественной радиоактивности.

Ниобий входит в тетраду (Zr-Nb-Hf-Ta). Он сосредоточен в кузнецких углях в кемеровской свите (P_{1kr}) в пяти пластоучастках, где его среднее содержание составило 415,5 г/т. Угольный кларк ниобия для каменных углей мира – $4,0 \pm 0,4$ г/т; золы углей – 22 ± 1 г/т [156]. Эти показатели несколько выше, чем для бурых углей. Промышленные содержания ниобия для эндогенных руд, %: 0,1-0,6 и выше – богатые; для экзогенных руд, %: 0,1-0,3 и выше – богатые [1]. Для углей кондиции на ниобий не разработаны. В коре выветривания на месторождении Томтор содержание ниобия составляет 5,38 %; пересчет наш по данным [1].

Среднее содержание элемента в кузнецких углях и ЗШМ: 15,535 и 115,76 г/т; концентрации – 3,88 и 5,26 в нашем пересчете по данным [156]. Концентрация относительно кларка глинистых пород – 10,5. Максимальное содержание ниобия в ЗШМ кузнецких углей – 0,298 %; в углях – 0,04 %. Встречаемость в кузнецких углях по 461 пробе – 86,0 %; изученность – 859 элементопределениями.

Пласт Подволковский I на разрезе «Черниговский» в ЗШМ содержит 301,2 г/т Nb; 4,8 % Ti; 25,2 г/т Ag; 158,6 г/т Ga; а также Rb, Y, Th в про-

мышленных количествах. Его доля в пласте от выявленного по ЗШМ кузнецких углей промышленного содержания отвечает подсчету ($0,03012\%/0,298\% = 0,101$ или $10,1\%$). По минимуму кондиции ($0,1\%$) доля ниобия – здесь $30,3\%$. Отметим, что очень бедными рудами с ниобием считаются $0,006-0,007\%$ содержания [129].

Пласт III по шахте «Завьяловская» имеет низкое содержание ниобия ($120,2$ г/т), но весь список рудообразующих элементов указывает на значительную насыщенность ЗШМ пласта – Ti ($1,08\%$); Ga ($31,9$ г/т); Rb ($263,1$ г/т); Y ($172,1$ г/т); Au ($0,19$ г/т); Bi ($58,99$ г/т); U ($37,55$ г/т). Поле ш. им. Шевякова изучено по 42 пробам 2460 определениями элементов по пяти пластам кемеровской свиты (P_{1kr}): III, V, VIII-IX, XI, XVII. Наибольший интерес здесь представляют пласты III, XI насыщенностью ЦПЦ элементами 7, 6 по ККЗУ (оценка по ЗШМ). Средняя насыщенность по этой группе пластов – 5, 6.

Пласт III характеризуется повышенными концентрациями для 42 элементов, в том числе 11 в рудных кондициях. Отличается промышленным содержанием серебра – $96,6$ г/т. Пласт V: в повышенных количествах найдены 30 элементов. Рудные – Ga, Rb ($714,0$ г/т), Y, Zr, Nb, Hf, Au ($0,26$ г/т), Th, U. В породах ($A^d = 69,4; 76,0; 88,9\%$) с содержанием Ga ($53,1$ г/т) и в двух других пробах с более высокими зольностями – Ga, Ge, Zr, Nb, Ag, Tb, Ta. Пласт VIII – IX характерен наличием в рудных кондициях Ga, Y, Nb, Hf, Ta, ($61,1$ г/т)Th, U. Пласт XI характеризуется высоким общим фоном для 34 элементов, в том числе S, Se, Ti, As, Se, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U. Рудные содержания выделялись для Ti, Ga ($117,1$ г/т), Y, Zr, Nb ($409,8$ г/т), Hf, Ta ($83,5$ г/т), Th ($99,8$ г/т), и в четырех пробах пород ($A^d = 59,8; 81,6; 85,4; 85,9\%$). В ЗШМ углей – Ti, Ga, Rb, Y, Zr, Nb ($918,5$ г/т), Hf, Th, U. С возрастанием зольности углей от кровли к почве пласта XI содержания ниобия уменьшаются в последовательности от пробы 906 (около $0,3\%$) до проб 919 и 921 (около $0,1\%$) по 7 пробам сверху вниз на мощность пласта $2,26$ м. Таким образом, 5 проб из 7 характеризуются промышленными кондициями на ниобий ($0,15-0,3\%$) по $90,2\%$ мощности пласта (без двух породных прослоев – $0,15$ м). Одна проба (916) имеет $79,0$ г/т Ta внутри интервала с промышленным количеством ниобия. Такое размеще-

ние содержаний в пробах Nb, Ta, Ti благоприятно для извлечения ценных элементов из угольной продукции. Пробы пород 905, 907 в кровле пласта; 1008, 1010 в почве пласта; 910, 912, 920, 922 в породных прослоях; 997, 996 внутри угольных пачек с толщиной до 5 см содержат ниобий в количествах от 50,0 до 450,0 г/т; тантал от 50,0 до 150,0 г/т; титан от 0,2 до 1,4 %. Характер размещения этих ценных элементов по всей мощности пласта не будет препятствовать выделению в концентрат металлов суммы ценных элементов в количестве 2,0-3,0 % от массы добытого угля. Рекомендуется способ разделения золы угля ВГМ-сепарацией.

Пласт XVII содержит промышленные количества Ti (1,6 %); Y (327,9 г/т); Zr (0,49 %); Nb (327,9 г/т); Hf (61,5 г/т). Углистая порода ($A^d = 79,3$ 5 %) в прослое 0,1 м имеет 97,2 г/т Rb. В целом, отмеченные пластоучастки разрабатываемых шахтным способом и разрезами пластов в Томусинском ГЭР, нуждаются в дальнейшем детальном изучении геохимии угольных пластов, внутрипластовых включений (прослоев) и вмещающих пород для определения перспектив извлечения и определения нового качества МСБ кузнецких углей по промышленно ценным объектам дальнейшего освоения полезных ископаемых угленосных отложений в промышленно развитых районах Кузбасса.

Серебро в промышленных концентрациях в серебряных месторождениях кондиционно в количестве не менее 100,0 г/т; для комплексных месторождений составляют 10,0-100,0 г/т [1]. В кузнецких углях наиболее высокие содержания серебра нами найдены в кемеровской (P₁kr), алыкаевской (C₃al) свитах. Пласт XXI (C₃al) имеет содержание серебра 386,7 г/т, что выше кондиции в 3,9 раза, на ш. «Бирюлинская» серебро сопровождает комплекс рудных элементов – Fe, Ga, Rb, Hf (96,3 г/т), U. Комплекс Ag – Au – Pb – Sb характерен для сульфидной ассоциации в рудах благородных металлов, сопровождающихся ПГМ [1]. В том же Кемеровском ГЭР серебро найдено в пласте Подволковском I (25,2 г/т) на разрезе «Черниговский»; сопутствующие – Ti (4,8 %); Ga (158,6 г/т); Nb (301,2 г/т). Пласт Лутугинский, ш. «Ягуновская», содержит Ag (20,4 г/т); спутники рудной ассоциации – Al, Ga, Y, Nb, U. Ожидается, что при дальнейшем изучении объектов добычи углей, будут найдены золото и другие ценные элементы. Пласт

Наддьягилевский (P₂ km) в Ленинском ГЭР содержит 8,09 г/т Ag; Ti (2,9 %); Ga (125,0 г/т); Au (1,32 г/т). Пласт Мощный (P_{1is}) включает 28,2 г/т Ag со спутниками La (1038,0 г/т); Ce (1419,0 г/т); Tb (254,2 г/т); Yb (72,2 г/т).

Пласт III (P_{1kr}) на разрезе «Сибиргинский» включает 33,8 г/т серебра и Al (18,5 %), Ti (2,3 %), Zr (0,5 %), Au (0,25 г/т). Пласт 32 (P_{2ln}) отличается наличием 8,75 г/т Ag и Ti (4,2 %); Fe (11,8 %); Rb (0,12 %); Hf (60,4 г/т); Th (125,0 г/т); U (47,9 г/т). Пласт II (P_{1kr}) на разрезе «Томусинский» обладает содержанием Ag (10,0 г/т); при спутниках – Ti (2,5 %); Ga (86,5 г/т); Zr (0,75 %); Au (0,22 г/т). Пласт XXXV (P_{1pr}) при 13,1 г/т на разрезе «Междуреченский» сопровождается 12,4 % Fe. Серебро в Кузбассе найдено в промышленных содержаниях, в среднем, по двум пластоучасткам P_{1kr} и C_{3al} свит (ш. «Бунгурская», ш. «Бирюлинская») в количестве 334,67 и 386,7 при среднем показателе 360,7 г/т. С учетом остальных восьми пластоучастков (Ag_{ср}=18,4 г/т) вычисленное среднее промышленное содержание серебра в кузнецких углях не менее 189,6 г/т. Это определяет благоприятную перспективу для поисков и извлечения данного благородного металла. Отметим, что серебро в Кузбассе найдено в 129 пробах углей. Его осредненное количество в углях – 0,729 г/т; в ЗШМ – 5,96 г/т. Эти данные выше кларковых в 7,29-9,46 раз. Данные о геохимии серебра в пластах кузнецких углей и рудные значения содержаний в восьми пластоучастках определяют необходимость организации детальных поисковых работ на благородные металлы.

Платиновая группа металлов изучена в Кузбассе недостаточно. Показатели содержаний Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt характеризуются по трем объектам: разрезу «Бачатский», разрезу «Красногорский», шахте «Байдаевская» – отходы добычи (горельники терриконов). Золошлаковый материал угольных пластов шахты «Байдаевская» характеризуется рудными количествами ценных элементов, имеющих очень высокое значение кларковых концентраций (к золам каменных углей мира [156]): Ti (7,9); Fe (1,6; к промышленной кондиции пляжных морских россыпей [1]); Rb (10,9); Hf (6,7); Th (5,4); U (3,2); Ge (5,3). Ни один из перечисленных элементов в горельниках от ш. «Байдаевская» не был обнаружен выше значения 1,0 кларка!

Сравним их зольности: A^d углей пластов – 5,3 %; A^d пород – 97,85 %. Если пересчитать содержание Ge в горельниках на угольную массу ЗШМ, то получится 20,3 г/т или 1,13 кларка. Этот приближенный подсчет отражает представление о том, что породная масса горельников в 20,3 раза больше золошлаковой в этом примере. На долю пород здесь приходится 0,006 от кларковой концентрации или 0,11 г/т. Приведенное рассуждение подтверждает мнение Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис о том, что германий в углях в основном связан с угольным органическим веществом [156, с. 253], характеризуя самые низкзолые угли. ПГМ в горельниках представлены Ru (0,03 г/т); Rh (0,02 г/т); Pd (0,48 г/т); Ir (0,02 г/т); Pt (0,63 г/т); Re (0,08 г/т). Анализы выполнены по 4 пробам в ИГЕМ РАН, г. Москва, аналитик М. Ю. Поваренных, 2005 г. Все ПГМ и рений по содержаниям отвечают промышленным кондициям.

Превышения над кларками n-раз обнаружены у Pd (67,9); Re (16,0); Ir (2,9); Pt (16,6). Здесь же отношения к нижнему пределу кондиций на извлечение: Ru (30,0); Rh (2,9); Pd (6,9); Re (2,7); Ir (1,0); Pt (4,2). Пласт Горелый в. п. изучен также в ИГЕМ РАН на 60 элементов, в том числе: РЗЭ (13); Y; La; ПГМ (4); Re. Четыре пробы с $A^d, \%$ - 5,26; 8,16; 13,72; 37,22 были предварительно озолены лабораторным способом, затем анализированы на 60 элементов методом ICP-MS. Результаты вычисления кларковых концентраций показали, что 12 элементов имеют показатели выше 1,0 кларка относительно зол углей, в том числе повышенные и высокие у Ag (108,7); Pd (242,9); Ba (3,98); Ta (2,12); Ir (19,5); Au (124,6). Группа ПГМ и рений, серебро, золото имеют концентрации выше значений минимальных кондиций (в n-раз), в том числе Ru (100,0); Rh (15,7); Pd (24,3); Re (16,7); Ir (7,0); Ag (6,8); Au (74,8). Платина не обнаружена. Кларковые концентрации (ККУ; ККЗУ) для массива данных кузнецких углей повышенные и высокие для элементов (ККУ/ККЗУ): Ag (7,26/9,46); Au (18,86/20,83).

Геохимия пластов угольного разреза «Бачатский» нами изучена по 9 пластам (I Внутренний, I Характерный, Горелый в. п., Горелый н. п., Лутугинский, II Прокопьевский, I Прокопьевский, Мощный, II Безымянный). Все пласты низкзолые (4,8-11,4/8,3 %, A^d). Пласты от Горелого н. п. (P_{1kr}) до II Безымянного (P_{1is}) имеют высокую насыщенность по РЗЭ (4,3-

19,4/7,7 ККЗУ). Аналогичные показатели для ценных и потенциально ценных элементов от 4,2 до 43,2/9,9 ККЗУ. Самый высоконасыщенный ЦПЦ элементами пласт I Внутренний; наиболее насыщен РЗЭ пласт Мощный. В стратиграфическом разрезе части угленосной толщи с пластами кузнецких углей в Бачатском ГЭР 21 пласт разделен достаточно значительными по мощности интервалами вмещающих пород, в среднем, более 23,8 м. В этих геологических условиях пласт угля под слоем водопроницаемых пород в ходе геологической истории формирования толщи насыщался водными растворами (и даже рассолами); химические элементы, проникая в угольный пласт, оставляли там почти весь «груз» заключенных в воде элементов. Подобная обстановка сложилась при формировании пласта I Внутреннего. Выше кровли пласта лежит горизонт песчаных пород в верхней части, под пластом II Внутренним, с пачкой углистых аргиллитов. Таким образом, пласт I Внутренний получал от горизонта вышележающих пород (29 м) питание подземными водами. Именно этот пласт характеризуется нами в качестве насыщенного F, Al, P с промышленными содержаниями Al, Fe, Ga, Y, Nb, Hf, Au, U. Растворимые соединения и комплексообразователи, например с фтором, хорошо известны как агенты транспорта вещества (U, Ag, Mn, Ni, Sn, Cu и др.). Одновалентный ион фтора «закрепляется» в зольном остатке при разрушении карбонатов по схеме: $\text{CaCO}_3 + 2\text{HF} = \text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$. Нерастворимый в воде остаток – CaF_2 (флюорит). Наверное, все s-элементы, включая Ra, способны входить в составы комплексных и растворимых соединений и адсорбироваться органическими соединениями углерода.

Нами обнаружены, среди кузнецких, угли с аномальными содержаниями – ККЗУ: Li (8,2); Be (44,1); B (9,1); F (5,4); Na (69,6); Mg (13,0); Ge (40,4); U (8,1) и другие. Объяснение природы высоких аномалий элементов в пластах каменных углей может быть отнесено к результатам поглощения химических элементов веществом угля при инфильтрационных процессах; переотложение его по латерали происходило вследствие внутрипластового метасоматоза. Подтверждением этого вывода могут послужить примеры расчетов содержаний биогенных элементов. Их средние содержания в кузнецких углях не превышают в ЗШМ – Р (3671,03 г/т); S (22950,89 г/т).

Кларки Р (1500 ± 100 г/т), S (20000 ± 500 г/т). Отношения к ним – по Р (4,589); S (1,148). Предположим, что кларк серы 22000 ± 1000 г/т; фосфора $1500,0 \pm 100$ г/т. Максимумы: S = 62037,04 г/т; Р = 48192,77 г/т в ЗШМ, то есть превышения в 3,1 и 2,8 раза. Сомнительно, что концентрации ($S_{\text{био}}$ или $P_{\text{био}}$) биомассы компонентов серы и фосфора в углях могут иметь трехкратные максимумы.

Заметим, что в угле пласта XXXI разреза «Красногорский» железо почти полностью представлено в пирите, так как последний заместил сидерит при контактовом метаморфизме. При этом массовая доля железа уменьшилась на 1,66 %. Доля серы составила 53,5 %, увеличившись в 8,6 раза по сравнению с максимумом содержания по кузнецким углям. По геологическим данным Сыркашевский долеритовый силл находится менее, чем в 100 м по стратиграфической вертикали от кровли пласта XXXI [142, с.436]. Пласт XXXI по разрезу «Красногорский» с углями марки Т содержит Pt (0,15-3,37 г/т); Pd (0,09-0,14 г/т), Au (0,04 г/т). Эти анализы выполнены в лаборатории Томского политехнического университета в 2002 году. Аналитики: З. С. Михайлова (Au, Pd); Э. В. Горчаков (Pt). Поле угольного разреза представляет собой поисковую площадь с выявленными нами впервые Pt, Au, Pd [88, с.86].

Вопросы биохимических поисков Ag, ПГМ рассмотрены в работе А. Л. Ковалевского в качестве новых эффективных предложений методик [64]. А. М. Сазоновым и соавторами рассмотрены данные о ПГМ-минерализации средней Сибири [120, 121]. В. В. Середин выделил новый тип минерализации Au-ПГЕ в угленосных толщах Приморья [126]. О платиновой минерализации в России В. В. Серединым и соавторами было сообщено на 7-ом Международном платиновом симпозиуме [127]. ПГМ в латеритах – особая тема исследований, результаты которых были опубликованы J. F. W Bowles и соавторами [160]. О распределении в битуминозных углях Au, Pt было сообщено L. L. Chyi в одной из ранних (1982 г.) публикаций в журнале *Economic Geology* [162]. В Китае, для аналогичных кузнецким углям позднего палеозоя, S. Dai и соавторами в 2003 году опубликованы данные об элементах платиновой группы металлов, их концентрациях и происхождении [163]. Сообщение аналогичного содержания опубликовано

R.V. Finkelman и соавторами [166]. С. L. Oman, R. B. Finkelman, S. J. Tewolt в 1997 году сообщили о 122 образцах углей США с содержаниями ПГМ [178]. Аналогичные данные по углям Канады опубликовал Van der Flier-Keller E. В 1990 году [180].

Редкоземельные элементы. В пластах кузнецких углей на полях шахт и разрезов выделены участки с продуктивными суммами РЗЭ. Последние условно подразделяются на две серии – LREE – легкие редкие земли: Ce, Pr, Nd, Sm, Eu; HREE – тяжелые редкие земли: Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu; вся группа 13 РЗЭ тесно связана с иттрием и лантаном, объединяемых в литературе в единый комплекс РЗЭ [156, с. 119-223]. В исследованных нами объектах определены содержания РЗЭ методом ИНАА (Лаборатория ЯГИ Томского политехнического университета, аналитики Е. Г. Вертман, А. Ф. Судыко), в том числе, в ЗШМ (количество проб/ содержание в г/т / отношение к зольному кларку): Y (517/159,86/2,8); La (513/162,07/2,1); Ce (469/230,86/1,6); Sm (458/22,12/1,6); Eu (348/5,22/2,0); Tb (378/5,97/2,8); Yb (532/14,57/2,1); Lu (437/373/2,9).

Вычисленные зольные кларковые концентрации по определениям ИНАА оказались в пределах 1,6-2,9. Тот же набор элементов по 4 пробам по данным ICP-MS представлен следующим рядом отношений: Y(0,55); La(0,95); Ce(1,23); Sm(0,76); Eu(0,8); Tb(0,73); Yb(0,78); Lu(0,64). Существенное различие показателей объясняется случайностью выбора двух массивов данных, для которых избраны количества проб слишком различны ($522:4 \approx 130$). Тем не менее, дальнейшее наращивание результатов массивов измерений содержаний ICP-MS и ИНАА технологиями будет полезно для выбора необходимых оценок измерений с использованием аппарата информационных технологий для массовой оценки данных.

Существующие к настоящему времени кондиции для извлечения суммы РЗЭ составляют 0,1-0,5 % для эндогенных руд, в корах выветривания до 10,0 % [1]. Для каменных углей кондиции по сумме РЗЭ не разработаны, но их предельные содержания в кузнецких ЗШМ могут составить не менее 1,4 %. Поэтому далее рассмотрим повышенные концентрации сумм РЗЭ и сопровождающих Hf, Ta, выявленных нами в кузнецких углях. Они обнаружены в 35 пластах пяти свит: ленинской (P_{2ln}); ускатской (P_{2us}); казанково-маркинской (P_{2km}); кемеровской (P_{1kr}); ишановской (P_{1is}).

В ленинской свите 4 пластоучастка содержат Y и La (0,058; 0,064 %); Hf (2 пробы – 87,6 г/т). Грамотеинский пласт (ш. «Инская») характеризуется указанными выше количествами этих элементов. Гафний – в пластах 29а (114,2 г/т); 32 (60,4 г/т) по шахтам «Есаульская», «Байдаевская». В ускатской свите найдено в одной пробе высокое содержание Ta (92,4 г/т), отвечающее пласту Полысаевскому, ш. «Кузнецкая». Казанково-маркинская свита характеризуется по двум пробам с Tb (109,2 г/т); Yb (97,4 г/т). Они, соответственно, размещены в пластах Болдыревский и Толмачевский ш. «Комсомолец». Наибольшее количество проб с высокими содержаниями элементов выявлено в кемеровской свите: Y (5); La (4); Yb(1); Lu (3); Hf (5); Ta (6).

Содержания иттрия в пределах 0,017-0,15 % размещены в направлении от севера к югу (условно!) следующим образом по геолого-экономическим районам: Завьяловский, шахта «Завьяловская», пласт III (0,017 %); Кемеровский, разрез «Кедровский», пласт Кемеровский (0,066 %); Ленинский, шахта «Инская», пласт Грамотеинский II (0,058 %); Прокопьевско-Киселевский, шахта «Тайбинская», пласт IV Внутренний (0,15 %); Мрасский, разрез «Сибиргинский», пласт IV-V (0,04 %); Томь-Усинский, шахта им. Шевякова, пласт XVII (0,033). Эти предприятия по пластоучасткам, соответственно, добывали или добывают угли следующих марок (A^d , %): ш. «Завьяловская», КС (15,92/6,1-24,0), 67 проб; максимум содержания иттрия в пробе 1878 (495,05 г/т при $A^d = 10,1$ %); максимумы La и других РЗЭ здесь равны, г/т: (пробы: 1810-1253,32; 1878-1911,87; 1887-2310,49; среднее – 1825,23). Выделяется по ш. «Завьяловская» присутствие в пласте III высоких содержаний Al (36,8 % по 3 пробам); Ca (17,2 % по 28 пробам); Fe (15,84 % по 15 пробам); Mg (8,58 % по 2 пробам).

По разрезу «Кедровский» пласт Кемеровский, кроме 0,066 % иттрия в рудных кондициях, имеет Ti, Fe, Ga, Ge, Nb, Yb (79,8 г/т). Из других 42 элементов отметим повышенные концентрации Be, Ca, Mn, Fe, Ni. Прогноз на обнаружение ПГМ благоприятен. Добывается марка углей СС, $A^d = 13,5$ %.

Пласт Грамотеинский II по ш. «Инская» выделен в связи с повышенной концентрацией суммы РЗЭ ($Y+La = 1219,1$ г/т; в сумме РЗЭ учтено со-

держание Y= 580 г/т), угли пласта отнесены к марке Д ($A^d = 6,0 \%$). Высокие содержания отмечены для Be, B, Na, P, Au (1,17 г/т).

Для пласта IV Внутреннего по шахте «Гайбинская» (марка К, $A^d = 8,0 \%$) иттрий (1500 г/т) является единственным для Кузбасса примером с самым высоким содержанием для кузнецких углей. Иттрий сопровождается высокими количествами Ge (25,0 г/т); Zr (1597 г/т); Ba (1,9 %) в пробе 540.

Пласт IV-V отличается промышленными в ЗШМ количествами 13 элементов: Al; Ti (2,98 %); Ga (97,6 г/т); Ge (36,6 г/т); Y (406,5 г/т); Zr (0,7 %); U (117,0 г/т). Содержание фосфора – 6,3 %. Концентрация суммы РЗЭ повышена – 4,8 по ККЗУ. Зольность – 8,2 %; марка – КС. Плотность угля повышена – 1,68 г/см³. В абсолютных цифрах сумма содержаний РЗЭ равна 1269,2 г/т, что отвечает низкой норме кондиции. Пласт XVII по минимальным показателям кондиций на ЗШМ включает: Ti (1,6 %); Y (327,9 г/т); Zr (0,49 %); Nb (327,9 г/т); Hf (61,5 г/т).

РЗЭ в углях сопровождаются серией различных элементов и минералов, из которых обратим внимание на следующие элементы [146, с. 98-140]: Li, Be, Ti, Cr, Co, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, La+РЗЭ, Au, Tl, Bi; минералы – циркон, рутил, сфен, ильменит и другие [42-45]. Встречаемость в товарных кузнецких углях триады Y+Zr+Nb=53,3 % для избранной группы элементов, в том числе Y (21,1); Zr (21,8); Nb (10,4). Литий + бериллий + серебро + золото + таллий + висмут здесь составляют 25,6 %; титан – 15,2%; рубидий и стронций – 5,5 %; висмут – 23,1 %. Золото, таллий, ртуть, висмут – геохимическая ассоциация, сосуществующая в парагенезисе с Ti, Y, Zr, Nb; а также Rb, Sr и редкими – Li, Be; Ag+Au+Tl. Носителями РЗЭ являются циркон, рутил, сфен и ряд других минералов, широко распространенных в магматических, метаморфогенных и осадочных породах, питавших области седиментации. Таким примером является Верхне-Кондомский трондьемитовый массив. Другие магматические, метаморфические породы Норвегии [172], других стран, территорий содержат аналогичные комплексы акцессорных минералов и элементов-продуцентов элементного содержимого осадочных пород.

Устойчивые в процессах выветривания и геологического транспорта многие из акцессорных минералов накапливаются в бассейнах седимента-

ции и могут поэлементно локально создавать значительные скопления рудного вещества. У. А. Дир и соавторы указывают на присутствие в анатазе урана и олова [43]; в монаците Y, La, Ce, Th, U; в перовските Nb, Y, La, Ce; в цирконе, особенно часто при его метамиктном состоянии, – Ti, PЗЭ, P, Th, Y, P; в том числе в пробе из пегматита Хаямадаке, Япония, аналитик Masegawa (1957) с Y_2O_3 – 10,14 %; UO_2 – 1,75 %; Ce_2O_3 – 0,37 % [42, с. 79]. Сфен содержит в примесях Zr, Nb, Ta, V, PЗЭ [42, с. 90].

Петрофонд элементов кузнецких углей – это тектонически активные структуры и изверженные породы Горной Шории, Кузнецкого Алатау, Салаира, которые до настоящего времени поставляют в Кузнецкий бассейн с водными потоками в процессах площадного смыва рудообразующий комплекс химических элементов. При процессах инфильтрации доставленное вещество, проникая в современные угли или, как это происходило в древние торфяные болота, активно сорбировалось и накапливалось с образованием дискретно размещенных рудоносных участков. Полагаем, что транспортирующим природным объектом были постоянно движущиеся и обновляющие свой состав природные воды метеорного происхождения с веществом коры выветривания, пепловым материалом от извержений вулканов. Циркулирующие в земной коре воды, нередко, являются активными агентами транспорта и переотложения вещества. В различных физико-химических условиях вода способна растворять и выносить химические элементы, поставлять их в другие области осадконакопления, насыщая ими горные породы, торф, уголь.

Различные механизмы разделения PЗЭ в осадочном процессе в разных фациальных и климатических условиях были рассмотрены Ю. А. Балашовым и соавторами в 1964 году [17]. В последующем эти вопросы о геохимии PЗЭ Ю. А. Балашовым отражены в монографии [18]. Легкие лантаноиды (Pr, Nd, Sm, Eu) по данным Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис обнаружены в торфах Томской области, Греческой Македонии, в Кузбассе, в Минусинском бассейне, Пенсильванском бассейне США [156, с. 183-187]. Аналогичные данные по Красноярскому краю приведены С. И. Арбузовым и другими авторами [12, 13, 15, 16].

По Западно-Сибирскому региону в последние годы рассмотрены результаты исследований, опубликованные В. К. Бернатонисом и соавторами

[21, 22]. Редкие, малые элементы, элементы-примеси, в англоязычных источниках – trace elements, широко представлены в русской и иностранной литературе за прошедшие 40-45 лет. Акценты тематики публикаций сдвигаются в последнее десятилетие к способам извлечения малых количеств комплексов ценных элементов из продуктов коры выветривания, вулканогенно-осадочных образований, угленосных пород и углей [20].

Б. Ф. Нифантов и соавторы на материалах изучения геохимии Кузнецкого бассейна отметили роль РЗЭ (LREE и HREE, Th, U) в становлении и перспективах развития МСБ кузнецких углей, отходов [86-95]. Впервые для кузнецких углей отмечено значение группы ПГМ и золота, выявленных нами в углях пласта XXXI в продуктах обогащения ОФ «Красногорская» [87, с. 86]. В. В. Середин сообщил о новом типе Au – PGE минерализации в угленосных толщах Приморья [126]. Редкоземельная минерализация найдена В. В. Серединым в Приморье, отмечена в Сибири и на Дальнем Востоке; упомянута в гуминовом веществе углей. М. Д. Скурский осветил прогнозы из опубликованных работ прошлых лет и собственные о возможностях обнаружения золота – РЗЭ – РЭ, нефтегазовых месторождений в Кузбассе [128].

Требования промышленности к качеству минерального сырья РЗЭ были разработаны Н. А. Солодовым и соавторами в 1993 году [133]. В Кизеловском каменноугольном бассейне агрессивные шахтные воды могут быть использованы, по мнению М. В. Ториковой, в качестве сырья для получения Sc, Y, РЗЭ [138]. Е. М. Шмариович и соавторы отметили роль и поведение иттрия и лантаноидов в пластово-инфильтрационном рудообразующем процессе [149] при формировании роллов – инфильтрационных образований в поле вертикальных колебаний зеркала подземных вод и изменениями при этом Eh, Ph показателей водного потока. Ч. Ф. Парк, Р. А. Мак-Дормид, рассматривая «интрузивно-метаморфические месторождения» [105, с. 298-318], полагают, что оксид железа (FeO) интрузивных пород основного состава (и соответственно магм) превращается в магнетит по схеме реакции $3\text{FeO} + \text{CO}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}$. Диоксид углерода в этом примере высвобождался за счет разложения карбоната кальция известняков в высокотемпературном поле контакта известняк – мафический расплав. Ви-

димо сценарий процесса авторами не был завершен, так как в нем не отражена роль серы.

В угленосных отложениях Кузбасса при внедрении основной магмы в углевмещающие породы происходило замещение по схеме: $\text{FeCO}_3 + 2\text{H}_2\text{S} = \text{FeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Избыток кислорода может «сдвинуть» эту реакцию влево и тогда колебания реакций будут приводить к синтезу гематита (магнетита) или сульфидов железа. Процесс закончится, если в системе возобладает присутствие одного из двух (S, O) элементов. Появление «нового» пирита и исчезновение «старого» сидерита свидетельствует об избытке серы. В геохимическом аспекте это означает, что все сульффильные элементы (Zn, Cu, Pb, Sb, As и другие) также принимают сульфидную форму [167] существования в тепловом и геохимическом ореоле воздействия интрузии. Вероятность изложенного процесса подтверждается при исследованиях траппов Норильского района в связи с разрешением ряда генетических вопросов (В. В. Рябов и соавторы) формирования руд сульфидных медно-никелевых месторождений с золотом и ПГМ [119].

Есть аналогии по механизму формирования процессов рудогенеза между Норильским районом и Кузбасским регионом, но в пределах Кузбасса или его обрамления пока не найдено месторождений, подобных Норильским. Следует предположить, что серия гипо-, мезо-, эпи-, теле- и ксено-термальных образований представляет собой последовательный ряд, выделенный Ч. Ф. Парком, Р. А. Мак-Дормидом, месторождений, различно удаленных от очагов интрузий, расположенных в осадочных или метаморфогенных вмещающих породах, и, зачастую, не имеющих с продуктивными интрузивными телами видимой пространственной связи. Последним звеном этой цепи, возможно, явились формы процессов «геологические проявления холодной дегазации Земли», рассмотренные Е. Г. Песковым [106].

Несмотря на отдельные достаточно спорные выводы автора цитированной монографии, следует согласиться с тем, что глубинные процессы «горячих недр» Земли способны сформировать ювенильные потоки, достигающие дневной поверхности уже в «холодном» состоянии. Встречные ювенильные и метеорные нисходящие воды оказывают существенное влияние на перераспределение (переразмещение) вещества осадочных, в

том числе угленосных толщ. При этом инфильтрационный статус элемента не всегда удается распознать. В наших примерах ртуть по полю шахты «Бутовская» в содержаниях до 40-50 г/т размещена в угольных пачках трех пластов, тогда как внутрипородные прослои оказались по ртути «пустыми». Предположение о биогенной ртути несостоятельно, также трудно принять точки зрения о кластогенном или ином происхождении. Разные по сорбционным свойствам угли этих пластов – Кумпановского, Верхнего, Двойного-Промежуточного имеют разные, соответственно, содержания, г/т: около 40,0; сверху вниз по угольным пачкам – 5,0; 13,0; 20,0; также сверху вниз по углям – 18,0; 18,0; 35,0; 15,0. Выражена тенденция накопления ртути в направлении к почве пласта. Пласты заключены в водоупорных породах кровли-почвы; те же породы во внутренних прослоях.

Таким образом, движение вод, содержащих ртуть, в этих условиях могло осуществляться латерально путем фильтрации через угольные пачки, оставляя металл в виде сорбента в углях. Коэффициенты концентрации (расчеты наши) ртути по вышеприведенным округленным данным составили по ЗШМ от 5,8 до 46,0 к мировым данным для зол каменных углей [156]. Этот пример свидетельствует о том, что водные растворы с ртутью проникли в угольные пачки после того, как пласт уже был сформирован (рис. 5.1).

В Кузнецком бассейне имеются примеры транслирования в угольных пластах элемента, комплексов элементов (диад, триад или других близких по химическим свойствам элементных групп), в том числе с высокими концентрациями по районам, одновозрастным пластам, со значительной их мощностью и обширным площадным развитием. Подобные сведения стали предметом сообщений специалистов по геохимии углей Болгарии [164, 165]; других стран и континентов [167, 168, 171]. Они объединены общей тематической направленностью [184] независимо от того, какой аналитический материал положен в основу сообщений.

Приуроченность элементов к маркирующим горизонтам тонштейнов поздней перми в Китае отмечали Y. Zhou и соавторы [183]; в угольном бассейне – Muainan-Zhigen Zhao; в высокосернистых углях – R. Zeng с соавторами [181]. Нами предлагается внедрение результатов наших исследо-

ваний для обоснования новой стратиграфической версии для угленосных отложений Кузбасса. В качестве примера геохимического маркера можно предложить использование триады главных зольных элементов Mg, Ca, Fe, нередко оформленных в молекулы карбонатов в системе CaCO_3 - MgCO_3 - FeCO_3 в различных сочетаниях, например, пласт III кемеровской свиты. Катионы в карбонатах характеризуются различными содержаниями. Магний обнаружен в двух пробах – среднее – 8,58 %; кальций – в 23 пробах – среднее – 17,3 %; железо – в 15 пробах – 15,8 %. Предельные содержания, %: Ca (10,0-41,5); Fe (10,0-25,5).

Статистическая характеристика выборки пласта III по полю шахты «Завьяловская» позволяет выделить маркирующий комплекс по 31 элементу и «паспортизировать» пласт III среди геохимически изученных нами пластоучастков кемеровской свиты. Эта свита наиболее насыщена пластоучастками (110 или 42,8 %) исследованного нами количества объектов, в которых имеются высокие содержания 19 элементов и группы РЗЭ. Детализация пластов углей по наборам статистически характерных элементов с выявлением их вхождения в минеральные виды является ключевым направлением для дальнейших поисков надежных геохимических маркеров для пластов углей и пород угленосной толщи. Этот круг задач является новым направлением в геохимии осадочных формаций, который может стать инструментом корреляции с количественным измерением и достаточной информативностью по изучаемым объектам.

Гафний и тантал входят в триаду Lu-Hf-Ta, нередко сопутствуя в ЗШМ пластов углей или породах. Последнее относится к высоким (или промышленным) содержаниям элементов. Они характеризуют пласты ленинской, ускатской, казанково-маркинской свит и сопровождаются, например, цирконием (1,4 %) в P_2ln ; золотом (3,2 г/т по 7 пластам; максимум 7,2 г/т по 4 пластам P_{2us}). Характерны в ассоциациях с Th (125,0 г/т) в ленинской свите; ураном (95,2/47,9-122,4 г/т) в четырех свитах: P_{2tl} ; P_2ln ; P_{2us} ; P_{2km} . Более высокие содержания гафния (в среднем – на 23,5 % по 6 пластам P_{1km} ; P_{1pr} ; C_{3al}) обнаружены в нижнем отделе пермской системы и в верхнем в карбоновой, в соотношении максимумов содержаний по P_1 и $P_2= 1,47$. Аналогично по танталу – 1,23. Золото сопровождают гафний и

тантал по 12 определениям (1,36 г/т, что в 2,38 раза меньше, чем в 6 определениях по P₂).

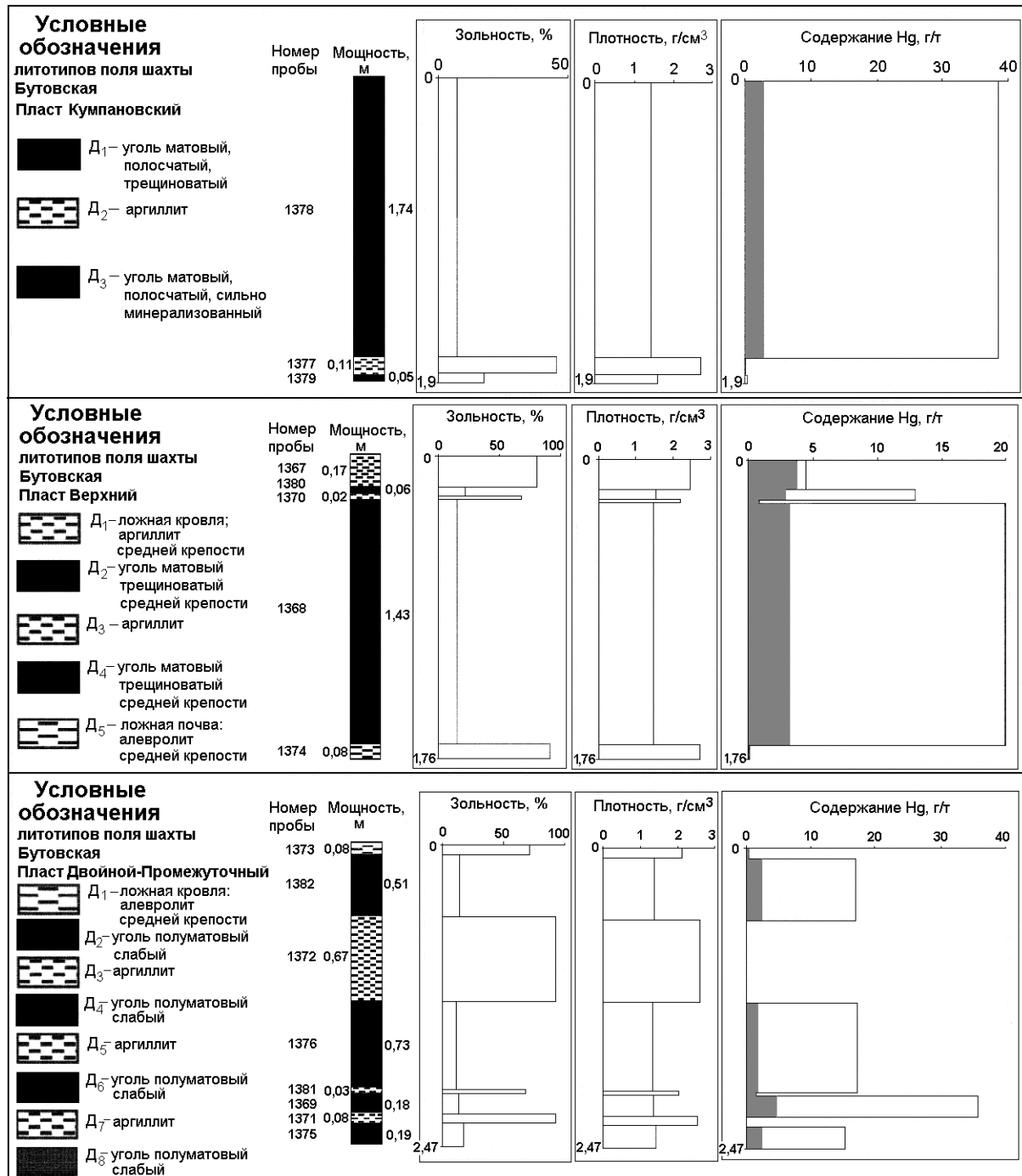


Рисунок 5.1 – Литотипы субфации ртути поля шахты «Бутовская» Кемеровского ГЭР
Содержание в угле – серый цвет, содержание в золе – серый + белый цвета

Сведения по объектам ГЭР подтверждают характер распределения указанных элементов при особом статусе серебра по двум определениям, в среднем, – 361,1 г/т для P_1K_1 и C_3a_1 . Максимумы значений, выявленных нами промышленных содержаний по Ag, Au, превышают их зольные кларки в 300,0 и 573,0 раза. В Кемеровском ГЭР по шахте «Бирюлинская» в XXI пласте угля найдено 387,6 г/т Ag; 96,3 г/т Hf; повышенное количество Ta (28,3 г/т при кондиции – 30,0 г/т). Отмечена триада Lu-Hf-Ta в ряду 23 элементов с высокими концентрациями Na, S, Fe, Sn, Sb, U. Полагаем, что Ag-Au; Sb-Pb с высоким фоном серы – есть поисковый признак для дальнейшего изучения пласта XXI в целях уточнения его показателей рудного содержания. По ш. «Березовская» в пластах XXI и XXI Спутник найдены промышленные концентрации гафния в присутствии Fe, Ag, Zr, других сопровождающих элементов. Наиболее ярким выражением промышленной триады Lu, Hf, Ta является пласт Волковский в горном отводе ш. «Ягуновская» с содержаниями лютеция (34,4 г/т); гафния (256,4 г/т); тантала (270,8 г/т). В том же отводе пласт Безымянный имеет Lu (106,3 г/т); Hf (121,9 г/т); Ta (55,9 г/т). Рекомендуются организовать поисковое бурение для уточнения рудоносности серии пластов угля в районе поля шахты «Ягуновская».

В Ленинском ГЭР пласты различных шахтных полей имеют гафний в кондиционных содержаниях и в сопровождении золота (27,16 г/т) по пласту Бреевскому; пластам Толмачевскому и Емельяновскому с Y, Zr, Nb, Th, U. По шахте «Инская» пласт Грамотеинский II в промышленных кондициях имеет содержания: Y (583,3 г/т); Zr (1,4 %); La (635,8 г/т); Hf, Au (1,17 г/т). Устойчивость встречаемости этих содержаний, будучи выявленной в пласте и угольной продукции, позволит рекомендовать этот пласт для производства металлоугольного концентрата, то есть новой угольной продукции Кузбасса. Гафний в повышенных концентрациях сопровождается в пластах Ленинского и Беловского ГЭР радиоактивными элементами с высоким их статусом для P_2t_1 (U – 122,4 г/т) по горному отводу закрытого разреза «Колмогоровский- 2». В 193 определениях элементов, кроме урана, отмечены высокие содержания титана (2,59 %), а также с промышленными показателями и высоким статусом Al, P, Sc, Ti, Cr, Mn, Ga, Zr, Y, Nb, Sn, Ba, La, Yb; Mg, Ca, Co, Rb, Eu, Tb.

Особого внимания при оценке промышленной значимости ЗШМ здесь заслуживают Al, P, Mg, Ca (и, возможно, Fe); Sn в качестве спутника Au; PЗЭ и другие элементы. В Бачатском ГЭР геохимическая гексада (Y, Zr, Nb, La, Hf, Ta) подчеркивается промышленным количеством $La > 0,1 \%$; $Au > 10,25$ г/т в пласте Горелый верхний по разрезу «Шестаки» и комплексом 25 элементов. Среди них определяющим геохимическим статусом обладают: Be, Na, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zr, Sn, Ta, Au, Mg, Th, U. Обобщенные показатели Бачатского ГЭР также вызывают интерес и требуют дальнейшего пополнения базы геохимических данных в связи с выявленным высоким статусом для 9 пластов из 13 с вычисленными коэффициентами концентраций 3,5-19,4 (среднее – 6,8) для TR; то же для ЦПЦ по 13 пластам 4,2-43,4 (10,0); по ТПТ – аномалии определены для пластов I Внутренний (13,8); I Прокопьевский (10,2); высокий статус имеет пласт Мощный (9,0). Поля разрезов «Бачатский», «Шестаки» и прилегающие к ним территории требуют в ближайшем будущем дополнительного геохимического изучения в связи с благоприятными данными прогноза обнаружения весьма ценных элементов: Ta (98,84 г/т) по пласту Горелому нижнему (разрез «Шестаки»), золота; там же пласт Безымянный II в ЗШМ содержит с высокими и аномальными концентрациями: Be, Na (105,4 ККЗУ); рудные – Be, Ti, Fe, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Hf. Пласт I Внутренний (U – 87,2 г/т); I Характерный – золото (2,37 г/т), разрез «Бачатский». Пласт Горелый н. п. в числе 8 рудообразующих элементов характеризуется лантаном ($> 0,13 \%$) в сопровождении Hf, U. Пласт II Прокопьевский, кроме La ($> 0,1 \%$), содержит Ti (2,68 %); Fe (13,0 %). По пласту Мощному в рудообразующем комплексе насчитывается 15 элементов; среди них наиболее выделились: La ($> 0,1 \%$); Ce ($> 0,14 \%$); Tb (254,2 г/т); Yb (72,2 г/т) в сопровождении Ag, Hf, Th, U.

В Байдаевском ГЭР по шахте «Есаульская» в рудной композиции найдены Hf (114,8 г/т); Fe (13,6 %); Li, Ti, Ga, Sr, Zr, Nb, Th, U. Пласт 32 шахты «Байдаевская» при зольности по одной пробе угля ($A^d = 4,8 \%$) содержит: Ti (4,2 %); Fe (11,8 %); Rb (0,12 %); Hf (60,4 г/т); Th (125,0 г/т); U (47,9 г/т). Среди сопровождающих рудный ансамбль элементов отметим: Be, B, Na, Mg, Al, S, Ca; Ag, Cd; Sn; La, Ce, Sm, Yb, Lu; Hf, Pb, Bi, Th, U; Ag.

В Бунгуро-Чумышском районе в пласте IV обнаружены 8 элементов с рудными кондициями содержаний, в том числе (по ш. «Бунгурская») Ag (334,67 г/т); Hf (144,3 г/т); Ta (31,8 г/т). В сопровождении рудного комплекса выделились высокие концентрации Eu (5,8); Hg (6,8) и других 11 элементов. Пласт VI разреза «Сибиргинский» вместе с гафнием характеризуется наличием рудных – Lu (82,0 г/т); Al (Al_2O_3 – 28,0 %); Ti (2,4 %); Fe (22,2 %) и других (7) элементов. Пласт XXXII по разрезу «Междуреченский» содержит в рудной базе 11 элементов. В их числе Hf (100,0 г/т); Rb (842,9 г/т); U (218,6 г/т). Сопровождающаяся группа элементов (19) в своем составе включает с высоким и аномальным уровнями: Be, Na, Cl, Ca; As, Se; Sn; La (628,6 г/т), Ce (914,3 г/т). Шахта им. Шевякова в пластах с Hf в рудной концентрации (III, V, VIII-IX, XI, XVII) содержит серебро (96,6 г/т), пласт III; Rb (714,0 г/т), пласт V; Ta (61,1 г/т), пласт VIII-IX; Nb (918,5 г/т) в угле пласта XI; там же в углистых породах ($A^d=59,8-85,9$ %) галлий (117,1 г/т); Nb (409,8 г/т); Ta (83,5 г/т); Th (99,8 г/т). В пласте XVII в угле: Ti (1,6 %); Y (327,9 г/т); Zr (0,49 %); Nb (327,9 г/т); Hf (61,5 г/т); там же в 0,1 м прослое породы – Rb (97,2 г/т).

Отметим, что встречаемость гафния по 211 рудоносным шахтопластам Кузбасса составила 67,8 %. Геохимические данные по гафнию из БД «Геохимия углей Кузбасса»: количество проб – 457; элементопределений – 603; встречаемость – 85,3 %; пределы содержаний в угле, г/т: 0,04-36,105; среднее содержание в угле – 3,043 г/т; зольность – 13,07 %; среднее содержание в ЗШМ – 23,28 г/т; коэффициент концентрации по углю – 2,54; коэффициент концентрации по ЗШМ – 2,59 (кларки взяты из монографии Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис [156]; расчеты наши); коэффициент концентрации по глинистым породам – 3,89.

Рудообразующий комплекс гексады элементов по 211 пластоучасткам имеет следующие показатели встречаемости: Y – 73,93 %; Zr – 28,9 %; Nb – 74,4 %; La – 4,74 %; Hf – 67,8 %; Ta – 3,32; сопутствующие: Th – 39,34 %; U – 55,92 %. Наиболее распространенными в этом комплексе являются Nb, Y, Hf, U. Известны 26 минеральных видов с Y, Nb, Ta, Th, U, La (PЗЭ) и другими элементами. Соединения представляют собой алюминаты, арсенаты, фториды, танталаты, титанаты, ванадаты. Элементы-примеси в них

представлены: Na, Ca, U; La (PЗЭ). Формульная составляющая минералов содержит, кроме здесь перечисленных, Al, Fe, B, Pb, Be; F– в силикатах; O, OH, H₂O. Все эти минералы могут быть генетически связаны с формированием осадочных пород, угленосных пород, угленосных бассейнов разной природы, разных климатических условий и эпизодических изменений. Заметим, что Y, Nb почти одинаково представлены в этой выборке и в кузнецких углях: Y – 517 проб; встречаемость – 96,5 %; Nb – 461 проба; встречаемость – 86,0 %. Кларковые их отношения к мировым данным по углям – 2,57Y; 3,88Nb; по золам – 2,8Y; 5,26Nb. Формы нахождения указанных элементов в углях не вполне выяснены. Отметим, что Х. Штрунц (1962, в русском переводе) выделяет изотипное существование следующих минеральных видов: кварц-берменит; $\text{SiSiO}_4\text{-Al[PO}_4\text{]}$; циркон-ксенотим; $\text{Zr[SiO}_4\text{]-Y[PO}_4\text{]}$; хаттонит-моцанит; $\text{Th[SiO}_4\text{]-Ce[PO}_4\text{]}$; данбурит-херлбатит; $\text{CaB}_2\text{[SiO}_4\text{]}_2\text{-CaBe}_2\text{[PO}_4\text{]}_2$; тримерит-бериллонит; $\text{CaMn}_2\text{Be[SiO}_4\text{]}_2\text{-NaBe[PO}_4\text{]}$ [152, с.48]. Указанные кристаллохимические постройки включают нами выделенную триаду – Al, Si, P; диады: Al-Si, Si-P; Y-Zr; Th-Ce; Be-Ca; Ca-Mn; Ca-B; Ca-Be; возможны другие комбинации, которые еще предстоит выявить. Связь Be-B в ЗШМ углей пласта Мощного (разрез «Бачатский»), нами вычисленная, равна 0,89. Это подтверждено изотипным вхождением в структуру кристаллических построек данбурита и херлбатита Ca, Be, B и анионных групп $[\text{SiO}_4]^{4-}$; $[\text{PO}_4]^{4-}$. Связи Be, B и зольности углей пласта Мощного для того же объекта близки к 0,9. Это следует рассматривать как подтверждение возможности их вхождения в изоструктурные (изотипные) кристаллические постройки ортосиликатов и фосфатов.

Золото. Содержания этого металла упоминались в связи с рассмотрением ПГМ группы и других аспектах взаимной связи различных элементов. Наиболее высоким содержанием золота ЗШМ обладает пласт Бреевский. В угле пласта выявлено 3,15 г/т золота, в ЗШМ – 27,16 г/т. Высокие и рудные содержания объектов с золотом сопровождаются здесь Ga, Rb, Y, Nb, Hf, U. В Кузбассе в угольных пластах по базе данных зарегистрировано 82 пробы с золотом с встречаемостью 15,3 %. Пределы содержаний этого металла в углях 0,004-3,15 г/т при средней зольности 16,67 % (зольность

углей по 536 пробам 13,13 %). Золото находится в несколько более богатых зольной массой углях (на 3,54 %). При этом среднее в ЗШМ содержание золота – 0,5 г/т; в угле – 0,083 г/т. Эти данные, с учетом ураганных содержаний, выше соответствующих кларков [156] в 20,8 раза по ЗШМ; в 18,9 раза по углю.

В литературных источниках по золоту приведены данные исследователей А. Ф. Коробейникова [66] о ПГМ и РЗЭ парагенезисах с золотом; Е. Г. Песков предложил оценить перспективы золотоносности аргиллизитов (измененных тонштейнов) центральной и восточной частей Кузбасса [107]. И. В. Китаев сообщил о геохимических закономерностях распределения золота и серебра в осадочных породах и углях [61]. В. М. Ратынский и соавторы информировали о золоте в ископаемых углях [111]. В зарубежной литературе R. W. Boyle привел данные о золоте и его месторождениях [161]; Н. W. Lakin и соавторы рассмотрели данные о геохимии золота при выветривании [174]; различные вопросы транспорта золота, формы его нахождения рассмотрены F. W. Freise (о транспортировании золота органическими подземными растворами) [169]; R. Gayer, D. Richard исследовали колломорфное золото в углях Southern Wales [170]; G. D. Striker и соавторы изучили золото в Usibelli группе углей, Nenana угольного поля, Аляска [179]. В Кузбассе, по нашим данным, промышленное золото сосредоточено в 22 пластах углей или в 26,8 % случаев его присутствия в пределах промышленных кондиций [176]. Промышленная добыча золота, по данным сообщения С. Б. Леонова и соавторов, осуществима из золошлакоотвалов тепловых электростанций [75]. Осаждение золота в присутствии бактерий (дрожжей) и растворение его микроорганизмами и продуктами метаболизма исследовано Е. Д. Коробушкиной и соавторами [67].

Торий и уран в кузнецких углях представлены следующими показателями: торий выявлен в 456 пробах; уран – в 383 по результатам изучения методом ИНАА. Вычисленные показатели встречаемости (Th – 85,1%; U – 71,5 %) отражают высокую распространенность радиоактивных элементов в ЗШМ кузнецких углей. Средние (предельные) содержания в угле тория: 4,011(0,62-42,96 г/т); среднее (при $A^d=13,08$ %) составляет в ЗШМ 30,67 г/т; максимальное в ЗШМ – 328,4 г/т. Отношения к кларкам [156]: 0,19-

13,4; в среднем по кузнецким углям – 1,25 (ЗШМ – 1,3); по максимуму в ЗШМ – 14,1. Аналогичный ряд показателей для урана: в углях 3,844(0,1-16,4 г/т); среднее в ЗШМ – 28,45 г/т; максимальное (при $A^d=13,51\%$) в ЗШМ – 121,4 г/т. Отношения к кларкам 2,02(0,05-8,6); среднее – 1,9; максимальное – 8,1. Укажем, что при отклонениях значений зольности от средней величины, рядовые содержания тория и урана в ЗШМ окажутся ниже (выше), чем приведенные здесь средние данные.

Промышленные содержания Th, U оценены по источнику [1]; условно нами приняты для Th – 100,0 г/т; U – 50,0 г/т в ЗШМ. В Ленинском ГЭР по пласту Польшаевскому I содержание урана – 90,5 г/т; ш. «Заречная»; по Калтанскому разрезу в пласте IXa торий обнаружен в количестве 102,0 г/т. По разрезу «Междуреченский» уран зарегистрирован в XXXII пласте – 218,6 г/т. По шахте им. Шевякова в пласте XI – Th (99,8 г/т). Ф. Н. Шахов, М. Э. Эффенди в 1946 году отметили радиоактивность кузнецких углей [148]. Н. Л. Алукер и соавторы в 1999 году обратили внимание на проблему радиационной безопасности углей Кузбасса [2]; С. И. Арбузов и сотрудники рассмотрели в монографии проблемные вопросы выбросов радиоактивных элементов в окружающую среду по экспериментальным данным при озолении углей [14]. Л. Я. Кизильштейн и соавторы сообщили о радиоактивном загрязнении атмосферного воздуха в районе угольных ТЭС [58]. R. A. Zielinski, R. B. Finkelman изучили радиоактивные элементы в летучей золе и угле (1997), определив формы рассеяния вещества [182].

Уран и сопутствующие элементы продолжают вызывать значительный интерес в научных экологических направлениях исследований и в практике расширения его минерально-сырьевой базы. В этих аспектах отметим значительный вклад отечественных и зарубежных ученых В. И. Данчева и Н. Т. Стрелянова [41], Л. П. Рихванова и сотрудников [115]; J. Kortenski [173], J. S. Leventhal et R. B. Finkelman [175], R. A. Zielinski et R. B. Finkelman [182]. Другие аспекты изучения сырья радиоактивных элементов, ассоциаций вещества с ними, определения содержаний и радиационных норм изложены в цитируемых работах – монографиях и сообщениях. Это направление продолжает развиваться в технологиях измерения спектров излучений возбужденных атомов, которые несут информацию о содержаниях элементов.

За последние десятилетия метод ИНАА стал одним из ведущих для угольной геохимии, изучения продуктов переработки углей, выявления уровней загрязнения окружающей природной среды токсичными элементами; определения наносодержаний благородных и других металлов (элементов) в природных объектах. Применение ядерных методов измерения содержаний химических элементов открывает возможности исследования атмосферных аэрозолей; позволяет определять кларковые содержания урана в осадочных породах – Е. Г. Вертман, Ю. М. Столбов, В. А. Варлачев и др. [31]; осуществлять дозиметрический контроль. Л. Я. Кизельштейн и соавторы в 1989-1991, 1993-1999, 2001-2002 годах опубликовали ряд работ [57-59] по экогеохимии. Часть из них освещает отдельные элементы – Ве; V; Se; Th; S; элементы-примеси. В. В. Иванов в справочнике по экологической геохимии привел данные о токсичных характеристиках р-главных, р-редких, d-редких элементов [49-51].

5.2 Определение вещественного состава продуктов сжигания углей пласта Мощного на котельной разреза «Бачатский»

5.2.1 Анализ данных по главным компонентам золы

Технологические и геохимические показатели углей и технологической золы пласта Мощного разреза «Бачатский» изучены в мониторинговом режиме сжигания по 50 пробам ЗШО, взятых из котельной через 24-48 часов. Показатели химического состава, зольности и плотности проб, приведены в таблице 5.1.

28 ноября 1995 г была опробована партия угля, доставленного на котельную для экспериментального сжигания. Ее показатели зольности и плотности (диапазон и среднее) – A^d , %: 3,4-10,6 (5,23); $d^d_{г}$, г/см³: 1,36-1,42 (1,382).

Таблица 5.1 – Показатели химического состава, зольности, плотности, плотности проб, отобранных в мониторинговом процессе сжигания углей пласта Мошного, %

№ п/п	Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма	Зольность, A ^d %	Плотность, d ^d ₁₅ , г/см ³
Серия 1. Золошлаковые отходы. 29 ноября 1995 г.														
1.	2559	44,41	0,87	25,85	21,46	2,95	1,47	0,40	1,15	0,50	0,56	99,62	10,6	1,74
2.	2560	43,67	0,88	25,00	22,81	3,07	1,64	0,45	1,15	0,58	0,55	99,80	10,5	1,76
3.	2561	44,78	0,94	26,61	20,23	3,10	1,41	0,36	1,16	0,58	0,60	99,77	10,8	1,76
4.	2562	44,30	0,88	24,44	22,87	3,07	1,53	0,46	1,17	0,57	0,56	99,85	10,5	1,77
5.	2563	43,84	0,87	24,68	23,14	3,07	1,58	0,47	1,17	0,42	0,55	99,79	11,1	1,78
6.	2564	44,58	0,94	26,33	20,47	3,21	1,57	0,36	1,13	0,59	0,60	99,78	11,3	1,76
7.	2565	44,38	0,92	26,04	21,22	3,08	1,49	0,39	1,08	0,57	0,58	99,75	10,7	1,75
8.	2566	43,62	0,89	24,74	23,45	2,96	1,49	0,45	1,10	0,47	0,56	99,73	11,1	1,78
9.	2567	43,32	0,88	24,74	23,58	3,03	1,53	0,45	1,09	0,49	0,55	99,66	8,5	1,74
10.	2568	43,97	0,89	24,77	22,60	3,20	1,62	0,43	1,18	0,52	0,55	99,73	10,9	1,77
	Среднее	44,09	0,90	25,32	22,18	3,07	1,53	0,42	1,14	0,53	0,57	99,75	10,6	1,76
Серия 2. Золошлаковые отходы. 1 декабря 1995 г.														
11.	2579	42,97	0,91	25,94	23,79	2,30	1,29	0,47	1,09	0,47	0,58	99,81	8,9	1,78
12.	2580	43,20	0,89	25,46	23,72	2,50	1,36	0,48	1,06	0,57	0,56	99,80	9,8	1,78
13.	2581	39,47	0,80	23,69	29,33	2,44	1,41	0,62	1,04	0,37	0,52	99,69	11,2	1,82
14.	2582	42,76	0,90	25,02	24,80	2,44	1,28	0,48	1,11	0,49	0,58	99,86	11,1	1,77
15.	2583	42,08	0,79	22,81	26,63	2,95	1,66	0,64	1,22	0,48	0,47	99,73	12,8	1,83
16.	2584	42,52	0,90	25,37	24,54	2,42	1,30	0,48	1,11	0,53	0,57	99,74	8,7	1,79
17.	2585	40,09	0,82	23,95	28,12	2,57	1,43	0,58	1,00	0,50	0,52	99,58	11,1	1,81
18.	2586	40,68	0,80	23,66	28,06	2,48	1,39	0,60	1,04	0,40	0,53	99,64	11,4	1,83
19.	2587	42,38	0,90	25,68	24,72	2,30	1,25	0,46	1,01	0,45	0,58	99,73	8,9	1,76
20.	2588	43,25	0,90	25,47	23,57	2,67	1,41	0,46	1,04	0,41	0,57	99,75	9,9	1,76
21.	2589	42,20	0,87	24,80	25,47	2,49	1,39	0,55	1,08	0,44	0,55	99,84	9,8	1,76
22.	2590	42,33	0,87	24,78	25,65	2,35	1,29	0,52	1,03	0,40	0,56	99,78	10,1	1,76

Продолжение таблицы 5.1

№ п/п	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма	Зольность, A ^d %	Плотность, d ^d _{15,3} г/см ³
23.	2591	42,93	0,93	25,79	24,08	2,19	1,24	0,48	1,07	0,48	0,59	99,78	8,8	1,88
24.	2592	43,25	0,90	25,14	24,39	2,20	1,26	0,51	1,10	0,44	0,58	99,77	8,9	1,78
25.	2593	42,25	0,90	24,71	25,62	2,44	1,29	0,52	1,05	0,40	0,57	99,75	10,7	1,80
Среднее		42,16	0,87	24,82	25,50	2,45	1,35	0,52	1,07	0,46	0,56	99,75	10,1	1,79
Серия 3. Золотшляковые отходы. 5 декабря 1995 г.														
26.	2614	54,22	0,85	22,16	12,36	4,80	2,19	0,23	2,11	0,43	0,45	99,80	28,1	1,86
27.	2615	53,94	0,86	22,64	11,99	4,93	2,16	0,21	2,15	0,50	0,47	99,85	24,9	1,84
28.	2616	47,07	0,90	24,21	19,44	3,80	1,68	0,38	1,44	0,38	0,56	99,86	12,3	1,78
29.	2617	52,73	0,90	23,12	11,75	4,87	2,14	0,20	2,20	0,47	0,50	99,88	24,1	1,74
30.	2618	51,84	0,82	21,71	15,56	4,60	2,05	0,30	2,08	0,42	0,43	99,81	26,0	1,86
31.	2619	53,81	0,85	22,35	12,65	4,59	2,28	0,23	2,20	0,45	0,44	99,85	26,1	1,87
32.	2620	54,13	0,86	22,44	12,20	4,67	2,32	0,22	2,14	0,44	0,46	99,88	28,2	1,88
33.	2621	53,64	0,87	22,35	12,42	4,89	2,35	0,23	2,18	0,49	0,44	99,86	28,5	1,86
34.	2622	54,84	0,86	21,91	12,14	4,61	2,20	0,23	2,21	0,45	0,45	99,90	29,5	1,86
35.	2623	54,00	0,86	22,72	11,81	4,92	2,30	0,21	2,12	0,45	0,46	99,85	26,6	1,88
36.	2624	53,65	0,84	21,81	13,16	4,72	2,26	0,24	2,22	0,48	0,44	99,82	27,4	1,84
37.	2625	53,54	0,84	22,10	12,91	4,73	2,42	0,24	2,15	0,45	0,44	99,82	28,1	1,84
38.	2626	54,19	0,85	22,16	12,33	4,77	2,22	0,22	2,13	0,50	0,45	99,82	26,9	1,84
39.	2627	54,13	0,83	22,10	12,62	4,58	2,27	0,23	2,13	0,48	0,44	99,81	26,5	1,87
40.	2628	54,44	0,85	22,33	11,75	4,96	2,29	0,20	2,10	0,48	0,45	99,85	27,26	1,86
Среднее		53,41	0,86	22,41	13,01	4,70	2,21	0,24	2,10	0,46	0,46	99,84	26,03	1,84
Серия 4. Золотшляковые отходы. 7 декабря 1995 г.														
41.	2629	53,96	0,86	22,65	12,20	4,57	2,20	0,23	2,22	0,53	0,46	99,88	26,8	1,86
42.	2630	54,10	0,86	22,30	12,32	4,63	2,24	0,23	2,22	0,52	0,45	99,87	27,9	1,86
43.	2631	53,50	0,84	22,22	12,74	4,80	2,38	0,25	2,19	0,48	0,42	99,82	29,9	1,85
44.	2632	54,46	0,83	22,09	12,44	4,57	2,21	0,24	2,06	0,50	0,44	99,84	27,7	1,84

Окончание таблицы 5.1

№ п/п	Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма	Зольность, A ^d %	Плотность, d ^d , г/см ³
45.	2633	54,06	0,84	22,36	12,32	4,66	2,28	0,23	2,17	0,48	0,44	99,84	26,6	1,86
46.	2634	54,68	0,87	23,05	10,74	4,93	2,21	0,19	2,21	0,52	0,46	99,86	27,7	1,86
47.	2635	53,57	0,83	22,54	12,19	5,00	2,29	0,22	2,20	0,51	0,43	99,78	29,1	1,85
48.	2636	53,84	0,85	22,44	12,12	4,95	2,33	0,22	2,16	0,47	0,46	99,84	29,0	1,91
49.	2637	53,65	0,85	22,65	11,87	5,24	2,24	0,21	2,16	0,53	0,45	99,85	26,9	1,90
50.	2638	50,73	0,77	20,89	17,65	4,44	2,24	0,25	1,93	0,40	0,38	99,68	31,3	1,84
	Среднее	53,66	0,84	22,32	12,66	4,78	2,26	0,23	2,15	0,49	0,44	99,83	28,3	1,86
	Среднее по 50 пробам	48,33	0,87	23,72	18,34	3,75	1,84	0,36	1,62	0,48	0,51	99,79	18,8	1,81

29 ноября в ходе начальной стадии сжигания угля из ЗШО были отобраны 10 проб. Соответствующие показатели – A^d , %: 8,5-11,3 (10,6), d_r^d , г/см³: 1,74-1,78 (1,76). Таким образом, зольность увеличилась в 2,03 раза, плотность – в 1,27 раз. Недожог угля составил: [(100 % – 5,23 %) – 10,6 %] = 84,17 %. За 9 суток экспериментального опробования (29.11.1995 г. - 07.12.1995 г.) недожог углей, в среднем, составил 70,68 %. Средняя зольность (%) опробованных перед сжиганием углей и после по золошлакам указана в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Данные определений зольностей (%) углей и золошлаков

Угли		Золошлаки, A^d	
28.11.1995 г.	5,23	29.11.1995 г.	10,60
30.11.1995 г.	3,25	01.12.1995 г.	10,10
04.12.1995 г.	16,14	05.12.1995 г.	26,03
05.12.1995 г.	17,47	07.12.1995 г.	28,30
Среднее	10,52	Среднее	18,80

Зольность углей, опробованных 28-29 ноября и 4-5 декабря 1995 г., существенно различна. Геохимические данные по зольности оказались «привязанными» как бы к двум различным партиям углей. Для подтверждения этого факта приведем по датам (1. 29.11.1995 г., 2. 01.12.1995 г., 3. 05.12.1995 г., 4. 07.12.1995 г.) средние показатели содержаний компонентов (табл. 5.3)

Таблица 5.3 – Химические анализы групповых проб (1-4), взятых 28.11 – 07.12.1995 г., %

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
1.	44,09	0,9	25,23	22,18	3,07	1,53	0,42	1,14	0,53	0,57
2.	42,16	0,87	24,82	25,50	2,45	1,35	0,52	1,07	0,46	0,56
3.	53,41	0,86	22,41	13,01	14,70	2,21	0,24	2,10	0,46	0,46
4.	53,66	0,84	22,32	12,32	4,78	2,26	0,23	2,15	0,49	0,44
Ср.	48,33	0,87	23,72	18,34	3,75	1,84	0,36	1,62	0,48	0,51

5.2.2 Химические анализы проб золошлаковых отходов

Результаты химических анализов и физических определений по главным компонентам золы приведены в таблицах 5.1 и 5.3. В сериях

проб (1-2 и 3-4) ЗШО заметны отличия по содержаниям SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , MnO , K_2O . В более высокозольных ЗШО (3-4) выше содержания SiO_2 , MgO , K_2O . В серии (1-2) относительно больше Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , P_2O_5 . Средние содержания главных ценных компонентов золы составили: Al_2O_3 – 23,72 %, Fe_2O_3 – 18,34 %, а их сумма – 42,06 %. Эти данные, при совместном рассмотрении, характеризуют кондиционность для извлечения алюминия и железа.

5.2.3 Геохимическая характеристика элементов-примесей пласта Мощного

Имеющиеся данные по пласту Мощному приводятся по показателям 7 угольных проб объединенных в расчетную пробу 2905. Ее средние характеристики: $A^d=4,8\%$, мощность – 21,26 м, d_T^d – 1,32 г/см³. Количество анализированных элементов равно 51, в том числе изучены главные золообразователи оксиды Na, Mg, Al, Si, P, S, Ca, Fe; HCl. По коэффициенту концентрации к глинистым породам содержание хлора аномально, ККГП=12,4. По упомянутому показателю аномальными являются содержания и вычисленные концентрации: Sc(61,8), Co(10,4), Zn(10,96), Ge(13,0), As(641,0), Se(14,4), Sr(16,0), Y(15,3), Zr(27,3), Nb(24,3), Mo(12,0), Ag(402,7), Cs(10,97), Ba(25,7), La(17,59), Ce(15,4), Eu(16,0), Tb(282,5), Yb(27,8), Lu(10,4), Hf(19,96), Ta(18,2), Bi(3473,0), U(20,69). Таким образом, аномальность составила 47,0 % от количества элементов. Наиболее перспективными по содержаниям для технологий извлечения из прогнозируемых золоотходов углей пласта Мощного, вероятно, будут Al, Fe; Sc, Ge, As, Y, Zr, Nb, Ag, La, Tb, Hf, Ta; Th, U (29,4 %).

Из рассмотрения осредненных результатов анализов ЭП по пробам углей, с хорошо выраженными максимумами содержаний редкоземельных металлов тербия и иттербия (ККГП = 282,5 и 27,8), следует вывод о высоком среднем показателе концентраций РЗЭ, в том числе самариевой и эрбиевой подгрупп. При рассмотрении низкзольной группы углей выявились максимумы концентраций по Fe, Mn, Zn, Y, Hf, и Sr. В ЗШО с зольностью ($A^d_{ср.} = 12,47\%$) с аномальными концентрациями оказались Mn, Nb и Ag.

5.2.4 Геохимические связи между элементами и ассоциациями элементов

Общей закономерностью является уменьшение содержаний химических элементов с увеличением зольности, в т. ч. по причине тепловой обработки углей. Указанное, отчетливо замечено для содержаний четырех ассоциаций элементов в углях и ЗШО: 1 – Be, B, F, Na; P; 2 – Cr, Mn; Cu, Zn, Ga; 3 – Sr, Y, Zr, Mo; 4 – La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu. Более сложные распределения присущи, вероятно, для Al; Ca, Sc, Ti, V; Fe, Co, Ni; Rb; Cs, Ba; Hf, Ta, Pb, Th, U.

В качестве предваряющих выводов отметим: а) значительную способность к летучести для первого из отмеченных выше комплексов элементов; б) заметно выраженную способность к накоплению в твердых ЗШО трех элементов – Mg, Si, K; в) фиксированность в уносах и конденсированных ЗШО для третьего из комплексов элементов. Эти выводы подтверждаются и литературными данными по Be, V, Se, Th, другим элементам и компонентам [57]. Так, токсичные Be, F, Cr, Mn, Zn, как правило, выносятся при сжигании углей с газовыми компонентами выбросов. V, Co, Ni, Pb попадают в летучие выбросы тонких золоуносов (дым, сажа) и в определенных количествах аккумулируются в золошлаках. Для всех видов выбросов при сжигании углей марки СС разреза «Бачатский» необходим в будущем мониторинг содержаний Be, F, V, Cr, Mn, Zn, Ga, Rb, Y, Zr, Mo, Yb, Ta, Pb, Th, U. Из них потенциально токсичны: Be, F, V, Cr, Mn, Zn, Pb; естественные – Th, U, другие радионуклиды.

Данные о взаимосвязях содержаний металлов и зольности проб, в которых они выявлены, установлены для значений корреляций 0,75-1,0 по группам: 0,63-0,70 (Eu, Ga, Zr, Tb); 0,7-0,8 (Th, Ce, Sm, Co, Cu, Cs, U); 0,8-1,0 (Mn, Sr, La, Mo, Y, Si, K, Be, B, Zn).

Сочетания элементов по вычисленным коэффициентам корреляции и другим показателям объединены в 4 группы или геохимические ассоциации: 1-0,9, 0,9-0,8, 0,8-0,7, 0,7-0,6 (рис. 5.2). В первую геохимическую группу входят 12 сочетаний: Be - F, Be - Zn, Be - Y, Be - Mo, B - F, F - Cr, F - Zn, F - Y, F - Mo, Zn - Y, Zn - Mo, Y - Mo. Они, возможно, вхо-

дят в минеральные соединения, не разрушающиеся при исследованном температурном воздействии. Такое допущение подтвердится, если в составе анализируемой золы будут найдены кристаллические объекты, в структурах которых участвуют названные пары элементов. Выявлена устойчивая геохимическая ассоциация элементов (Be, B, F, Cr, Zn, Y, Mo).

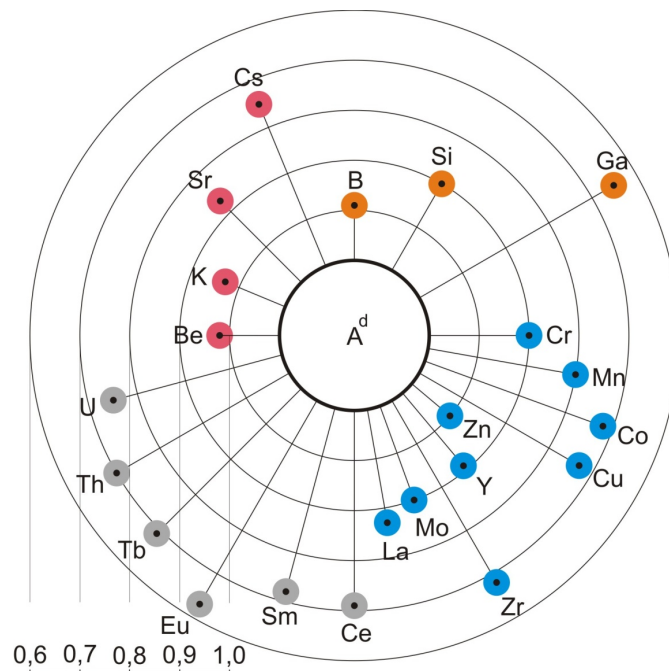


Рисунок 5.2 – Годограф геохимических связей с зольностью химических элементов в углях пласта Мощного угольного разреза «Бачатский»
 Элементы: *s* – Be, K, Sr, Cs; *p* – B, Si, Ga; *d* – Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Y, Zr, Mo, La; *f* – Ce, Sm, Eu, Tb, Th, U. Показатели связей 0,6 – 1,0

Вторая геохимическая группа содержит 30 двойных сочетаний элементов из 16-ти: Be, F, Mg, Si, Cr, Co, Zn, Sr, Y, Mo, La, Ce, Sm, Eu, Hf, K. Вся ассоциация представлена 15 фрагментарными цепями: 1 – Be, B, Cr, Sr, La; 2 – F, U; 3 – Mg, K; 4 – Si, K; 5 – Cr, Sr, Y, Mo, La; 6 – Co, Pb; 7 – Zn, Sr, La; 8 – Sr, Y, Mo, Ce, Tb, Th; 9 – Y, La; 10 – Mo, U; 11 – La, Ce, Sm, Th; 12 – Ce, Sm; 13 – Sm, Hf, Th; 14 – Eu, Th; 15 – Hf, Th. Третья группа содержит 61 пару элементов и включает 24 ряда геохимических ассоциаций: 1 – Be, Mg, Co, Sm, U; 2 – B, Cr, Sr, Y, Mo; 3 – F, Mn, Sr, Cs; 4 – Na, La; 5 – Mg, Si; 6 – Al, Sr, Sm, Hf, Th; 7 – Sc, Rb, Zr, Cs; 8 – Cr, Mn, Th, U; 9 – Mn, Zn, Sr, Y, Mo, Tb, Th; 10 – Fe, Sr; 11 – Co, Ni, Zr, Y, La, Sm; 12 –

Ni, Pb; 13 – Cu, Ga; 14 – Zn, Cs, Sm, Pb, Th, U; 15 – Rb, Th; 16 – Sr, Sm, Eu, Hf, U; 17 – Y, Th; 18 – Mo, La; 19 – Cs, La; 20 – La, Eu, Hf; 21 – Ce, Eu, Hf, Th; 22 – Sm, Eu, Tb; 23 – Eu, Hf; 24 – Tb, Th.

Рассматривая связи первой, второй и третьей групп, отметим, в качестве отдельных примеров, что бериллий имеет выраженную склонность ассоциировать с F, Zr, Mo (1); с B, Cr, Sr, La (2); с Mn, Co, Sm, U. Следовательно, имея только данные анализов по Be, имеется возможность вычислить содержания в пробах 12 перечисленных выше элементов. Рассматривая, в целом, массив геохимических данных по ЭП, можно выделить ряд опорных (базовых) элементов, образующихся в сети связей, центры кластерных групп (ассоциаций) элементов. В качестве иллюстрации выявленных множественных связей элементов приведем фрагмент диаграммы геохимических корреляций содержаний элементов (вычисленных на зольную массу) по 90 пробам углей пласта Мощного и их ЗШО в мониторинге экспериментального сжигания (рис. 5.3). На рисунке 5.3 хорошо различимы базовые элементы – Be, B, F, Cr, Zn, Sr, Y, Mo, имеющие разветвленные тесные геохимические связи с другими элементами.

При рассмотрении корреляционных связей нами использован опыт исследований на нашем материале С. В. Шаклеина, Н. В. Митиной [79, 88]. Редкоземельные металлы (TR, PЗЭ, PЗМ) подразделяются на две подгруппы: цериевую (TR_{Ce}) и иттриевую (TR_Y). Подгруппы содержат: TR_{Ce} – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd; TR_Y – Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Также выделяют три соподчиненные подгруппы: лантановую (TR_{La}), иттриевую (TR_Y) и скандиевую (TR_{Sc}). Они включают: TR_{La} – La, Ce, Pr, Nd; TR_Y – Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho; TR_{Sc} – Er, Tm, Yb, Lu [129]. По В. И. Смирнову, А. И. Гинзбургу и другим авторам PЗЭ характеризуются высокой фторофильностью и экстрагируются в форме щелочнофторидных, щелочнофторгидроксильных и щелочнокарбонатных комплексов. Высокое сродство для PЗЭ отмечено с F⁻, [CO₃]²⁻, [PO₄]³⁻, [SO₄]²⁻.

Из них комплексы с Y и TR_Y более устойчивы, чем TR_{Ce}. Поэтому в водных потоках TR_Y выносятся на большие расстояния, чем TR_{Ce}. Ионные радиусы PЗЭ, U, Th являются близкими, поэтому PЗЭ часто сопровождает урановую и ториевую минерализацию TR_Y³⁺, которая тесно связана с Sc³⁺, Mn²⁺, Zr⁴⁺; TR_{Ce}³⁺ в минеральном содержимом сопровождается Sc³⁺, Ba²⁺, Th⁴⁺. Кальцию (Ca²⁺) обычно сопутствуют TR_Y³⁺ и TR_{Ce}³⁺. В щелочной среде Ce³⁺ легко окисляется до Ce⁴⁺, выпадает в осадок и легко отделяется от других PЗЭ. В кислой среде Yb³⁺, Sm³⁺ и особенно Eu³⁺ восстанавливаются до двухвалентного состояния. При этом Eu²⁺ становится полным геохимическим аналогом Sr²⁺ и отделяется от всех других PЗЭ. В этом специфика геохимии Eu. Сорбционная способность TR_{Ce} и TR_Y уменьшается в ряду La - Lu, что также определяет фракционирование PЗЭ. Кларки иттрия и PЗЭ приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Кларки иттрия и PЗЭ (г/т) для земной коры и главных типов пород [129]

Y	TR	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Земная кора															
23	122	16	31	4,5	17	4,2	1,3	4,2	0,7	3,8	0,9	2,6	0,4	2,3	0,3
Толиты океанические															
32	82	33	10,3	1,9	9,9	3,5	1,3	5,0	0,9	5,2	1,2	3,5	0,5	3,2	0,5
Базальты континентальные															
27,3	189	32	59	7,8	40	6,6	1,9	6,2	1,0	н/д	1,0	2,9	0,4	2,6	0,4
Граниты															
42	288	50	100	11,4	46	8,3	1,1	7,6	1,1	н/д	1,6	4,7	0,7	4,8	0,8

По опыту изучения кузнецких и других углей расчетные содержания иттрия, суммы PЗЭ и отдельных элементов не должны превышать 5-10 кларков для базальтов и гранитов. Таким образом, прогнозируемые нами предельные уровни содержаний PЗЭ в зольной части углей составят в г/т: 450 для Y, 3000-5000 TR, 500 La, 1000 Ce, 120 Pr, 500 Nd, 90 Sm, 20 Eu, 80 Gd, 10 Tb, 20 Ho, 50 Er, 10 Tm, 50 Yb, 10 Lu. В определенных условиях при формировании каустобиолитов происходит накопление в них Y и TR_Y и «тяжелых» PЗЭ (т. е. TR_{Sc}). В нашем примере выявлены (с округлением до 0,5-1 г/т): 85 для Y, 235 TR, 52 La, 114 Ce, 26 Nd, 11 Sm; 2,4 Eu; 1,8 Gd; 2,1 Tb; 24 Yb; 1,2 Lu. Из них прогнозные уровни накопления в

углях превышают Y, Tb и Yb. Они могут рассматриваться как потенциально ценные элементы, склонные к концентрированию в углях пласта Мощного.

5.2.5 Зависимости физических и геохимических показателей при сжигании углей пласта Мощного

Распад угля с образованием новых носителей элементов также возможен при нагревании (рис. 5.4). Молекулы с Si и Al разрушаются при образовании новых продуктов в интервалах $A^d = 10,0-15,0 \%$ и $30-35 \%$ в температурных условиях, отвечающих пределам $300-450$ и $900-1000^\circ\text{C}$. Соединения с железом разрушаются максимально с образованием твердых фаз с $40,0 \%$ Fe_2O_3 (исходные до $9,1 \%$). Продукт с Fe в окончании хода процесса содержит в сумме 30% Fe_2O_3 . Распад соединений бериллия завершается при зольностях до 15% , при конечной температуре 600°C . Затем, в температурной области $900-1000^\circ\text{C}$, образуются новые твердые фазы с натрием. Аналогичные процессы распада молекул с Mg, Ca также выявлены. Стронций в начале процесса (до 450°C) теряет содержания в 5 раз, что подтверждает существенную низкотемпературную летучесть его исходного соединения (SrCO_3) при распаде молекулы.

Соединения Ba в интервале температур $300-450^\circ\text{C}$ при распаде-синтезе молекул, в целом, приводят к увеличению содержания элемента ($0,1-0,6 \%$). С дальнейшим ростом температуры системы содержания бария стабилизируются на уровнях $0,2-0,3 \%$. Соединения бора теряют содержания от $0,07$ до $0,01 \%$ при нагреве до 150°C . Далее его содержания стабилизируются при достижении нагрева до 500°C и составляют $50-100$ г/т до температуры среды $1100-1200^\circ\text{C}$. Галлий теряет содержания в пробах с зольностями $5-12$; $15-33 \%$ (рис. 5.5).

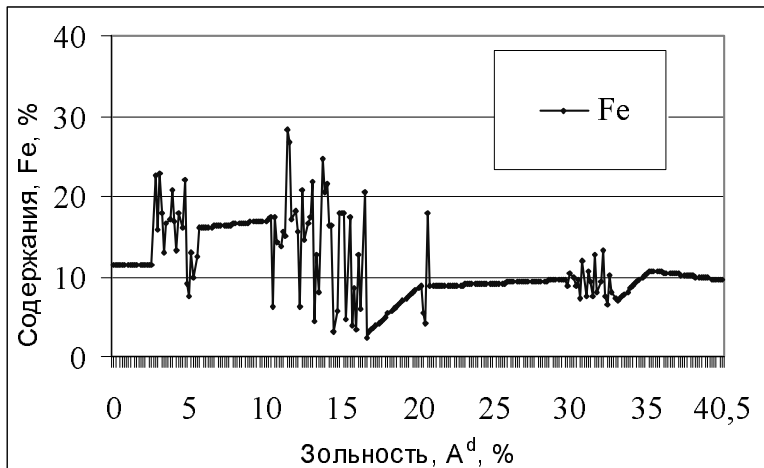


Рисунок 5.4 – Изменение содержаний главных элементов золы углей пласта Мощного при сжигании (Fe)

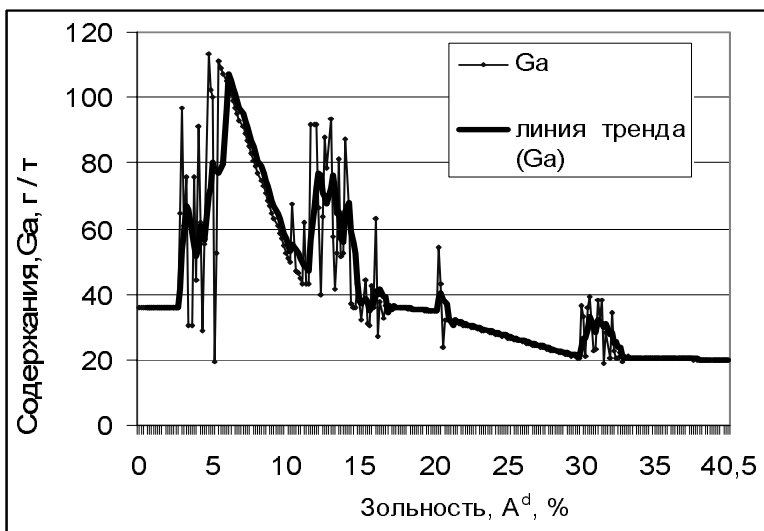


Рисунок 5.5 – Спектры изменения количеств p – элементов при тепловой обработке углей марки СС пласта Мощного на котельной угольного разреза «Бачатский» (Ga)

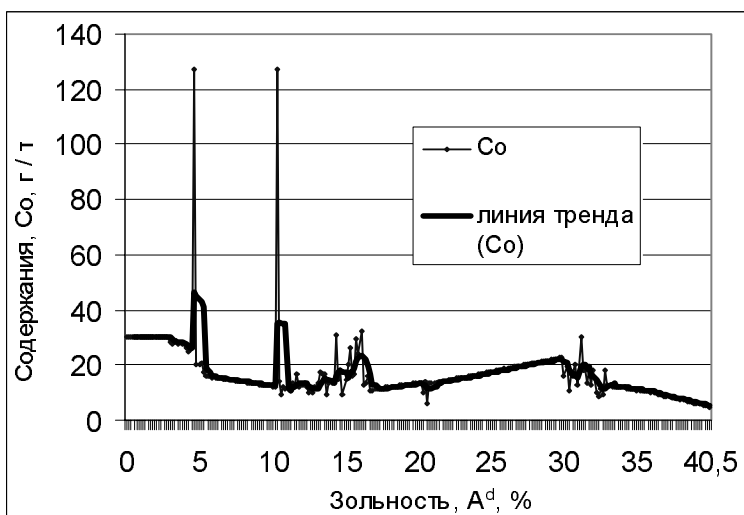


Рисунок 5.6 – Спектры изменения количеств d – элементов при тепловой обработке углей марки СС пласта Мощного на котельной угольного разреза «Бачатский» (Co)

Рассмотрим ход распада молекул соединений d -элементов. Скандий распределен равномерно в пределах 10-25 г/т в интервале зольностей проб

5-35 % с уменьшением содержаний до 5 г/т при достижении $A^d = 40,5$ %. Пиковые содержания 45-50 г/т найдены в пробах с низкой и средней зольностью. Содержания Ti, в основном, низкие – 0,2-0,5 %. Аномалия обнаружена в одной пробе – 14,5 %. Ход изменения содержаний ванадия отличается наличием многочисленных колебаний с максимумами от 250 до 550 г/т. Хром стабилизируется по содержаниям (50 г/т) в пробах при зольностях 15-20 %. В низкозольной области (до температур 150-450°C) его содержания убывают от 270 до 50 г/т. Содержания марганца относительно постепенно убывают от 0,8 до 0,2 % к $A^d = 35$ %. В тех же пределах высокие (0,8-1,2 %) содержания снижаются к $A^d = 37$ %. Кобальт устойчив по средним данным тренда до $A^d = 30-33$ % при содержаниях 10-50 г/т (рис. 5.6). Аномалии найдены при 5-12 % A^d по двум пробам (до 130 г/т).

Никель по тренду содержаний характеризуется показателями 10-40 г/т и имеет два пика при 12-15 % A^d – 110-140 г/т. Соединения меди разлагаются по достижении 5 % A^d (150°C) от содержаний 400 г/т до 50-70 г/т. С повышением показателей зольностей происходит плавное уменьшение в пробах количества меди от 100-250 г/т до 50 г/т.

Кривая линия характеристик содержаний цинка почти аналогична линии меди. Содержания цинка по линии тренда – 0,02-0,05 %. В максимуме, при $A^d = 3-4$ %, в одной пробе аномалия зафиксирована на отметке 0,18 %. Иттрий характеризуется при достижении 5 % A^d резким падением содержаний от 350 до 100-150 г/т. В области $A^d = 10-18$ % найдены три пробы с аномалиями 320-360 г/т. Линия тренда дисконтируется от 5 % до 35 % A^d в пределах 50-110 г/т. По цирконию имеются два близкорасположенных максимума несколько выше 2500 г/т при $A^d=12-13\%$. Характер тренда не устойчивый для всей области сжигания с пиками 1100, 1500, 1000, 700 г/т. Условная средняя область тренда по Zr фиксируется на отметках 500-1000 г/т до $A^d=15$ % и 500-250 г/т при $A^d=15-40$ %. Молибден имеет максимумы содержаний в области A^d до 5 %, в пределах, 45-65 г/т с уменьшением содержаний по отрезку линии $A^d=15-40$ % при плавном уменьшении показателей тренда от 10 до 3 г/т (рис. 5.7). Гафний имеет конфигурацию графика, почти в деталях повторяющую картину для Zr (рис. 5.8). Отличия – в содержаниях по максимумам 15-20; 29-19; 10-15 г/т. Аналогично по трен-

ду, но с меньшими пределами от 15 до 7 и от 7 до 10 г/т. Тантал резко обнаруживает колебания по содержаниям от 9-7 до 3-1 г/т при $A^d=5-20\%$. Следующие возрастания содержаний от 2 до 5 г/т выявлены для области $A^d=20-30\%$. Общей закономерностью сценария хода температурного процесса при $150-1000^\circ\text{C}$ является уменьшение содержаний d-элементов, нередко скачкообразное по достижению границ зольностей 5, 10-15, 30-35 % A^d . Следующая группа f-элементов (PЗЭ; Th, U) имеет собственные отличия по распределению содержаний в ходе возрастания теплового воздействия на угольно-золашлаковую массу в топочной камере. Соединения церия наиболее заметно преобразуются в трех областях с $A^d=5-7$; 10-20; 30-35 %. В первой – размах содержаний максимален 100-270 г/т; во второй – ограничен пределами 250-70 г/т; в третьей – 50-100 г/т. Линия тренда, повторяя размещение точек по рядовым пробам, отвечает содержаниям церия в 150-200; 170-100; 70-100 г/т.

Для самария в тех же пределах A^d (аналогично для Се) происходит разрушение соединений с уменьшением содержаний элемента от 25 до 10 г/т. Существует аномальная точка (30 г/т) при $A^d=10\%$. От 10 до 35 % A^d тренд линии Sm находятся в пределах 15-10 г/т. Европий почти равномерно (2-6 г/т) распределен в пробах с $A^d=5-35\%$ (рис. 5.9).

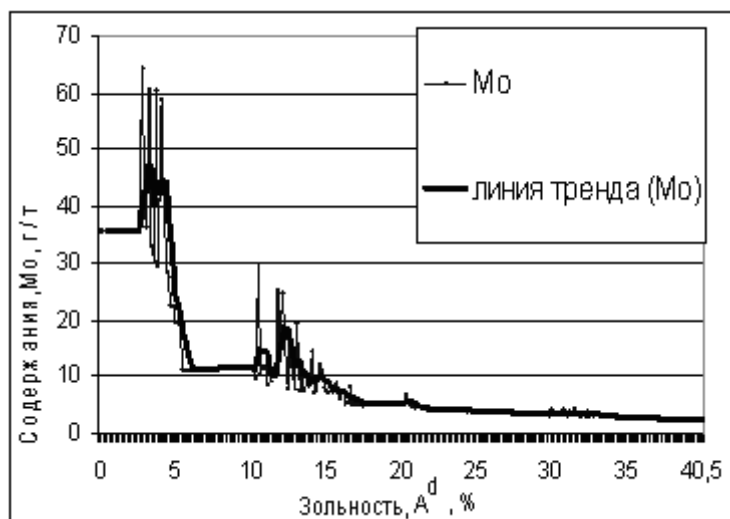


Рисунок 5.7 – Спектры изменения количества d – элементов при тепловой обработке углей марки СС пласта Мощного на котельной угольного разреза «Бачатский» (Mo)

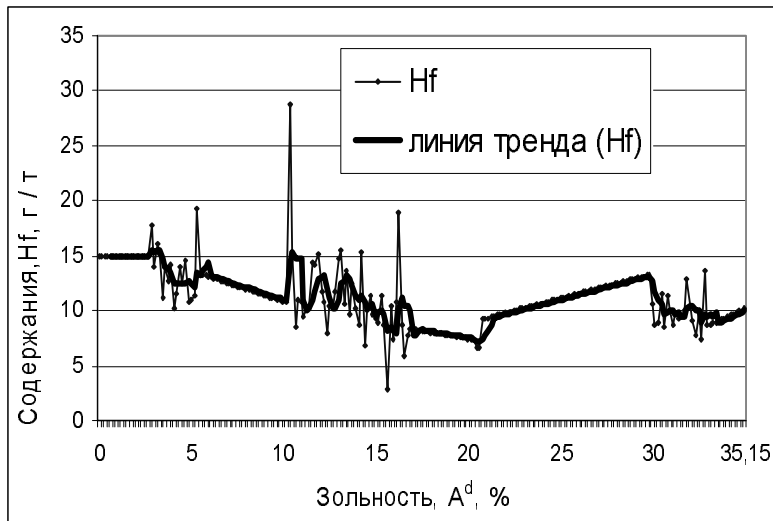


Рисунок 5.8 – Спектры изменения количества d – элементов при тепловой обработке углей марки СС пласта Мощного на котельной угольного разреза «Бачатский» (Hf)

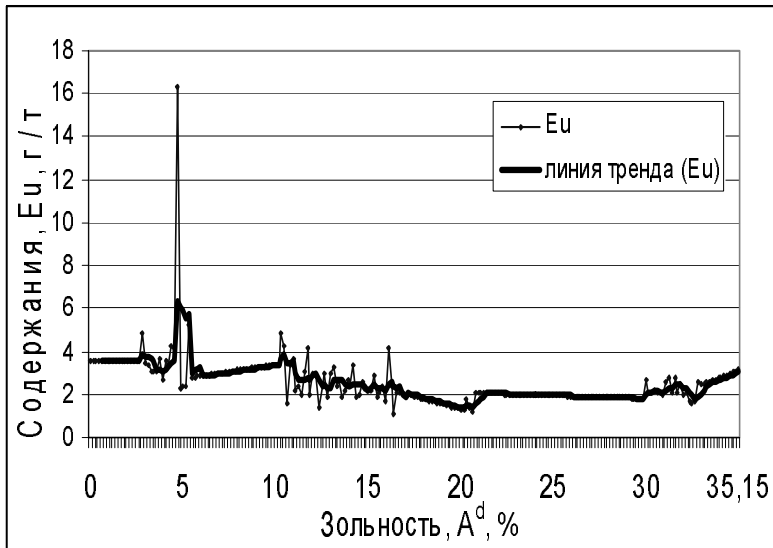


Рисунок 5.9 – Спектры изменения количества f – элементов при тепловой обработке углей марки СС пласта Мощного на котельной угольного разреза «Бачатский» (Eu)

Показатели трендовых содержаний превышают 6 г/т; аномалия одна – 30 г/т при $A^d=5$ %. Тербий по шкале зольностей с $A^d=5$; 10-20; 30-35 % характеризуется распадом соединений с образованием, соответственно, аномальных содержаний 7; 5; 3 г/т. Тербий имеет разброс точек от $n \times 0,1$ до 7 г/т; аномальные значения содержаний отвечают интервалу $A^d = 4-6$ %. Содержания иттербия существенно нестабильны между уровнями 10-50 г/т. Аномалия свыше 60 г/т приходится на пробу с $A^d=12$ %. Лютеций также неравномерно распределен в пределах с разной зольностью от 1 до 3 г/т по тренду. Аномалия с отметкой более 4,5 г/т имеет зольность близкую к 5 %. Торий и уран несколько различны по характеристикам распределений. Торий по значениям тренда отвечает средним уровням 10-30 г/т; уран $0, n \times 10$ до 25 г/т. В области значений $A^d=10-12$ % выявлены аномалии Th бо-

лее 80 г/т, урана 50 г/т. Общей закономерностью линий тренда элементов является наличие аномалий по содержаниям на отрезках значений зольности 5-30%.

В итоге, подчеркнем особенности распределения содержаний главных компонентов золы углей пласта Мощного (марка СС) от зольности проб, отобранных в ходе сжигания (рис. 5.10). Компоненты SiO_2 ; CaO ; MgO ; K_2O с увеличением содержания и увеличением зольности проб обладают линейным характером прямой зависимости; компоненты TiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; MnO ; Na_2O ; P_2O_5 уменьшили содержания с увеличением зольности – с линейным характером обратной зависимости.

Показатели плотности ЗШО отвечают двум областям точек зависимости $d_r^d - A^d$. Область точек, в основном, расположенная ниже среднего показателя $1,5 \text{ г/см}^3$, характеризует начальную стадию распада угольного материала при значениях образовавшихся при сжигании продуктов с $A^d = 5,0-22,0 \%$ при температурах до 600°C (рис. 5.11). Другая область точек при показателях $d_r^d = 1,7 - 1,9 \text{ г/см}^3$ отвечает зольностям $A^d = 10,0-35,0 \%$ в температурном поле $300-1050^\circ\text{C}$. Эти показатели могут быть истолкованы как результат дифференциации плотностей углей и золошлаков в ходе их нарастающего прогревания в топке котла. Температура нагрева связана с зольностью эмпирической зависимостью. Показатели зависимостей плотностей угля и золы в мониторинге иллюстрированы на рисунках 5.12, 5.13. При проектировании исследовательских работ или добычи углей для глубокой переработки необходимо иметь в виду, что изменчивость показателей содержаний s, p, d, f-элементов для одного пласта по простиранию может быть значительной. По пласту Мощному на угольном разрезе «Бачатский» она составила за 5 лет n-раз, в том числе для групп элементов: s – 4,0; p – более 7,0; d – более 10,0; f – более 7,0.

5.2.6 Прогноз оценки состава минерального сырья для извлечения оксидов алюминия и железа из золы углей

Традиционная оценка сырья для извлечения алюминия опирается на содержания компонентов и показатель кремниевого модуля. Для сравнения приведены данные с составом зольной части углей пласта Мощного (табл. 5.5).

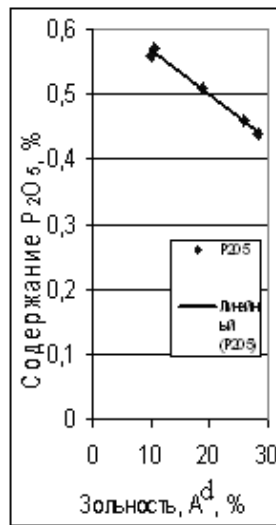
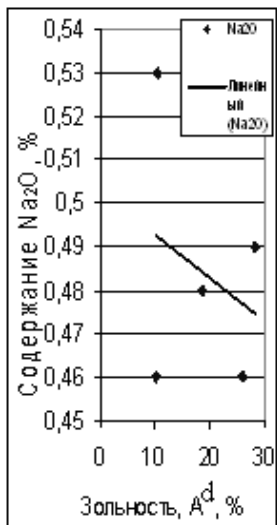
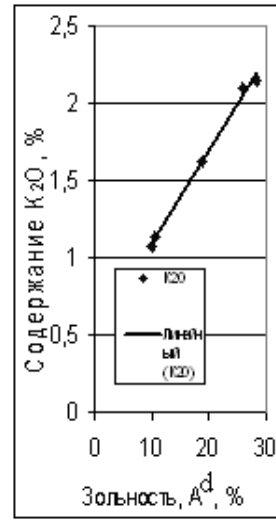
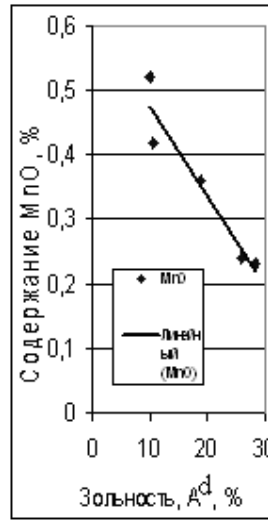
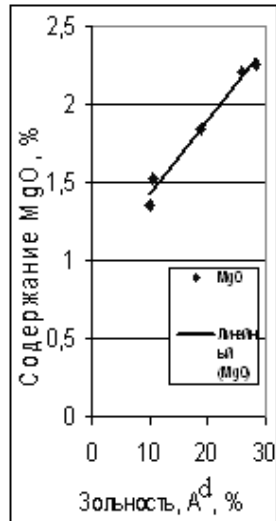
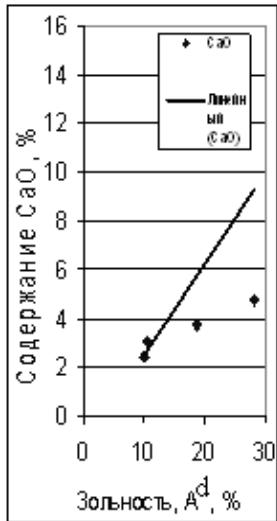
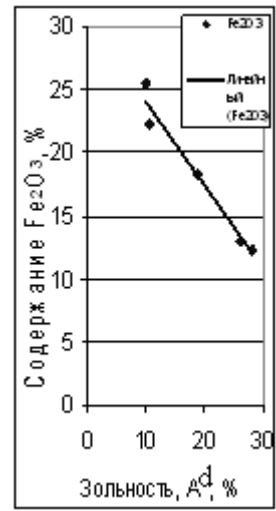
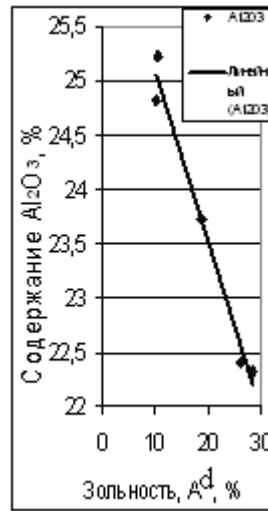
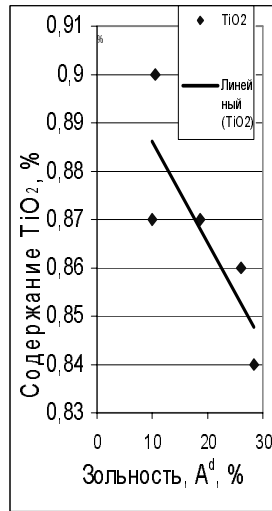
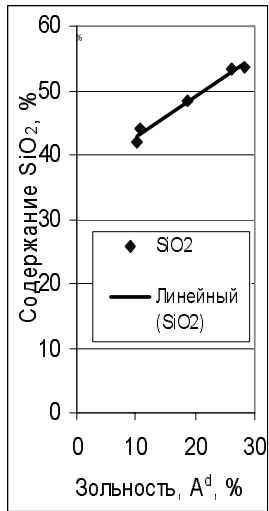


Рисунок 5.10 – Зависимости содержаний компонентов золы и зольности в пробах, отобранных при сжигании углей марки СС на котельной угольного разреза «Бачатский»

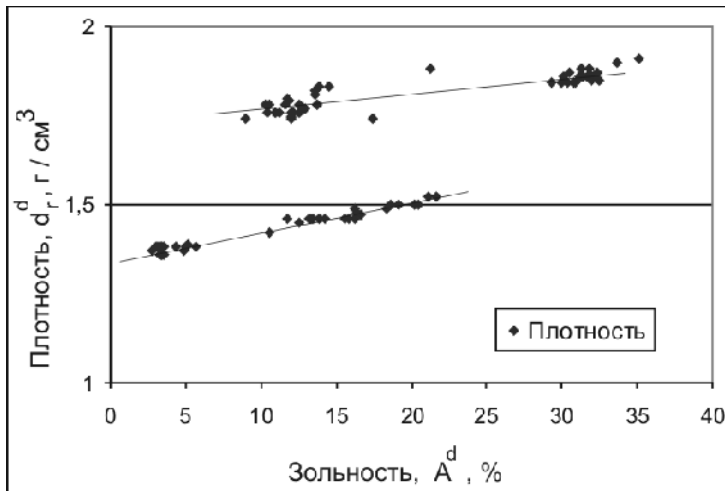


Рисунок 5.11 – Пределы плотностей ЗШМ углей при сжигании на котельной разреза «Бачатский»

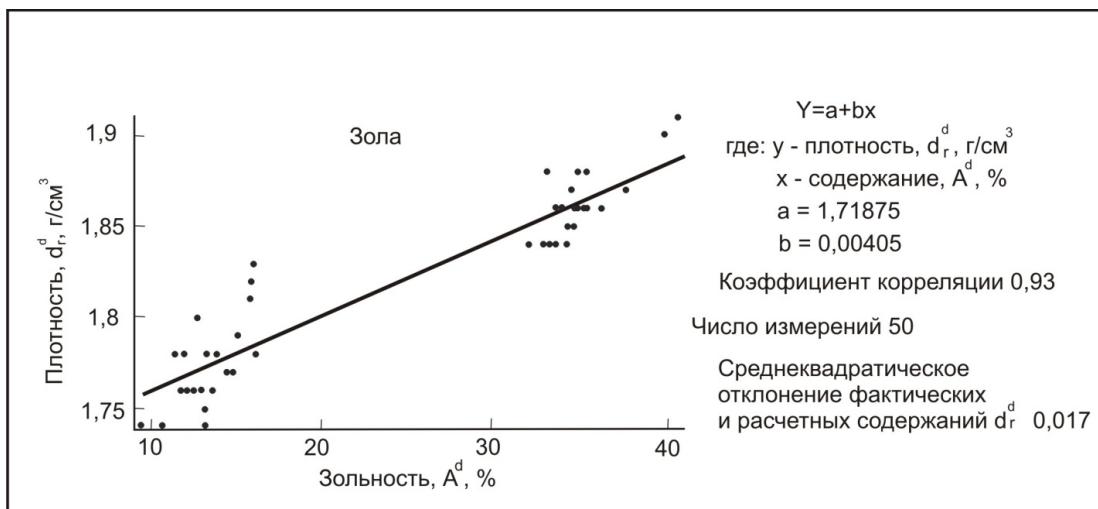


Рисунок 5.12 – Зависимость зольности и плотности зольных проб при сжигании углей марки СС пласта Мощного на котельной угольного разреза «Бачатский»

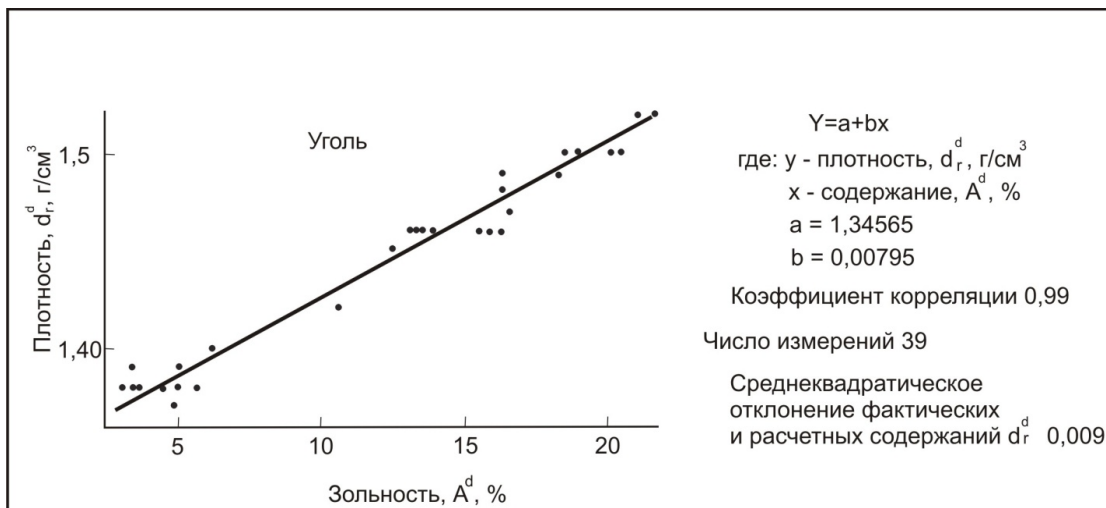


Рисунок 5.13 – Зависимость зольности и плотности проб углей при сжигании углей марки СС пласта Мощного на котельной угольного разреза «Бачатский»

Традиционное сырье (бокситы) содержат мало кремнезема и имеют наивысший модуль. Нефелиновое сырье имеет низкий кремниевый модуль ($\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$). Муллит – продукт разложения каолинита при нагревании – обладает наибольшим содержанием глинозема при кремниевом модуле около 3,0. Он также не содержит вредных примесей (Ca, Mg, Na, K, Fe), которые в различных количествах присутствуют в бокситах, нефелиновых рудах, каолинитах и давсонитах из различных месторождений. Муллит – составная часть ЗШО от сжигания углей. По плотности он всего на 0,38 г/см³ больше плотности кварца. При эффективном способе извлечения муллита из ЗШО последние могут рассматриваться как сырье конкурентоспособное бокситам.

Таблица 5.5 – Показатели содержаний компонентов, кремниевого модуля, плотности минералов в составах глиноземного сырья

Минерал	Компонент – среднее/пределы		Модуль	Плотность,
	SiO_2 , %	Al_2O_3 , %	$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$	d, г/см ³
Корунд [78]	-	97,8	-	3,98-4,02
Бокситы [118]	6,36/ (3,41-9,31)	47,99/ (41,69-54,29)	7,54/ (5,83-12,23)	3,7
Диаспор [78]	-	82,62	-	3,39(?)
Нефелин *	42,68/ (41,02-45,20)	33,68/ (32,27-34,34)	0,79/ (0,76-0,79)	2,56-2,65
Муллит [44]	25,5/ (22,8-28,2)	74,5/ (71,8-77,2)	2,92/ (2,74-3,15)	3,03
Каолинит [78]	46,55(45,47)/ (43,98-46,15)	39,50(38,61)/ (36,58-39,82)	0,85(0,85)/ (0,83-0,86)	2,61-2,68
Давсонит [45]	-	35,42	-	2,44
Кварц [78]	100,0	-	-	2,65
ЗШО	26,87/ (0,08-53,66)	45,98/ (22,32-69,64)	1,71/ (1,3-279,0)	2,1(?)

Примечание: ЗШО – золошлаковые отходы, наши данные и расчеты; * – по данным «Химические анализы изверженных горных пород и породообразующих минералов; сост. В. Ф. Морковкина.- М.: Наука, 1964.- 250 с.».

5.2.7 Предложения для разработки новых технологий потребления и утилизации минерального содержимого отходов сжигания углей

Суммируя результаты изучения углей пласта Мощного, приведем избранные содержания элементов в расчете на зольную часть углей (в г/т) с округлением до целого числа г/т: Be (21), Al (105496), Sc (62), Ti (22628), Fe (114426), Rb (352), Sr (2600), Y (280), Zr (3445), Nb (219), Ag (62-?), La (855), Ce (860), Sm (38), Eu (11), Tb (3), Yb (33), Lu (5), Hf (41), Ta (10); Th (50), U (43). Показатели содержаний Be, Ti, Sc, Fe, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, РЗЭ, Hf, Ta, Th, U здесь приведены в качестве комплекса ценных элементов, которые могут быть извлечены попутно при выделении глинозема из ЗШО. Железо и титан в ЗШО обычно присутствуют в виде ферромагнитных минералов (магнетит, маггемит, титаномагнетит и других), которые предварительно следует извлечь из ЗШО с применением различных технологий магнитной сепарации.

При обнаружении указанных содержаний перечисленных элементов в технической золе с зольностью более 97 % и встречаемости элементов не ниже 85 % можно уверенно утверждать, что применяемые технологии извлечения металлов или их соединений позволят получить конкурентоспособную минеральную продукцию.

Торий и уран из приведенного списка не следует здесь относить к металлам, предназначенным для продажи. Указанные уровни их содержаний являются предельными для ЕРН. Серебро можно извлекать, но его содержание характеризует только 1% встречаемости в ЗШО. Пониженная встречаемость (%) зафиксирована для Rb (60), Nb (8,9), Ag (1,1), Ta (75,6). Аномальные и высокофоновые уровни содержаний выявлены для B, Na, Mg, Al, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, Ba, La, Ce, Yb.

Рассмотрим кратко примеси, сопровождающие главные зольные компоненты. Бор сопровождают Mn, Zn, Zr, Hf со среднефоновыми концентрациями. Кальций – Mn, Yb. Титан – Mn, Zr, Nb, Yb, что характерно для данной ассоциации, включающей также Zn, Y, Hf. Железо и марганец обычно совместно сопутствуют в аномальных по содержаниям этих элементов в пробах. Серебро связано с Mn, Hf. Хром (в пробе 2638) имеет в

пересчете на золу содержание свыше 5185 г/т. Для него по геохимическим зависимостям проведены расчеты содержаний 18 элементов: Fe, Co, Ni, Cu, Y, Zr, Mo, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Lu, Hf, Pb, Th, U. Пределы содержаний: Fe (6,02-6,07 %); остальные, г/т: Co (7,7-9,8), Ni (10,5-6,2), Cu (59,9-37,5), Y (86,5-46,9), Zr (380,8-312,5), Mo (12,3-3,1), Cs (3,5-2,4), La (16,0-44,7), Ce (43,4-83,4), Sm (4,2-8,1), Eu (0,8-2,1), Tb (1,6-2,0), Lu (0,8-0,9), Hf (3,0-9,1), Pb (10,3-6,2), Th (6,2-15,0), U (4,8-6,8).

Таким образом, отметим, что недостаточно соответствуют данные по Mo, La и Hf; остальные – удовлетворительно. Приведенный пример расчета имеет два аспекта. Во-первых, аномалия содержания по одному элементу не всегда сопровождается аномальными содержаниями по другим элементам, даже если их диады проявили себя как тесно коррелирующие в пределах не аномальных содержаний. Во-вторых, в пределах не аномальных содержаний вычисленные по различным зависимостям содержания элементов достаточно удовлетворительно согласуются (близкие к кларкам).

Аномалии естественных концентраций металлов в углях предположительно имеют двойственную природу, в том числе по механизмам накопления элементов в органическом и неорганическом минеральном веществе углей с образованием сложных разветвленных ассоциаций. Ядрами таких кластерных аномалий могут быть Be, F, Sr, Cr, Mo, Zn и другие металлы. По связям относятся к инфильтрационно-сорбционным процессам поглощения (торфом, углями) вещества и его накопления (рассеяния) элементов под воздействием пропитывающих водных растворов.

Упомянутые процессы на стадиях осадконакопления, диагенеза и последующего метаморфизма нередко сопровождаются метасоматическими явлениями разрастания минеральной массы карбонатов, барита, каолинита, сульфидов в отдельных частях пластов углей или углевмещающих пород. Так, к инфильтрационно-метасоматическим аномальным по содержанию германия относятся угли марки Д (техн.) участка Южного Новиковского месторождения Сахалинской области, где на низком фоне содержаний 40 элементов резко выделяются промышленные содержания германия, сопровождаемые несколько более высоким фоном вольфрама [146]. Де-

тальный анализ аномальных металлосодержаний в углях может привести к выявлению в них рудных месторождений, что совершенно изменило бы подход к инновационному инвестированию угольной отрасли в Кузбассе. В подтверждении этого сошлемся на акцессорный магнетит, который наиболее распространен в изверженных породах. Содержащиеся в нем элементы-примеси, как правило, отражают рудоносную специализацию (табл. 5.6). Постановка работы по исследованию техногенного магнетита из золошлаков от сжигания кузнецких углей может привести к выявлению не только высоких содержаний перечисленных в таблице 5.6 элементов, но и раскрыть геохимическую специализацию сжигаемых углей, их магнетитовых концентратов, которые будут получены из текущих или лежалых ЗШО.

Таблица 5.6 – Элементы примеси в магнетитах

№ п/п	Элемент	Содержание, г/т	Место взятия пробы	Авторы	Год изд.
1.	Sc	80	Кольский п-ов, оливиниты	А. А. Кухаренко	1962
		25	Лесной Вараки Турьий п-ов, щелочные породы и пегматиты Ковдорское м-ние, метасоматиты Горный Алтай, Талицкий массив	М. М. Клер А. А. Кухаренко М. М. Клер	1962
		5		А. А. Кухаренко М. М. Клер	1962
		10		В. В. Ляхович	1959
2.	V	1000	Горный Алтай, Еловский массив	В. В. Ляхович	1959
		4100	Урал, гранитоиды	Д. С. Штейнберг А. И. Малахов В. Г. Фоминых	1964
		12000	Урал, титаномагнетит	Д. С. Штейнберг В. Г. Фоминых	1962
		700	Зап. Саяны, Анзасская группа м-ний	В. А. Вахрушев	1965
		700-2600	Алтае-Саянская обл; гранитоиды	В. А. Вахрушев	1962
3.	Co	110	Вост. Саяны, Ирбинская группа м-ний	В. А. Вахрушев	1965
4.	Zn	310	Горная Шория, Кондомская группа м-ний	В. А. Вахрушев	1965

Продолжение таблицы 5.6

5.	Ga	100	Приазовье, щелочные породы	Г. К. Еременко А. А. Вальтер В. И. Клименчук	1963
		50	Горный Алтай, Усть-Калманский массив;	В. В. Ляхович	1959
		22	Кузнецкий Алатау, Ампа-лыкское м-е	В. А. Вахрушев	1962
6.	Ge	11,5	Украина, Елисеевское м-ние; выявлена способность сорбции магнетитом германия до 500-900 г/т	Б. Ф. Мицкевич К. И. Лазебник	1962
				О. В. Щербак	1962
7.	Rb	30	Приазовье, мариуполит	В. П. Куц В. П. Беличенко	1963
8.	Sr	700	Хибины, Кукисвумчорр	Л. Л. Шилин Г. Н. Муравицкая А. М. Сидорычева	1963
9.	Zr	80	Португалия Лваш, диорит Брамбург, базальт	С. Ф. Соболев	1962
		130		С. Ф. Соболев	1962
10.	Nb	> 800	Метасоматические породы	М. А. Кудрина	1963
11.	Mo	31	Тянь-Шань, изверженные породы		
12.	Sn	70	Азербайджан, кварцевый диорит Мехманинского массива	Г. В. Мустафаев	1964
		5-50	Алтае-Саянская обл., гранитоиды	В. А. Вахрушев	1962
13.	Ta	>29	Метасоматические породы	М. А. Кудрина	1963
14.	Au	0,048	Алтае-Саянская обл., изверженные породы	Ю. Г. Щербаков Г. А. Пережогин	1964
15.	Pb	6-20	Тянь-Шань, Сусамырский батолит	Л. В. Таусон, Л. А. Кравченко	1956
16.	U	8-15	Тянь-Шань, Сусамырский батолит	Л. Л. Леонова Л. В. Таусон	1958
		50	Южный Казахстан, Хан-таусский массив	Л. Л. Леонова О. С. Ринне	1964
		100-300	Горный Алтай, Черновинский массив	Л. В. Таусон	1956
		0,01-9,52	Горная Шория, Верхне-Кондомский массив	Д. К. Осипов Р. С. Журавлев Г. М. Комарницкий	1964

Примечание: примеры приведены из справочника [78].

Предположение О. В. Щербак (1962 г.) о сорбционной способности магнетита к извлечению германия из водных растворов может быть использовано на коксохимзаводах для его экстракции из надсмольных вод. Изучение констант кристаллических решеток минералов, выделяемых из золошлаковых отходов, в частности ферромагнитных, может экспрессно дать ответы на вопросы наличия в минеральном материале сложных окислов со структурами шпинели ($O_h7 - Fd3m$). Среди них наиболее важными для коммерческих оценок материала магнитной сепарации являются минералы со структурой шпинели, содержащие Al, Fe, Mn, Ni, Zn, Cr, V, Ti (табл. 5.7).

Из таблицы 5.7 видно, что параметр a_0 кубической кристаллической решетки зависит от состава приведенных минералов. Соответствующие показатели для чистого магнетита по разным литературным источникам равны, Å: 8,391, 8,3963, 8,3940 [78]. В том же источнике для треворита – 8,36, франклинита – 8,434 Å. Средний параметр решетки a_0 по трем указанным данным для магнетита равен 8,3937 Å. Магнетит (рентгеноструктурный анализ ЗСИЦ), выделенный из золы от сжигания канско-ачинских углей на Рязанской ГРЭС, имеет соответствующий параметр $8,362 \pm 0,06$ Å. Это соответствует структуре и составу Fe_3O_4 , возможно, с примесями Ti, Mg, Al, Mn, Ca, K, Na, P, S, а также МХЭ: Ag, Co, Cu, Ga, La, Mo, Pb, V, Zn, U, Th, Ni, Sn, Li, F и платины. Из них в количестве свыше 100 г/т присутствуют в числе «малых»: Ti, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, F. К примеру, более высокие содержания Mg, Al, Zn, Ni в магнетите приводит к существенному уменьшению a_0 (табл. 5.7).

Проведено всестороннее геохимическое обследование 90 проб – 40 угольных и 50 золошлаковых, полученных в результате экспериментального сжигания на котельной разреза. Средние показатели содержаний главных конденсированных зольных компонентов по результатам химических анализов составили (%): SiO_2 – 48,33, TiO_2 – 0,87, Al_2O_3 – 23,72, Fe_2O_3 – 18,34, CaO – 3,35, MgO – 1,84, MnO – 0,36, K_2O – 1,62, Na_2O – 0,48, P_2O_5 – 0,51; в сумме – 99,42 %. Сумма содержания оксидов «малых» элементов составляет не более 0,58 %. Недожог экспериментальной партии углей составил 70-85 %. Это создает определенные трудности в оцен-

ке ЗШО при их технологических испытаниях. Прогнозные экономические оценки удельного дохода от извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3 из золошлаков составят, соответственно, в рублях на 1 т 1128,6 и 192,3 при условии доведения углей до полного сжигания. При внедрении технологий, в первую очередь, рекомендуется организовать извлечение железорудного концентрата из транспортируемого потока текущих золошлаковых отходов на котельных и ТЭС, где сжигаются бачатские угли пласта Мощного марки СС. Следует организовать на избранных объектах предварительное мониторинговое исследовательское наблюдение за «выходом» ценных и токсичных элементов в ЗШО. Выявлен ряд малых химических элементов, высокозначимый для геохимических выводов и коммерческих оценок. Он включает Be, B, F, Al, Ti, Mn, Fe, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U. Содержание малых химических элементов в теоретической золе углей пласта Мощного в трех пластоводифференциальных пробах, отобранных в 1992 г. и 90 пробах – 1995 г., существенно различно. Кратность отношений содержаний составила от 1,07 для Ag до 41,89 раз для Ni.

По геохимическим данным для коммерческих прогнозов рассчитаны содержания (г/т) металлов в ЗШМ углей пласта Мощного. Они составили (с округлением до целых чисел) для Be – 30, Al – 125493, Sc – 80, Ti – 20534, Fe – 63932, Rb – 542, Sr – 4812, Y – 398, Zr – 4375, Nb – 268, Ag – 28, La – 1038, Ce – 1419, Sm – 49, Eu – 16, Tb – 254, Yb – 72, Lu – 7, Hf – 56, Ta – 15, Th – 66, U – 77. В связи с высоким содержанием никеля (319 г/т в ЗШМ) прогнозируется обнаружение высоких содержаний платины, более 0,1 г/т на массу ЗШО. Косвенным подтверждением прогноза является обнаружение платины (0,17 г/т) в магнитной фракции золы углей (железорудном концентрате) в одной из проб золы от сжигания канско-ачинских углей. Установлены зависимости между содержанием элементов в сжигаемых углях и их зольностью. Для Mg, Sn, и K характерна линейная положительная связь. Для ряда элементов с ростом зольности содержание линейно уменьшается. Более сложные зависимости характерны для Al, Ca, Sc, Ti, V; Fe, Co, Ni; Rb, Cs, Ba; Hf, Ta; Pb, Th, U. Токсичные элементы Be, F, Mn, Zn выносятся при сжигании углей в газовой фазе, а V, Co,

Ni, Pb – спонтанно извлекаются в летучие выбросы (дым, сажа) в виде тонких золоуносов и конденсируются в золошлаках.

Таблица 5.7 – Константы кристаллических решеток магнетита и железосодержащих минералов со структурой шпинели ($Oh7 - Fd3m$; $Z=8$)

а) Алюминиевые шпинели		
a ₀ , Å		
Шпинель	MgAl ₂ O ₄	8,102
Герцинит	FeAl ₂ O ₄	8,135
Галаксит	MnAl ₂ O ₄	8,287
Ганит	ZnAl ₂ O ₄	8,078
Ni-шпинель (искусст.)	NiAl ₂ O ₄	8,06
б) Железистые шпинели с Mn, Zn, Ni		
Магнезиоферрит	MgFe ₂ O ₄	8,383
Магнетит	FeFe ₂ O ₄	8,391
Якобсит	MnFe ₂ O ₄	8,474
Франклинит	ZnFe ₂ O ₄	8,420
Треворит	NiFe ₂ O ₄	8,43
в) Хромшпинелиты с Mn, Zn, Ni		
Магнезиохромит	MgCr ₂ O ₄	8,321
Пикотит	FeMg(Al, Cr, Fe) ₂ O ₄	н. д.
Хромгерцинит	Fe(Al, Cr) ₂ O ₄	н. д.
Хромит	FeCr ₂ O ₄	8,361
	MnCr ₂ O ₄	8,510
	ZnCr ₂ O ₄	8,34
	NiFe ₂ O ₄	8,33
г) Ванадиевая и титановая шпинели		
Ульвит	Fe ²⁺ V ₂ ³⁺ O ₄	8,49
	Fe ²⁺ Ti ⁴⁺ O ₄	8,53

По результатам анализов «содержание-зольность» выделены 22 элемента с коэффициентами корреляции, входящими в диапазон 0,63-1,0. В соответствии с уровнем значения коэффициента элементы распределены в пять групп, (%): 1-0,9 (36,4), 0,9-0,8 (13,6), 0,8-0,7 (31,8), 0,7-0,63 (18,2). Установлены численные зависимости, которые, вероятно, позволят по трем-шести базовым элементам рассчитать содержания других элементов в бачатских углях марки СС и их золах, например, по Be, B, F, Sr, Cr, Zn. По итогам изучения редкоземельных и сопутствующих им элементов предлагается прогноз максимальных уровней их содержаний для углей пласта Мощного, г/т: 450 Y, 3000-5000 TR, в их числе 500 La, 1000 Ce, 120

Pr, 500 Nd, 90 Sm, 20 Eu, 80 Gd, 10 Tb, 20 Ho, 50 Er, 10 Tm, 50 Yb, 10 Lu. Высокое содержание скандия, характерное для кузнецких углей, явно указывает на наличие в них элементов группы TR_{SC}, которые могут быть обнаружены в высоких концентрациях на поле разреза «Бачатский». Муллит – один из главных минералов технических ЗШО, вероятно, является и главным рудным минералом алюминия, по конкурентоспособности сопоставимым с традиционным алюминиевым сырьем – бокситами, нефелиновыми рудами. Давсонит с содержанием глинозема более 35 %, следует добавлять в угольную шихту при сжигании низкозольных кузнецких углей для повышения содержания глинозема в ЗШО (давсонит разведан и имеется в сырьевой базе добываемых углей).

Основные выводы по итогам изучения сжигания углей марки СС пласта Мощного разреза «Бачатский»:

1. Нами изучены в сотрудничестве с коллективом ученых ВНИИХТ вещественный состав, магнитные, гравитационные, флотационные, электрические свойства полученного золошлакового сырья. Проведены укрупненно-лабораторные испытания по высокоградиентной магнитной сепарации золошлаковых продуктов на макетных изделиях ВГМ сепараторов. Получены положительные результаты исследований по лабораторному извлечению алюминия с получением в виде конечных продуктов гидроксида, сульфата и гидрооксихлорида алюминия. Усовершенствована технология получения портландцемента из золы.

2. Изучены возможности переработки магнитной фракции золы бачатских углей, в т. ч. по извлечению редких металлов. В частности, выявлено, что в магнитной фракции оказались перераспределенными после ВГМ сепарации компоненты между магнитной и немагнитной фракциями, выход в %: Fe₂O₃ (90,0), Al₂O₃ (49,9), Ca (62,9), Mg (71,4), Ni (53,7), K₂O (52,6), Mn (92,4). Эти данные позволят рассчитать количества соответствующих ценных химических элементов в магнитной и немагнитной фракциях на основе выявленных нами связей между содержаниями элементов. Определены возможности получения железного коагулянта из магнитной фракции золы угля.

3. Определены тесные геохимические связи элементов группы железа и других, которые отражены в таблице 5.6 [152]. Минералы со структурой шпинели, обладающие ферромагнитными свойствами с различной их выраженностью, имеют наиболее тесные корреляционные связи между элементами (ионами): $Fe^{3+} - Fe^{2+}$; Fe – Al, Mg, Mn, Zn, Ni, Cr, V, Ti. Отслеживание содержаний этих (других) элементов в продуктах магнитной сепарации золошлаков поможет выявить (сформировать) новые техногенные месторождения, в том числе с Al, ПГМ, Ag, другими ценными элементами [88, 176].

4. Поэлементное сравнение содержаний элементов в ЗШМ за 1992-1996 годы характеризует латеральную изменчивость содержаний углей в пласте Мощном по Ag, Yb (1,07-1,83); по Be, Cr, Zn, Ga, Rb, Sr, Ba, Tb, Th (2,31-4,71); по Ta, B, Sc, Ti, Cu, Y, Nb, Mo, Cs, Sm, Eu, Lu, Hf, Ta (5,01-9,26); Zr, Ce Pb, U (11,74-14,09); по Co, La, Ni (23,08-41-89) (табл. 5.8).

Таблица 5.8 – Сравнение данных о содержаниях элементов в зольной части углей пласта Мощного по результатам опробования 1992 – 1996 г.г.

Элемент	Содержание в золе, г/т		Отношение данных 1992 г. к 1996 г.
	данные 1992 г., 3 пробы	данные 1996 г., 90 проб	
Be	35,71	7,58	4,71
B	555,55	100,83	5,51
Sc	108,33	16,74	6,47
Ti	39682,55	5573,92	7,12
V	246,02	182,34	1,35
Cr	638,88	157,07	4,07
Co	359,12	15,56	23,08
Ni	730,17	17,43	41,89
Cu	476,19	67,04	7,10
Zn	1190,48	300,48	3,96
Ga	103,17	39,65	2,60
Rb	523,81	179,72	2,92
Sr	3630,95	1570,55	2,31
Y	476,19	84,74	5,62

Окончание таблицы 5.8

Zr	6349,21	540,87	11,74
Nb	396,83	42,87	9,26
Mo	39,69	7,78	5,10
Ag	64,29	60,25	1,07
Cs	38,10	5,42	7,03
Ba	7222,21	2664,33	2,71
La	1658,74	52,19	31,78
Ce	1607,14	114,18	14,08
Sm	65,88	11,31	5,82
Eu	19,29	2,35	8,21
Tb	4,83	2,06	2,34
Yb	43,64	23,86	1,83
Lu	9,05	1,21	7,48
Hf	72,21	10,26	7,04
Ta	16,67	3,33	5,01
Pb	200,0	14,19	14,09
Th	80,17	18,47	4,34
U	79,36	5,98	13,27

5.3 Формирование геохимического состава техногенных месторождений полезных ископаемых при сжигании кузнецких энергетических углей

5.3.1 Формирование золошлаковых отвалов

Остановимся на отходах сжигания энергетических углей. Такие золошлаковые отходы являются ценным техногенным сырьем не только для строительной отрасли, но и могут служить источником извлечения ценных элементов-примесей угля, например, Al, Ti, Fe, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, редкоземельных элементов, Hf, Ta, Au и металлов платиновой группы, стоимость которых многократно превышает цену добытого угля. При сжига-

нии таких углей образуется, в том числе, и золошлаковый материал, в котором содержание ценных элементов-примесей близко к промышленному, т.е. экономически оправданному для переработки золошлакового материала с целью получения ценных элементов.

Ежегодный выход золошлаковых отходов на российских тепловых электростанциях в 2005 году составил около 30 млн. т, а в 2010 году достиг 40 млн. т, к 2020 году – более 55 млн. т. Уже сегодня запас накопленных отходов российской теплоэнергетики составляет около 1,5 млрд. т, площадь золоотвалов превысила 20 тыс. га [102].

По оценкам [122] целесообразно извлекать из золошлаковых отходов углей юга Кузбасса титан и цирконий в силу их высокой востребованности промышленностью России и низкого уровня добычи. Например, извлечение из золошлаковых отходов Zn, Ba и V наиболее перспективно при сжигании энергетических марок Д и Г шахт «Нагорная» и «Кушеяковская».

Авторами разработан способ формирования техногенного месторождения полезных ископаемых, который может быть реализован в промышленно развитом регионе, например, Кемеровской области [98]. Каждое угледобывающее предприятие, как правило, имеет собственную котельную малой мощности, оборудованную котлами со слоевыми топками или топками кипящего слоя. В таких топках сжигают рядовой или дробленый каменный уголь марок Д, Г₃ или бурый уголь.

Для выработки электроэнергии используют тепловые электростанции, в которых выработку водяного пара высокого давления производят в котлах, оборудованных камерными топками. В камерных топках сжигают только измельченный до пылевидного состояния уголь, обычно это угли марок СС, Т или отходы мокрого обогащения коксующихся углей. Эти энергетические предприятия работают круглый год, производя не только тепловую и/или электрическую энергию, но и значительное количество шлакозоловых отходов, скапливающихся в золоотвалах.

В угольных пластах одного и того же месторождения марочный состав угля не одинаков; один и тот же пласт в границах шахтного поля угледобывающего предприятия может содержать две или несколько марок углей. То же самое относится к содержанию элементов-примесей в углях одной марки в шахтопласте (различия по нормальному и латеральному направлениям).

Идея формирования золошлакового отвала как техногенного месторождения полезных ископаемых состоит в том, чтобы организовать поставку на углесжигающее предприятие углей не только по марочному составу, в зависимости от способа сжигания и имеющегося оборудования, но и в зависимости от набора и содержания в них ценных элементов-примесей. Например, на несколько ТЭС необходимо поставлять угли марок СС и Т, но на отдельные ТЭС предлагается поставлять угли этих марок с высокими содержаниями только определенных комплексов элементов. Шахтовые котельные обычно работают на собственном угле, но в случае добычи коксующихся углей котельные могут работать на привозных углях. В этом случае на шахтовые котельные можно поставлять угли марок Д, Г, или одной из групп Б, причем формировать грузопотоки таким образом, чтобы на котельную 1, например, поставлялись бы угли марки Д с содержанием железа (15-30 %), на котельную 2 – угли марки Д с содержанием алюминия (12-15 %), на котельную 3 – угли марки Д с содержанием циркония (0,5-1,5 %) и т. д.

При таком формировании поставок энергетических углей на углесжигающие предприятия будет незначительно усложняться работа маркетинговой службы энергетических предприятий, однако наряду с этим в золошлаковых отвалах станет накапливаться первично подготовленный материал для последующей промышленной переработки с целью получения ценных элементов. Таким образом, будут формироваться пополняемые техногенные месторождения полезных ископаемых с заданным сырьевым составом [98].

5.3.2 Формирование геохимического состава золовых отходов энергетического производства

Как уже было отмечено, в камерных топках котельных агрегатов ТЭС сжигают только измельченный до пылевидного состояния уголь, обычно это угли марок СС, Т или промпродукт мокрого обогащения коксующихся углей. Особенностью сжигания угольной пыли в камерной топке является то, что до 95% золы топлива покидает топочную камеру в виде золы уноса, аэрозолей, металлов, ангидридов, других соединений. Далее по ходу ды-

мовых газов в газоходах конвективной части котла зола уноса частично оседает в поверхностях нагрева котла, но основная ее масса покидает котел с дымовыми газами.

Улавливание золы уноса осуществляют, как правило, в электрофильтрах, имеющих КПД до 98 %, существуют и более эффективные средства улавливания золы из дымовых газов. Это означает, что почти вся зола твердого топлива, сожженного в топке энергетического котла, в настоящее время улавливается и складывается в золоотвалах.

Крупные энергетические предприятия работают круглый год и вырабатывают, кроме продукции прямого назначения, значительное количество шлакозоловых отходов, скапливающихся в золоотвалах.

Идея рационального использования энергетических углей состоит в том, чтобы после сжигания угля организовать магнитную сепарацию уловленной золы уноса по трем группам компонентов: ферромагнитных, парамагнитных и немагнитных. Далее золовые отходы ферромагнитной группы компонентов необходимо направлять на переработку для извлечения ценных компонентов (магнетита) и элементов-примесей; из золовых отходов парамагнитной группы аналогично представляется возможность извлечь ильменит, касситерит, золото, другие минералы, а отходы с содержанием компонентов немагнитной группы – на получение глинозема и строительных материалов [99].

При такой последующей переработке уловленной золы уноса угле-сжигающее предприятие, естественно, понесет капитальные затраты на организацию сепарации золы и трансформацию продуктов сепарации в товарные продукты. Однако стоимость коллективного рудного концентрата благородных металлов, железных, редкометалльных и других руд покроет издержки производства и обеспечит дополнительную прибыль энергетическому предприятию. При организации поставок углей на энергетическое предприятие не только по требуемому марочному составу, но и по определенному содержанию в них различных комплексов элементов-примесей, дополнительный экономический эффект будет выше, стабильнее и может быть определен до сжигания углей. Последнее возможно при организации геохимического мониторинга сырья (топлива) в процессе его непрерывного сжигания на ТЭС.

6 Перспективы комплексного освоения месторождений кузнечских углей, содержащих химические элементы-примеси

6.1 Комбинированные геотехнологии комплексного освоения угольных месторождений

В последние годы отдельным аспектам комплексного освоения угольных месторождений стало уделяться большое внимание (ИПКОН РАН, ИЭОПП СО РАН, ИГД им. А. А. Скочинского, СибГИУ, ТПУ, ИУУ СО РАН и др.).

На первом этапе разработки угольных месторождений предлагается, наряду с определением качества угля, оценить содержание в нем и в отходах переработки ценных и токсичных компонентов [13]. Это позволит прогнозировать возможность эффективного и экологически безопасного использования угля в промышленности. В настоящее время из углей и угольных отходов могут быть получены не только германий и золото. Разработаны технологии извлечения галлия, скандия, урана, иттрия, редкоземельных и других металлов.

Другой немаловажный аспект – добыча попутного метана, которая позволит вовлечь в хозяйственный оборот нетрадиционные ресурсы газового топлива, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, повысить безопасность добычи угля [139].

Как показывает опыт осуществить комплексное освоение угольных месторождений невозможно при реализации традиционных физико-технических геотехнологий, в которых не предусмотрены технологические процессы плановой добычи попутных ценных компонентов и утилизации или рециклинга вредных (токсичных).

Комбинированные геотехнологии позволяют обеспечить комплексную добычу и переработку угля и сопутствующих компонентов, а также снизить экологическую нагрузку на окружающую природную среду.

Под комбинированной геотехнологией, ввиду отсутствия классического определения этого понятия, мы понимаем сочетание различных процессов и методов физико-технической и физико-химической (подземное выщелачивание и газификация) геотехнологий в определенной последова-

тельности с разделением или объединением их во времени и пространстве [68].

Физико-техническая геотехнология это совокупность знаний о способах и взаимосвязи процессов извлечения полезных ископаемых из недр или техногенных образований без изменения химического состава исходного сырья и его агрегатного состояния [35]. Физико-химическая геотехнология предусматривает добычу через скважины (дренажные выработки) с изменением физического, агрегатного или химического состояния полезного ископаемого.

Исходя из вышесказанного, предлагаем варианты комбинированных геотехнологий комплексного освоения угольного месторождения или его отдельного участка.

6.1.1 Разделение технологических процессов добычи во времени и объединение их в пространстве

На первом этапе реализуются процессы физико-технической геотехнологии, на втором этапе – сочетание различных методов физико-химической геотехнологии извлечения полезных ископаемых совмещенных в пространстве, но разделенных во времени [69].

При строительстве шахты проводится заблаговременное извлечение метана через скважины с поверхности с целью дегазации угольных пластов и его дальнейшего промышленного использования. Одновременно или последовательно с этим процессом осуществляют вскрытие и подготовку шахтного поля проведением сети вскрывающих и подготавливающих выработок с общим уклоном в сторону главного ствола для организации самотечного водоотведения шахтных сточных вод.

Затем осуществляют извлечение угля традиционной физико-технической подземной геотехнологией, например, с применением системы разработки «Длинными столбами по простиранию». По мере отработки запасов на первом горизонте очистные работы переводят на второй и т.д. При этом часть горных выработок, особенно тех, по краям которых остались охранные целики, сохраняют до конца отработки запасов всего шахт-

ного поля. На этом заканчивается этап физико-технической геотехнологии извлечения угля и попутно метана.

После отработки промышленных запасов в шахтном поле остаются запасы угля, сосредоточенные в охранных целиках, эксплуатационных потерях, некондиционных пластах, в зонах тектонических разрывов нарушенных пластов (подобные геологические объекты часто содержат повышенное количество ценных и токсичных элементов). Коэффициент извлечения угля обычно составляет около 0,5. На втором этапе применяют различные методы физико-химической геотехнологии.

Оставшиеся в шахтном поле запасы угля подвергают подземному сжиганию [80], организуя подачу воздуха по фланговым стволам, а отсос продуктов сжигания – по главному. При этом на выходе из шахты посредством теплообменных аппаратов получают горячую воду или пар, направляемые в дальнейшем на выработку электроэнергии или для целей теплоснабжения.

В результате выгорания оставшегося угля в выработанном пространстве шахтного поля сосредоточиваются золошлаковые остатки и термально метаморфизованные породы, содержащие ценные и (или) токсичные химические элементы. Подземная газификация и сжигание углей – экологически опасные процессы по загрязнению подземных вод и пород фенолами, бензапиреном, другими органическими и неорганическими продуктами сгорания. Кроме того, они опасны активизацией геохимической подвижности токсичных кислородных и других соединений Be, P, S, V, Co, Cd, Mn, As, Ni, Hg, Pb, Se, Sb, Tl, Zn, F, Cr, Cl, Th, U, которые будут «выгорать» из угля и вмещающих пород. В области горения произойдет концентрирование элементов с образованием растворимых органических, металлоорганических и неорганических химических продуктов [87].

Для их извлечения [70] шахтное поле заполняют водным раствором реагентов, взаимодействующих с химическими элементами, подлежащими извлечению, переводя их в растворенное, гелефицированное, взвешенное состояние. При этом по мере заполнения выработанного пространства на верхнем горизонте шахты будут скапливаться газообразные продукты подземного сжигания угля (в основном это CO, CO₂), являющиеся парниковыми газами. Эти газы направляют для утилизации.

После заполнения выработанного пространства шахты водным раствором реагентов их подачу прекращают и начинают процесс откачивания продуктивного раствора (результат взаимодействия реагентов с химическими элементами, подлежащими извлечению) с направлением его на переработку для извлечения ценных и (или) токсичных химических элементов и соединений. При этом токсичные вещества направляют на утилизацию или рециклинг, промышленное использование.

Заполнение выработанного пространства водным раствором реагентов и откачивание продуктивного раствора осуществляют многократно, а для более полного извлечения различных компонентов золошлакового остатка и термально метаморфизованных пород, оставшихся в зоне подземного сжигания угля, производят смену реагентов, в зависимости от компонентов, подлежащих извлечению.

В данном способе поэтапное применение физико-технической и физико-химической геотехнологий разработки отдельного участка угольного месторождения позволяет: повысить безопасность и эффективность ведения горных работ; кроме основного полезного ископаемого (угля) добывать сопутствующие – метан и другие ценные химические соединения; снизить экологическую нагрузку на природную среду, извлекая токсичные компоненты, содержащие, например, фтор, хлор, неорганические кислоты, ртуть и другие продукты с улавливанием парниковых газов. Таким образом, осуществляется комплексное освоение отдельного участка угольного месторождения (таблица 6.1).

6.1.2 Объединение технологических процессов добычи во времени и разделение их в пространстве

Технология освоения угольного месторождения с запасами не пригодными для добычи угля традиционной физико-технической геотехнологией предусматривает применение различных процессов и методов физико-технической и физико-химической геотехнологий, разделенных в пространстве, но совмещенных во времени (рис. 6.1) [71].

На первом этапе угольное месторождение делят на выемочные блоки ограниченных размеров. Намечают очередность отработки блоков в месторождении с условием, чтобы между блоками, вовлеченными в отработку, всегда находился бы один или два блока еще не вовлеченных в отработку или уже отработанных. На приведенной схеме очередность вовлечения блоков в отработку показана римскими цифрами (см. рис. 6.1).

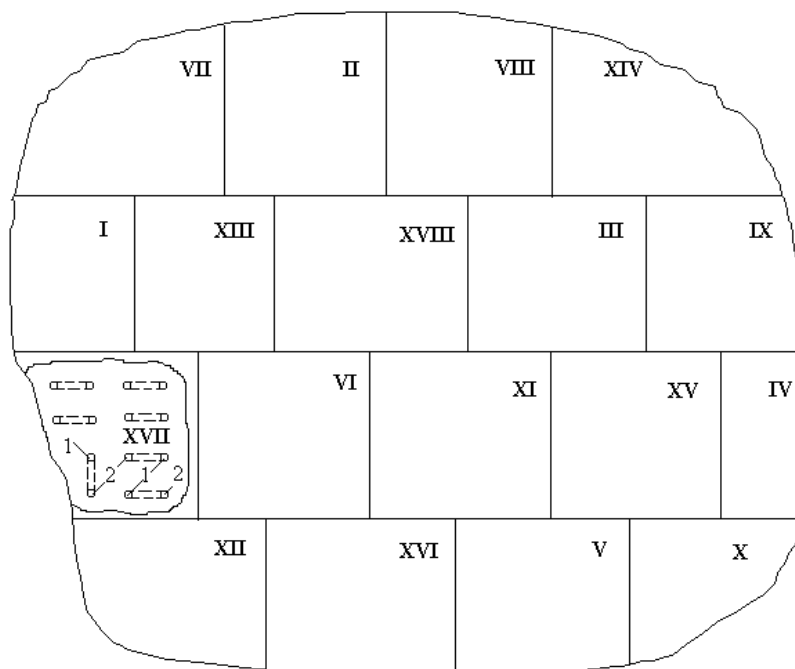
Таблица 6.1 – Составляющие комбинированной геотехнологии комплексного освоения отдельного участка угольного месторождения

Комбинированная геотехнология				
Составляющие	физико-техническая геотехнология		физико-химическая геотехнология	
	Этапы	предварительная дегазация пластов	традиционная подземная добыча угля	подземное сжигание угля
Получаемые компоненты	метан	уголь, метан	теплоноситель	ценные и (или) токсичные элементы
Эффект	- повышение безопасности и эффективности горных работ; - снижение экологической нагрузки; - дополнительный энергетический потенциал	- топливо и сырье металлургического и химического производства	- снижение потерь угля в недрах; - дополнительный энергетический потенциал	- металлургическое и химическое сырье; - снижение экологической нагрузки

Вовлечение в отработку блоков начинают с физико-технического этапа – предварительной дегазации угольных пластов. Бурение дегазационных скважин осуществляют с поверхности, например в блоке I. Скважины бурят по всей площади блока на расстоянии друг от друга, зависящем от природной газоносности угольных пластов. Затем работы по бурению скважин переносят на II блок, а в I-ом проводят работы по дегазации угольных запасов с применением стимулирования метаноотдачи.

По окончании указанных работ в блоках I и II их в том же порядке переносят в блоки III и II, а в I-ом блоке приступают к реализации физико-химической геотехнологии – подземной газификации. Для этого дегазационные скважины по угольному пласту попарно сбивают между собой и де-

лят их на дутьевые 1 и газоотводные 2. Затем разжигают газогенераторы и производят подземную газификацию угля с выдачей на поверхность продуктов подземной газификации.



*Рисунок 6.1 – Схема деления месторождения на выемочные блоки и порядок вовлечения их в обработку
1, 2 – скважины; I-XVI – очередность вовлечения блоков в обработку*

По окончании подземной газификации угля в I-ом блоке, этот процесс переносят во II-й блок, а в I-ом – осуществляют тушение газогенераторов заполнением выработанного пространства водным раствором реагентов, начиная тем самым следующую стадию – выщелачивание. Для подачи водного раствора реагентов в выработанное пространство используют имеющиеся скважины 1 и 2.

На следующей стадии в блоке I осуществляют откачивание продуктивного раствора и подачу его на экстракцию ценных и (или) токсичных химических элементов с последующей передачей токсичных элементов на переработку – рециклинг.

На заключительной стадии работ в блоке I производят подачу по тем же скважинам жидкоподвижного закладочного материала, например, отходов обогащения или извлеченной породы, заполняющего выработанное

пространство блока, т.е. осуществляют закладку образовавшихся в недрах пустот или консервацию блока. В блоке II в это время осуществляют откачивание продуктивного раствора, в блоке III – тушение подземных газогенераторов, в блоке IV – подземную газификацию, в блоке V – дегазацию, а в блоке VI ведут подготовительные работы – бурение дегазационных скважин.

Деление месторождения по площади на выемочные блоки и установление очередности их вовлечения в отработку позволяет вести комплексное освоение угольного месторождения путем совмещения во времени производство различных процессов и методов физико-технической и физико-химической геотехнологий с разделением их в пространстве (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Составляющие комбинированной геотехнологии комплексного освоения угольного месторождения

Комбинированная геотехнология				
Составляющие	физико-техническая геотехнология		физико-химическая геотехнология	
	Этапы	предварительная дегазация	закладка выработанного пространства	подземная газификация
Получаемые компоненты или результат	метан	заполнение подземных пустот	продукты газификации	ценные и/или токсичные элементы
Эффект	- снижение экологической нагрузки; - дополнительный энергетический потенциал	- снижение экологической нагрузки; - утилизация отходов; - утилизация выработанного пространства	- вовлечение в отработку некондиционных запасов угля; - дополнительный энергетический потенциал	- металлургическое и химическое сырье; - снижение экологической нагрузки

В совокупности получение дегазационного метана, продуктов газификации и извлечение ценных компонентов из золошлаковых остатков и термально метаморфизованных пород повышает эффективность освоения угольного месторождения; извлечение для утилизации или рециклинга

токсичных компонентов и закладка выработанного пространства снижают экологическую нагрузку на природную среду.

Таким образом, комбинирование различных процессов и методов физико-технической и физико-химической геотехнологий с их разделением или объединением во времени и пространстве позволяет вести комплексную разработку угольного месторождения или его отдельного участка.

6.2 Технологии возможного попутного извлечения минеральных компонентов при подземной газификации угля

Как уже отмечалось в первом разделе, ископаемые угли могут содержать ценные и токсичные элементы-примеси. Ниже рассмотрены технологии попутной добычи таких элементов (табл. 6.3), представляющие опасность для экологии и (или) промышленный интерес как ценное сырье. При подземной газификации угля ртуть (Hg), мышьяк (As), селен (Se) и рений (Re) будут накапливаться в полученном сыром газе.

Таблица 6.3 – Содержания элементов-примесей в углях

Элемент	Содержание, г/т	Максимальное содержание, г/т	Марки углей	Стоимость товарной продукции, \$/кг	Источник информации
As*	78,6	1000,0	СС, Т	500	[142]
Hg*	0,2	5,5	СС, Т	30	[142]
Se*	0,05	2,5	СС, Т	90	[142]
Re	4,0	20	Б, А	2000	[155]

Примечание: * – в углях Кузбасса.

6.2.1 Попутное извлечение рения

Рений (Re) редкий и рассеянный элемент. Содержание в земной коре $7 \cdot 10^{-8}\%$ по массе. Самостоятельные минералы рения не найдены. Повышенное содержание рения отмечено в колумбите, танталите, цирконе, сульфидах Cu и Mo, а также в горючих сланцах и угле. По данным [112] содержание рения в российских бурых углях может достигать до 20 г/т, а

по данным [76] в инфильтрационных урано-угольных месторождениях обнаружено до 52 г/т.

Металлический рений устойчив на воздухе при обычных температурах. При температурах выше 300°C наблюдается окисление металла, интенсивно окисление идет при температурах выше 600°C [114].

В настоящее время рений получают при переработке сырья с очень низким содержанием целевого компонента (в основном это медное и молибденовое сульфидное сырье). Переработка сульфидного ренийсодержащего медного и молибденового сырья основана на пирометаллургических процессах (плавка, конвертирование, окислительный обжиг). В условиях высоких температур рений возгоняется в виде высшего оксида Re_2O_7 , который затем задерживается в системах пылегазоулавливания.

В случае неполной возгонки рения при обжиге молибденитовых концентратов, часть его остается в огарке и затем переходит в аммиачные или содовые растворы выщелачивания огарков. Источниками получения рения при переработке молибденитовых концентратов могут служить сернокислотные растворы мокрых систем пылеулавливания и маточные растворы после гидрометаллургической переработке огарков.

Таким образом, при сжигании углей, из-за высокой летучести, рений практически полностью переходит в газовую фазу, что представляет промышленный интерес [155] для его попутного извлечения.

Важнейшие свойства рения, определяющие его применение это: очень высокая температура плавления, устойчивость к химическим агентам, каталитическая активность (в этом он близок к платиноидам). Рений используется при изготовлении: платинорениевых катализаторов, вольфрамо-рениевых термопар, нитей накала в масс-спектрометрах и иных манометрах.

С целью попутного извлечения рения при ПГУ для угольных пластов, содержащих рений, авторы предлагают новую технологию (рис. 6.2) [9]. Горячие продукты подземной газификации из скважины 1 по трубопроводу 2 поступают в теплообменный аппарат 3, где отдают часть теплоты воде системы теплоснабжения Т1-Т2. Охлажденные до температуры не ниже температуры конденсации окислов рения продукты подземной газифика-

ции угля по трубопроводу поступают в емкость 6 в пространство между ее стенкой и глухим щитом 7. Глухой щит 7 направляет газовый поток в водное пространство емкости 6 под погружной дырчатый щит 8 на промывку. За счет наличия большого количества отверстий малого диаметра щит 8 распределяет газовый объем по всей своей площади и пропускает его к поверхности воды маленькими пузырьками, увеличивая тем самым площадь контакта газа с водой.

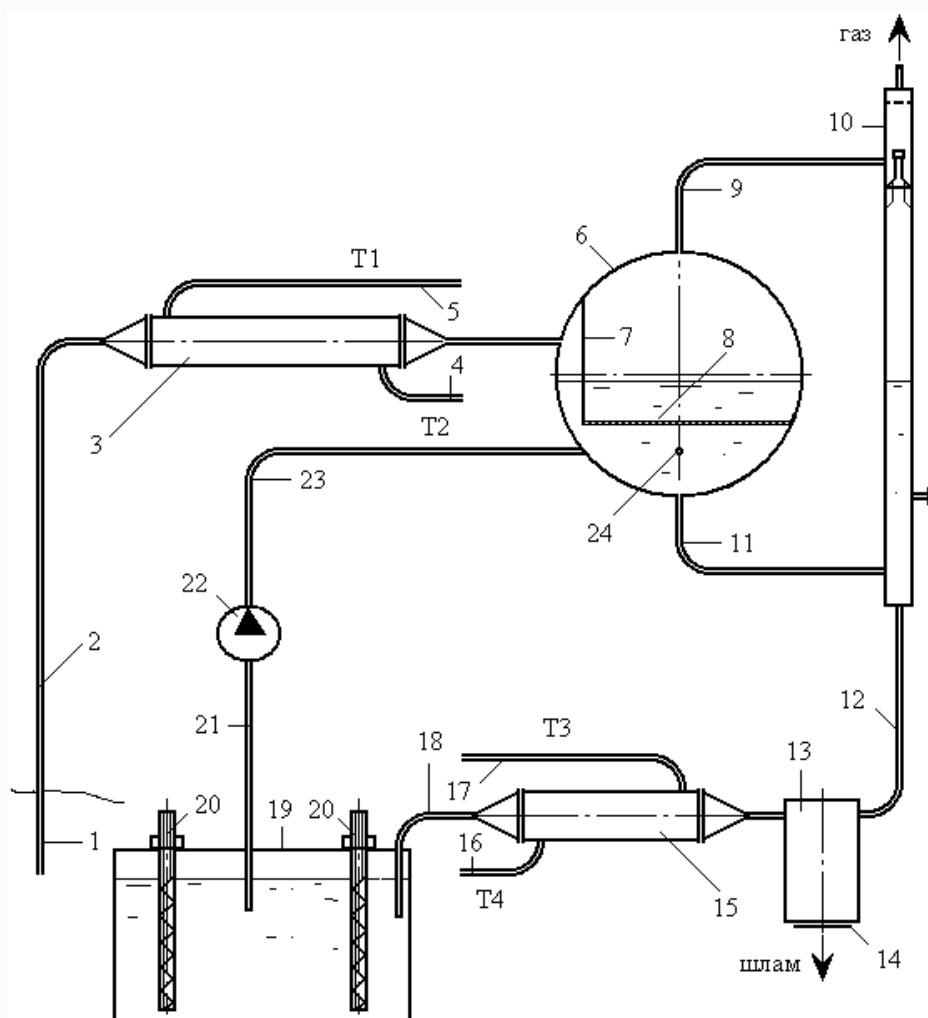


Рисунок 6.2 – Технологическая схема попутного извлечения рения при ПГУ
 1 – газоотводная скважина ПГУ; 2, 4, 5, 9, 11, 12, 16, 17, 21, 23; – трубопроводы; 3, 15 – теплообменные аппараты; 6 – цилиндрическая емкость; 7 – глухой щит; 8 – дырчатый щит; 10 – газовое пространство циклона; 13 – осадитель; 14 – съемное доньшико; 18 – теплоноситель; 19 – электролизная ванна; 20 – электроды; 22 – насос; 24 – патрубок

Пройдя к поверхности через слой воды над дырчатым щитом 8, газ охлаждается до температуры значительно ниже температуры конденсации окислов рения. При этом регулирование температуры охлаждения газа может быть осуществлено, как за счет изменения температуры воды в емкости, так и за счет изменения толщины ее слоя над щитом 8. При промывке газа в воде остаются механические примеси и растворяются окислы рения, образуя ренийсодержащий раствор. Пройдя к поверхности воды, газ образует кипящий слой, выделяющий в газовое пространство емкости 6 некоторое количество водяного пара, который способствует растворению в нем оксидов рения, не растворившихся в воде. Влажный газ по трубе 9 поступает в циклон 10, где происходит осушение газа. Далее осушенный газ направляют потребителю.

Ренийсодержащий раствор из емкости 6 по трубопроводу 11 поступает в циклон 10, где смешивается с аналогичным раствором, полученным при сепарации влажного газа. Далее ренийсодержащий раствор по трубопроводу 12 поступает в осадитель 13, где за счет разности в поперечном сечении из потока выделяются механические примеси, оседая на дне осадителя. Очищенный ренийсодержащий раствор поступает в теплообменный аппарат 15, трубами 16 и 17 включенный в систему, например, горячего водоснабжения ТЗ-Т4, где охлаждается до температуры ниже температуры кипения при атмосферном давлении.

После теплообменника 15 охлажденный ренийсодержащий раствор направляют на извлечение рения одним из известных способов, например электролизом. Для этого по трубопроводу 18 ренийсодержащий раствор направляют в электролизную ванну 19 с электродами 20. Из этой же ванны по трубопроводам 21 и 23 технологическая вода насосом 22 подается в водное пространство емкости 6.

При многократном прохождении ренийсодержащего раствора по циркуляционному контуру «электролизная ванна – емкость – циклон – осадитель» концентрация соединений рения в нем непрерывно растет и в какой-то момент времени становится достаточной для выделения рения методом электролиза. Для этого к электродам 19 электролизной ванны 18 подводят электрический ток, за счет чего на одном из электродов происходит отложение рения.

Таким образом, технология позволяет получить не только ценное топливо и тепловую энергию заданного потенциала, но и ценное вещество каковым является рений.

6.2.2 Попутное извлечение мышьяка

Содержание мышьяка (As) в земной коре $1,7 \cdot 10^{-4}\%$ по массе. Известно 160 содержащих мышьяк минералов. В самородном состоянии он встречается редко. Минерал, имеющий промышленное значение — арсенипирит FeAsS . Нередко As содержится в свинцовых, медных и серебряных рудах [83].

При нагревании до 600°C As сублимирует. При охлаждении паров возникает новая модификация желтый мышьяк. Выше 270°C все формы As переходят в мышьяк.

Для получения мышьяка обогащенную руду подвергают окислительному обжигу, затем сублимируют летучий As_2O_3 . Этот оксид восстанавливают углеродом. Для очистки As его подвергают дистилляции в вакууме, затем переводят в летучий хлорид AsCl_3 , который восстанавливают водородом. Получаемый мышьяк содержит 10-5-10-6% примесей по массе.

Таким образом, при сжигании углей, содержащих As, дымовые газы и газы ПГУ будут содержать оксид мышьяка As_2O_3 .

Мышьяк особой чистоты используется для синтеза полупроводниковых материалов. Иногда As добавляют к сталям как легирующую добавку. В 1909 немецкий микробиолог П. Эрлих получил «препарат 606», эффективное лекарство от малярии.

Вместе с тем, мышьяк и все его соединения ядовиты. ПДК в воздухе для мышьяка – $0,5 \text{ мг/м}^3$. На территориях, где в почве и воде избыток мышьяка, он накапливается в щитовидной железе у людей и вызывает эндемический зоб.

При подземной газификации углей, содержащих мышьяк, газы ПГУ будут содержать мышьяк и его соединения [155].

Технология обработки газообразных продуктов подземной газификации угля с целью получения мышьяка работает следующим образом (рис.

6.3) [8]. Горячие продукты подземной газификации по трубопроводу 2 поступают в теплообменный аппарат 3, где отдают часть теплоты воде системы теплоснабжения T1-T2. С пониженной температурой (не ниже температуры конденсации паров мышьяка) продукты подземной газификации поступают в горизонтальную емкость 6 в пространство между стенкой емкости и глухим щитом 7. Глухим щитом 7 газообразные продукты направляются в водное пространство – под погружной дырчатый щит 8. Дырчатый щит 8, имеющий большое количество отверстий малого диаметра, распределяет объем газообразных продуктов по всей своей площади и пропускает его большим количеством мелких пузырьков к поверхности воды. Проходя слой воды от дырчатого щита 8 до поверхности воды, газообразные продукты охлаждаются до температуры значительно ниже температуры конденсации паров мышьяка. Газообразный мышьяк и его соединения, содержащиеся в продуктах подземной газификации угля, конденсируются и растворяются в воде.

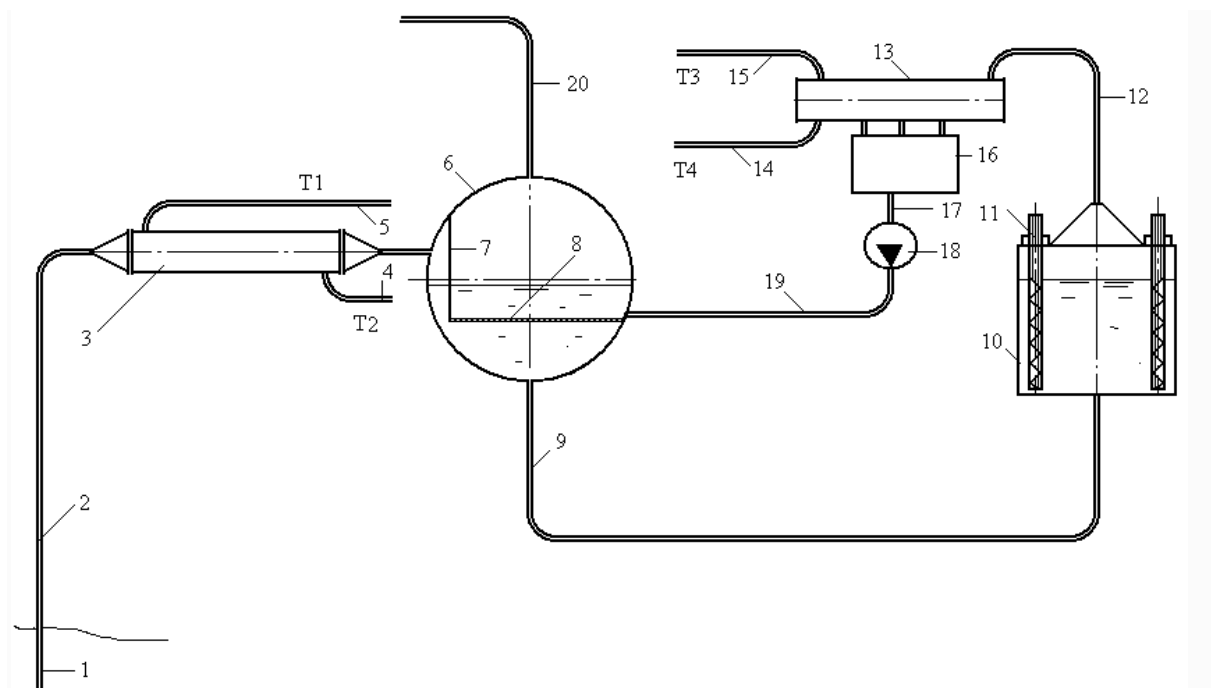


Рисунок 6.3 – Технологическая схема попутного извлечения мышьяка при ПГУ
 1 – газоотводная скважина ПГУ; 2, 4, 5, 9, 12, 14, 15, 17, 19, 20 – трубопроводы; 3 – теплообменный аппарат; 6 – цилиндрическая емкость; 7 – глухой щит; 8 – погружной дырчатый щит; 10 – испаритель; 11 – нагревательные элементы; 13 – конденсатор; 16 – конденсаторный бак; 18 – насос

Поскольку площадь дырчатого щита 8 во время работы не может быть изменена, то для регулирования температуры охлаждения газообразных продуктов подземной газификации угля предлагается, во-первых, подавать в емкость 6 воду с пониженной температурой, во-вторых, использовать возможность изменения толщины слоя воды от дырчатого щита 8 до поверхности. Толщина слоя воды регулируется соотношением количества воды, покидающей горизонтальную емкость 6, и количества воды, подаваемой в нее. Увеличением толщины слоя воды достигают требуемого уровня снижения температуры газа, а, следовательно, – увеличения уровня конденсации газообразного мышьяка и его соединений, т.е. увеличения степени улавливания мышьяка и его соединений из продуктов подземной газификации угля.

По трубопроводу 9 водный раствор мышьяка и его соединений поступает в испаритель 10, в котором, за счет снижения давления до атмосферного происходит кипение водного раствора. При этом за счет испарения воды концентрация соединений мышьяка в водном объеме испарителя непрерывно повышается. Для поддержания кипения водного раствора в испарителе 10 включают нагревательные элементы 11. За счет повышенной температуры поверхности нагревательного элемента на его стенке кристаллизуются мышьяк и его соединения. По мере увеличения слоя кристаллов мышьяка и его соединений на нагревательных элементах, последние меняют на чистые по очереди, тем самым выводя мышьяк и его соединения из циркуляционного контура.

Пар, образовавшийся в испарителе 10, трубопроводом 12 направляется в конденсатор 13, в котором отдает теплоту системе горячего водоснабжения (Т3-Т4), вследствие чего конденсируется и в виде конденсата поступает в конденсатный бак 16. Далее конденсат насосом 18 по трубопроводам 17 и 19 направляют в водный объем горизонтальной емкости 6.

Очищенные от мышьяка и его соединений и охлажденные продукты подземной газификации угля из горизонтальной емкости 6 по трубопроводу 20 направляются для использования в качестве топлива или сырья химического производства.

Достижимый эффект технологии носит двойной характер: с одной стороны, он состоит в том, что способ позволяет получить ценное вещество – мышьяк или сырье для его получения, с другой – он позволяет очистить продукты подземной газификации угля, а следовательно и продукты их сжигания, от токсичного вещества, каковым является мышьяк и его соединения.

6.2.3 Попутное извлечение ртути

Ртуть (Hg) редкий и рассеянный элемент. Содержание ртути в земной коре $7,0 \cdot 10^{-6}$ % по массе. В природе ртуть редко встречается в капельно-жидком состоянии. Образует более 30 минералов. Основной рудный минерал киноварь (HgS). Включения ртути, в том числе в изоморфных примесях, встречаются в кварце, халцедоне, карбонатах, слюдах, свинцово-цинковых рудах. Желтая модификация HgO встречается в природе в виде минерала монтроидита. В обменных процессах литосферы, гидросферы, атмосферы участвует большое количество ртути. Содержание ртути в рудах от 0,05 до 6-7% [117].

Ртуть – серебристо-белый металл, в парах бесцветный. Единственный жидкий при комнатной температуре металл. Температура плавления – $38,87^{\circ}\text{C}$, кипения – $356,58^{\circ}\text{C}$. Плотность жидкой ртути при 20°C – $13,5457 \text{ г/см}^3$, твердой ртути при $38,9^{\circ}\text{C}$ – $14,193 \text{ г/см}^3$.

В настоящее время ртуть получают окислительно-восстановительным обжигом руд или концентратов при $700\text{-}800^{\circ}\text{C}$ в печах кипящего слоя, трубчатых или муфельных. Ртуть окисляется кислородом воздуха при температуре выше 300°C , образуя оксид ртути HgO красного цвета. Выше 340°C этот оксид разлагается на простые вещества.

Ртуть используют для изготовления катодов при электрохимическом получении едких щелочей и хлора, а также для полярографов, в диффузионных насосах, барометрах и манометрах; для определения чистоты фтора и его концентрации в газах. Парам ртути наполняют колбы газоразрядных ламп (ртутных и люминесцентных) и источников УФ излучения. Ртуть применяют при нанесении золотых покрытий и при добыче золота из ру-

ды. Сулема HgCl_2 – важнейший антисептик, применяют при разбавлениях 1:1000. Оксид ртути(II), киноварь HgS , применяются для лечения различных заболеваний. Киноварь также используют для приготовления чернил и красок. В древности из киновари готовили румяна. Каломель Hg_2Cl_2 используется в ветеринарии в качестве слабительного средства.

Ртуть и ее соединения высокотоксичны. Пары и соединения ртути, накапливаясь в организме человека, сорбируются легкими, попадают в кровь, нарушают обмен веществ и поражают нервную систему. Признаки ртутного отравления проявляются уже при содержании ртути в концентрации 0,0002–0,0003 мг/л. Пары ртути фитотоксичны, ускоряют старение растений [117].

При сжигании углей, содержащих ртуть (см. табл. 6.3), этот токсичный элемент концентрируется в окружающей среде. В газах ПГУ ртуть находится не только в состоянии паров, но и в виде летучих соединений, а также в составе пыли и аэрозолей твердых частиц [55].

Технология обработки газообразных продуктов подземной газификации угля, с целью получения ртути, реализуется следующим образом (рис. 6.4) [10]. Горячие продукты подземной газификации по трубопроводу 2 поступают в теплообменный аппарат 3, где отдают часть теплоты воде системы теплоснабжения Т1-Т2. С пониженной температурой (не ниже температуры конденсации паров ртути) продукты подземной газификации поступают в горизонтальную емкость 6 в пространство между стенкой емкости и глухим щитом 7. Глухим щитом 7 газообразные продукты направляются в водное пространство – под дырчатый щит 8. Дырчатый щит 8, имеющий большое количество отверстий малого диаметра, распределяет объем газообразных продуктов по всей своей площади и пропускает его большим количеством мелких пузырьков к поверхности воды. Проходя слой воды от дырчатого щита 8 до поверхности воды, газообразные продукты охлаждаются до температуры значительно ниже температуры конденсации паров ртути.

Газообразная ртуть, содержащаяся в продуктах подземной газификации угля, конденсируется и в виде жидкой ртути оседает на дырчатый щит 8. За счет наклона дырчатого щита в сторону противоположную стороне

ввода продуктов газификации в емкость и поступлению газовых пузырьков из-под щита 8 капельки ртути скатываются по дырчатому щиту 8 к противоположной стенке емкости 6 и попадают в зазор между щитом 8 и стенкой емкости 6. За счет сил гравитации тяжелые капли ртути устремляются к нижней точке водного пространства емкости 6.

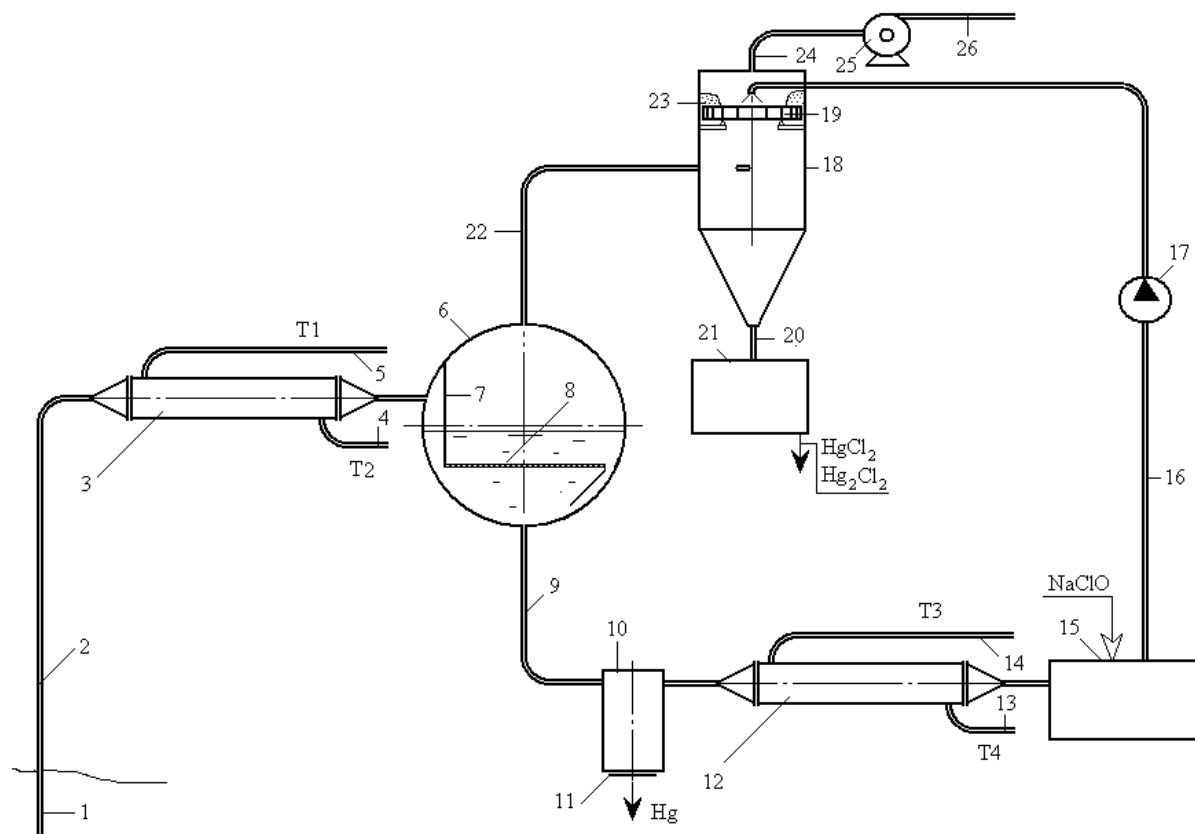


Рисунок 6.4 – Технологическая схема попутного извлечения ртути при ПГУ
 1 – газоотводная скважина ПГУ; 2, 4, 5, 9, 13, 14, 16, 22, 24, 26 – трубопроводы;
 3, 12 – теплообменные аппараты; 6 – цилиндрическая емкость; 7 – глухой щит; 8 –
 погружной дырчатый щит; 10, 21 – осадители; 11 – съемное доннышко; 15 – раство-
 рный узел; 17 – насос; 18 – эмульгатор; 19 – тарелка; 20 – труба; 23 – пенное кольцо;
 25 – дымосос

Поскольку площадь дырчатого щита 8 во время работы не может быть изменена, то для регулирования температуры охлаждения газообразных продуктов подземной газификации угля, предлагается, во-первых, подавать в емкость 6 воду с пониженной температурой, во-вторых, использовать возможность изменения толщины слоя воды от дырчатого щита 8 до поверхности. Толщина слоя воды регулируется соотношением количества воды, покидающей горизонтальную емкость 6, и воды, подаваемой в нее.

Увеличением толщины слоя воды достигают требуемого уровня снижения температуры газа, а, следовательно, – увеличения уровня конденсации газообразной ртути, т.е. увеличения выхода жидкой ртути.

По трубопроводу 9 ртуть с водой поступает в осадитель 10, в котором, за счет резкого падения скорости движения потока, ртуть оседает на дне и может быть удалена из циркуляционного контура с небольшим количеством воды.

Очищенная от ртути вода поступает в теплообменник 12, в котором осуществляет подогрев воды системы горячего водоснабжения (Т3-Т4). Далее она поступает в растворный узел 15, в котором к воде подмешивают реагент – гипохлорит натрия (NaClO). Водный раствор гипохлорита натрия насосом 17 по трубопроводу 16 подают в эмульгатор 18 в пространство над тарелкой 19. Раствор растекается по всей поверхности тарелки и по лопастям лопаточного аппарата стекает в пространство ниже тарелки.

Частично очищенные от ртути и охлажденные газообразные продукты подземной газификации угля из газового пространства емкости 6 по трубопроводу 22 также поступают во внутреннее пространство эмульгатора 18, но ниже тарелки. За счет тангенциально ввода газ закручивается, прижимаясь к стенкам цилиндрической части эмульгатора, а за счет разрежения, создаваемого дымососом 25, газ устремляется вверх – проходит через лопаточный аппарат тарелки 19 и раскручивает ее. Раствор гипохлорита натрия, раскручиваясь вместе с тарелкой, срывается с краев тарелки и газовым потоком взбивается в пену кольцом 23 перекрывающим свободный проход газа через лопаточный аппарат. За счет создания пенного кольца 23 инициируется контакт газообразной ртути с гипохлоритом натрия; продукты взаимодействия газообразной ртути с гипохлоритом натрия в виде твердых солей HgCl_2 и Hg_2Cl_2 стекают вместе с водой по внутренним стенкам эмульгатора в коническую часть и далее по патрубку 20 поступают в осадительную камеру 21. В осадительной камере 21 твердые соли HgCl_2 и Hg_2Cl_2 отделяют от воды и направляют на рециклинг, а воду после дополнительного охлаждения возвращают в емкость 6.

Очищенные от ртути продукты подземной газификации угля дымососом 25 направляют в газопровод 26 для их использования в последующем

как топлива при сжигании или сырья для дальнейшей переработки.

Достижимый эффект технологии носит двоякий характер: с одной стороны, он состоит в том, что способ позволяет получить ценное вещество – ртуть и сырье для его получения, с другой – он позволяет очистить продукты подземной газификации угля, а следовательно и продукты их сжигания, от токсичного вещества, каковым является ртуть.

6.2.4 Попутное извлечение селена

Селен (Se) редкий, рассеянный элемент. Содержание в земной коре $1,4 \cdot 10^{-5}\%$ по массе. Селениды могут ограниченно входить в структурные композиции сульфидов, замещая серу. Примеси селена встречаются в железном колчедане FeS_2 , халькопирите CuFeS_2 , цинковой обманке ZnS . Селеновые минералы очень редки, среди них: берцелианит Cu_2Se , тиаманит HgSe , науманит Ag_2Se , халькоменит $\text{CuSeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Самородный селен в природе встречается редко.

Селен – серый, с металлическим блеском хрупкий неметалл. При атмосферном давлении существует несколько десятков модификаций селена. Наиболее стабилен серый селен, α -Se, с гексагональной решеткой ($a = 0,436388$ нм, $c = 0,495935$ нм). Температура плавления 221°C , кипения 685°C , плотность $4,807$ кг/дм³. Плотность жидкого селена при 221°C – $4,06$ кг/дм³ [124].

Основные источники селена – пыль, образующаяся при обжиге селенсодержащих сульфидов и шламы свинцовых камер.

Аморфный Se входит в состав светочувствительных слоев в ксерографии и лазерных принтерах. Серый Se применяется в изготовлении диодов, фоторезисторов и др. Селен – пигмент для стекол, присадка к стали, добавка к сере при вулканизации, для получения катализаторов, гербицидов, инсектицидов, лекарственных средств.

В организм человека селен поступает с пищей (55–110 мг в год). Концентрируется в печени и почках. При больших дозах в первую очередь накапливается в ногтях и волосах, основу которых составляют серосодержащие аминокислоты. Пары селена ядовиты. ПДК аморфного селена в возду-

хе 2 мг/м^3 , SeO_2 , Na_2SeO_3 – $0,1 \text{ мг/м}^3$. ПДК селена в воде – $0,01 \text{ мг/м}^3$ [124].

Технология обработки газообразных продуктов подземной газификации угля, с целью добычи попутно селена, работает следующим образом (рис. 6.5) [7]. Горячие продукты подземной газификации по трубопроводу 2 поступают в теплообменный аппарат 3, где отдают часть теплоты воде системы теплоснабжения Т1-Т2. С пониженной температурой (не ниже температуры конденсации паров селена и его окислов) продукты подземной газификации угля по трубопроводу 6 поступают во внутреннее пространство циклона 8 тангенциально, т.е. по касательной. За счет тангенциального ввода газовый поток во внутреннем пространстве циклона закручивается, прижимаясь к стенке циклона.

Шнековым питателем 9 посредством бункера 10 в пространство между циклоном 8 и вращающимся конусом 12 равномерно подают хладагент, например, дробленый лед (H_2O), сухой лед (CO_2) или их смесь, который за счет вращения конуса 12 равномерно распределяется по площади наружной поверхности циклона 8. За счет низкой температуры сухого льда стенка циклона 8 сильно охлаждается. В связи с этим газовый поток, вращающийся во внутреннем пространстве циклона 8, также охлаждается до температуры ниже температуры конденсации селена и его окислов. Селен и его окислы из газообразной формы перейдут в аморфные (порошкообразная, коллоидная, стекловидная) формы селена. Вместе с селеном на стенке циклона будет происходить конденсация водяных паров; часть селена и его окислов растворятся в воде с образованием селенистой кислоты. Селен и селенистая кислота за счет гравитации начнут стекать по стенке циклона в нижнюю часть и через патрубок 20 могут быть выведены из циклона. Далее из селенистой кислоты выделяют селен. Очищенный от селена и его окислов и охлажденный газовый поток дымососом 18 вытягивается из внутреннего пространства циклона и по газопроводу 21 направляется для использования в качестве топлива или сырья химического производства.

Сухой лед в пространстве между циклоном 8 и вращающимся конусом 12 от контакта со стенкой циклона испаряется и в виде газа через патрубок 19 выводится для повторного использования – сжижения и прессования до образования сухого льда.

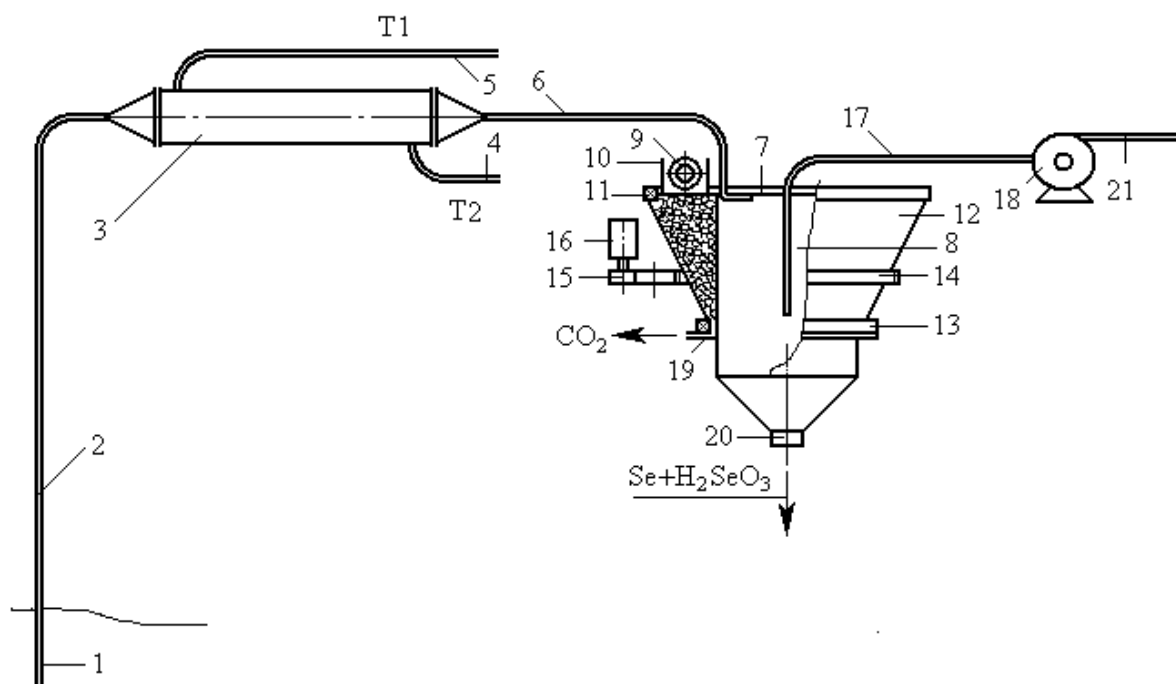


Рисунок 6.5 – Технологическая схема попутного извлечения селена при ПГУ
 1– газоотводная скважина ПГУ; 2, 4, 5, 6, 17, 21– трубопроводы; 3 – теплообменный аппарат; 7 – крышка; 8 – циклон; 9 – шнековый питатель; 10 – бункер; 11, 13 – подшипники; 12 – вращающийся конус; 14 – зубчатое колесо; 15 – редуктор; 16 – привод; 18 – дымосос; 19 – патрубок; 20 – воронка с патрубком

Достижимый эффект технологии состоит в том, что способ позволяет получить ценное вещество – селен или сырье для его получения, а также позволяет очистить продукты подземной газификации угля, а следовательно и продукты их сжигания, от токсичного вещества, каковым является селен и его окислы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые и растущие экономические и политические потребности общества исторически обеспечиваются развитием минерально-сырьевой базы. Производство и предложение необходимых жизнеобеспечивающих товаров и услуг пока еще недостаточны для удовлетворения спроса возрастающей численности населения. Энергетические потребности ряда стран, например Китая, в настоящее время уже покрываются, в объеме до 95 % производства электроэнергии, за счет добычи и сжигания до 2,0 млрд. т угля. Масса технологических минеральных отходов при этом возросла до 0,5 млрд. т в год, что предопределяет тотальное загрязнение и деградацию окружающей природной среды в настоящее время и ближайшие десятилетия.

Комплексное освоение угольных месторождений предполагает, во-первых, определение качественных и количественных показателей энергетического сырья – кузнецких углей по комплексу ценных и токсичных минеральных компонентов, накапливающихся в отходах добычи и потребления углей; во-вторых, разработку новых направлений развития технологий получения минеральной продукции, в том числе редких, благородных, цветных металлов из углей и отходов, а также утилизацию токсичных компонентов на стадиях добычи, переработки, потребления углей и получения, накопления, хранения отходов.

В монографии изложены результаты исследований размещения элементов-примесей в пластах кузнецких углей; установлены геохимические показатели исходной горной массы, концентратов, отходов при обогащении углей на разрезах «Бачатский», «Моховский»; выделена минерально-сырьевая база кузнецких углей с кондиционными для промышленного извлечения содержаниями химических элементов; приведены результаты экспериментального сжигания углей на котельной разреза «Бачатский», Южно-Кузбасской ГРЭС, других ТЭС Кемеровской области; предложены новые геотехнологии комплексного освоения угольных месторождений.

Экспериментальные мониторинговые исследования характера распределений элементов золы при обогащении углей и сжигании на ТЭС и ко-

тельной, последующего разделения золопродуктов на магнитных сепараторах подтвердили возможность промышленного производства товарного магнетитового концентрата, извлеченного из водной пульпы тракта удаления золоотходов на Южно-Кузбасской ГРЭС. Геохимический состав магнитного концентрата, свидетельствует о том, что он удовлетворяет, по содержанию железа (34,7 %), требованиям для приготовления агломерата на Абагурской ОАФ. Концентрат содержит кроме Fe^{3+} и Fe^{2+} тридцать пять химических элементов. Из них главными по анализам и расчетам являются (%): Na_2O (0,22), MgO (0,25), Al_2O_3 (11,48), Fe_2O_3 (41,43), FeO (8,36), SiO_2 (27,02), P_2O_5 (0,944), SO_3 (0,13), K_2O (0,53), CaO (2,76), TiO_2 (0,37), MnO (1,08). Наиболее важными из примесей отметим (г/т): Sc (4,5), Cu (173), Zn (657), Ga (28,8), Ge (9,6), Mo (6,3), Ag (0,1), Sn (35,4), Pb (189). Наиболее существенными из них для дальнейшего изучения, экономической и экологической оценки золошлакоотходов являются P, S, Mn, Cu, Zn, Ge, Ag, Sn, Pb. Магнитная фракция из золы Южно-Кузбасской ГРЭС обладает дефицитом по Fe, Mg, Ti, V, Cr, Co, Ni, Sr и избытком по Al, Si, K, Ca, Mn по сравнению со средним составом магнетитов месторождений мира. В составе магнитной фракции определены 37 элементов, 14 из них накоплены в товарном магнетите по отношению к немагнитной фракции золы. Показатели концентраций следующие: Mg (3,3), P (2,9), Ca (1,60), Mn (5,6), Fe^{3+} (17,5), Fe^{2+} (9,2), Co (1,1), Ni (2,1), Cu (2,2), Zn (2,0), Ga (1,2), Ge (?), As (1,1), Mo (3,9).

Отметим, что ценные и легирующие элементы Mn, Co, Ni, Ga, Ge, Mo имеют заметную положительную тенденцию к накоплению в магнетитовом концентрате. Гидрометаллургическое и сопутствующие экспериментальные исследования (ВНИИХТ, г. Москва) золошлаков котельной разреза «Бачатский» с получением образцов товарных продуктов показали возможность производства растворов квасцов для очистки загрязненных технологических вод, товарного глинозема, редких металлов, других минеральных составляющих для различных изделий строительной отрасли, огнеупорных материалов. Размещение компонентов минерального сырья, сопутствующего месторождениям кузнецких углей, позволило выбрать объекты с максимумами содержаний ценных элементов и ориентировать

дальнейшие поисковые работы. Они, в первую очередь, должны быть возвращены на объектах с наиболее ценными элементами, найденными в пластах кузнецких углей, а именно платиновой группы и благородных металлов, алюминия, железа, редких земель, циркония, ниобия, тантала, урана, тория и других.

Авторским коллективом разработан комплекс новых технологий, направленных на извлечение химических элементов-примесей при комплексном освоении угольных месторождений. Так повышение качества товарных углей возможно за счет отдельной (селективной) выемки непосредственно в шахте и выдачи на поверхность различной по составу горной массы. Геотехнологии, исключающие валовую разработку угольных пластов, должны обеспечивать сохранение природного качества угля в различных слоях; отдельное формирование и выдачу на поверхность однородных по качеству нескольких потоков горной массы; отдельную переработку углей различного качества; одновременную работу нескольких технологических линий – добыча-переработка; встроенность дополнительных технологических операций в основной процесс.

За счет целенаправленного формирования техногенных месторождений полезных ископаемых с заданным геохимическим составом, определяющим основное направление его последующей переработки, возможно наиболее полное извлечение различных полезных ископаемых. Например, при регулировании поставок углей на обогатительные фабрики и энергетические предприятия в угольных концентратах, хвостохранилищах и отвалах будет накапливаться учтенный, первично подготовленный материал для последующей промышленной переработки.

Комбинированные геотехнологии, сочетающие различные физико-химические и физико-технические процессы и методы, разделенные или объединенные во времени и пространстве, позволят комплексно осваивать угольные месторождения. Кроме добычи собственно угля предлагается обеспечивать, таким образом, вовлечение в хозяйственный оборот нетрадиционных ресурсов минеральных компонентов – обогащенных ценным сырьем углей и отходов их потребления.

CONCLUSION

Historically, any new growing economical and political needs of the society imply the development of a mineral and raw materials base. But the production and availability of life support goods and services is still insufficient to meet the demand of increasing population. Presently, 95% of energy needs in some countries, in China for an example, are already met by means of 2 bln. tons of coal production and use in a power generation process. With all this the amount of technological mineral waste also grew up to 0.5 bln. tons per year, thus predetermining high contamination and degradation of natural environment both nowadays and in the near-term decade.

Integrated development of coal deposits implies two key aspects in addressing a number of issues considered in this study. The first one relates to the definition of quantitative and qualitative indices of the energy resource – kuznetsk coal, by a complex of precious and toxic mineral components accumulated in coal mining and coal consumption wastes. The second one assumes new development trends of technologies for mineral goods production, including rare, noble, nonferrous metals recovery from coal and coal waste, as well as toxic components utilization at stages of coal mining, processing, use and waste products outputting, accumulation and storage.

The monograph sets force the research results of impurity elements distribution patterns in kuznetsk coal seams, establishes geochemical characteristics of run of mine coal, concentrates, coal processing waste, produced on “Bachatskii” and “Mokhovskii” open cast mines; displays a selected mineral and raw materials base of kuznetsk coal, that features amount of chemical elements certified for industrial recovery; provides outcomes of test incineration of coal in a boiler station on “Bachatskii” open cast mine, on South-Kuzbass power station and on other co-generation plants of Kemerovskaya oblast; suggests new specific geotechnologies for integrated development of coal deposits.

Experimental monitoring research of an ash elements distribution profile in the course of coal processing and incineration in the co-generation plant and in the boiler station with followed separation of ash products on a magnetic filters proved the possibility of industrial production of finished magnetite concentrate,

recovered from the water pulp of ash wastes disposal flow on the South – Kuzabss municipal power plant. Geochemical composition of magnetic concentrate displays its compliance with the requirements for agglomerate preparation on Abagoorskaya processing plant and exhibits 34.7 % iron content. Besides Fe^{3+} and Fe^{2+} the concentrate contains thirty five chemical elements. Based on undertaken analysis and calculation, the following, out of them, are considered as the main ones (%): Na_2O (0,22), MgO (0,25), Al_2O_3 (11,48), Fe_2O_3 (41,43), FeO (8,36), SiO_2 (27,02), P_2O_5 (0,944), SO_3 (0,13), K_2O (0,53), CaO (2,76), TiO_2 (0,37), MnO (1,08). Out of admixtures the following should be noted as basic ones (g/t): Sc (4,5), Cu (173), Zn (657), Ga (28,8), Ge (9,6), Mo (6,3), Ag (0,1), Sn (35,4), Pb (189). The top significant for further study, and economic and ecological appraisal of ash-and-slag wastes become the following: P, S, Mn, Cu, Zn, Ge, Ag, Sn, Pb. Magnetic fraction made from ash, taken on South – Kuzabss municipal power plant, lacks Fe, Mg, Ti, V, Cr, Co, Ni, Sr, but features an excess of Al, Si, K, Ca, Mn, if compared with an average composition of world wide magnetite deposits. Within the magnetic fraction composition 37 elements were defined and 14 of them are accumulated in commercial magnetite product versus a nonmagnetic ash fraction. Concentration figures are the following: Mg (3.3), P (2.9), Ca (1.60), Mn (5.6), Fe^{3+} (17.5), Fe^{2+} (9.2), Co (1.1), Ni (2.1), Cu (2,2), Zn (2.0), Ga (1.2), Ge (?), As (1.1), Mo (3.9).

It is worth to note that precious and alloy elements Mn, Co, Ni, Ga, Ge, Mo possess an evident positive tendency for accumulation in the magnetite. Hydro-metallurgical and concomitant experimental study (VNIHT, Moscow) of ash-slag mixtures taken from the boiler house on “Bachatskii” open cast mine’ and yielding of commercial products specimens revealed the possibility of alum solution production and its use for purification of contaminated technological water, marketable alumina, rare metals and other mineral constituents used for construction industry goods and refractory materials. The arrangement of mineral resource components associated with kuznetsk coal deposits allowed to select targets with maximum content of precious elements and to guide further the prospecting work. Primary this work should be accomplished on targets, containing the best precious elements, found in kuznetsk coal seams, namely on platinum group, noble metal, aluminum, iron, rare-earth series (REE), zirconium, niobium, tantalum, uranium, thorium etc.

The composite author has developed a complex of new and specific technologies, aimed for recovery of chemical admixture-elements in the course of integrated development of coal deposits. Thus, quality of marketable coal may be improved due to discrete (selected) mining accomplishment directly in the mine, when run of mine coal of different composition is delivered to the surface. Dedicated technologies, excluding a gross mining method of coal seams, should ensure the preservation of coal natural grade in various layers; discrete formation and surface delivery of several flows of homogeneous quality rock mass; separate processing of coal of different grades; simultaneous operation of some technological lines – mining-processing, integration of additional technological operations into the main process.

Due to dedicated formation of anthropogenic deposits of minerals with specified geochemical composition that defines a main trend of its further processing, it becomes possible to extract different mineral resources more complete. For instance, during regulation of coal delivery to processing and power plants, the recorded and primarily prepared material aimed for further industrial processing will accumulate in coal concentrate, setting dumps and waste banks.

Complex geotechnologies, combining different physical-chemical and physical-technical processes and methods, separated or united in space and time, will allow for integrated coal deposit development. Thus, besides coal, it is expected to implicate into the economic cycle unconventional resources of mineral components – coal, enriched with valuable feedstock and its consumption wastes.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин В. В. Месторождения металлических полезных ископаемых / В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев и др.- М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.- 269 с.
2. Алукер Н. Л. Проблемы радиационной безопасности угольной отрасли / Н. Л. Алукер, Н. А. Васильев, А. И. Еременко // Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию.- Кемерово, 1999.- С. 139-149.
3. Альтгаузен М. Н. Уран // Металлы в осадочных толщах. Благородные металлы, радиоактивные, рассеянные и редкоземельные элементы.- М.: Наука, 1966. - С. 102-152.
4. Амосов Р. А. Методика гравитационного тестирования золотосодержащего минерального сырья / Р. А. Амосов, А. С. Парий // Горный журнал.- 2003.- № 12. - С. 53-58.
5. Аношин Г. Н. Аналитическая геохимия благородных металлов и ртути: автореф. дис. ...докт. геол.-минерал. наук.- Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2000. - 56 с.
6. Анферов Б. А. Проблемы и перспективы комплексного освоения угольных месторождений Кузбасса / Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова.- Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2009.- 242 с.
7. Анферов Б. А. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Патент РФ № 2395687. Оpubл. 27.07.2010. Бюл. № 21.
8. Анферов Б. А. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Патент РФ № 2392431. Оpubл. 20.06.2010. Бюл. № 17.
9. Анферов Б. А. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Патент РФ № 2392432. Оpubл. 20.06.2010. Бюл. № 17.
10. Анферов Б. А. Способ комплексного освоения угольного месторождения / Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Патент РФ № 2390634. Оpubл. 27.05.2010. Бюл. № 15.

11. Анферов Б. А. Технологические принципы попутной добычи ценных компонентов при разработке угольных месторождений / Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сб. науч. статей. Вып.1.- Новокузнецк: СибГИУ, 2008. - С. 24-33.
12. Арбузов С. И. Геохимия и металлоносность углей Красноярского края / С. И. Арбузов [и др.]; под общ. ред. С. И. Арбузова.- Томск: STT, 2008. - 300 с.
13. Арбузов С. И. Геохимия редких элементов в углях Сибири / С. И. Арбузов, В. В. Ершов.- Томск: «Д-Принт», 2007. - 468 с.
14. Арбузов С. И. Изучение потерь радиоактивных элементов при озоле-нии угля и прогнозирование их выбросов в атмосферу / С. И. Арбузов, В. В. Ершов, А. А. Поцелуев, И. С. Соболев // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы международной конференции.- Томск: Изд-во ТПУ, 1996. - 308 с.
15. Арбузов С. И. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С. И. Арбузов, В. В. Ершов, А. А. Поцелуев, Л. П. Рихванов. - Кемерово: Кемеровский полиграфкомбинат, 1999. - 248 с.
16. Арбузов С. И. Редкометалльный потенциал углей Минусинского бассейна / С. И. Арбузов, В. В. Ершов, Л. П. Рихванов и др.- Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. - 347 с.
17. Балашов Ю. А. Влияние климатических и фациальных условий на разделение редкоземельных элементов в осадочном процессе / Ю. А. Балашов, А. Б. Ронов, А. А. Мигдасов, Н. В. Туранская // Геохимия.- 1964. - № 10. - С. 995-1013.
18. Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов.- М.: Наука, 1976. - 267 с.
19. Баранов Ю. Е. Редкие элементы в угленосных формациях // Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов.- М.: Наука, 1966. - Т. III. - С. 736-754.
20. Башаркевич И. Л. Геохимические особенности ископаемых углей / И. Л. Башаркевич, Ю. П. Костин, Е. С. Мейтов // Редкометалльные месторождения в осадочных и вулканогенно-осадочных формациях.- М.: ИМГРЭ, 1984. - С. 68-80.

21. Бернатонис В. К. Микроэлементный состав торфов / В. К. Бернатонис, В. С. Архипов // Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири: Материалы науч. конф.- Томск: ТПУ, 2000. - С. 212-219.
22. Бернатонис В. К. Ртуть в торфах Томской области / В. К. Бернатонис, В. С. Архипов, В. И. Резчиков, Л. М. Балабаева // Рациональное использование природных ресурсов Сибири. - Томск, 1989. - 29 с.
23. Борисова Т. Ф. Распределение скандия в угольном веществе / Т. Ф. Борисова, Г. Ф. Гурен, Л. Н. Комиссарова, В. М. Шацкий // Химия твердого топлива. - 1974. - № 5. - С. 10-13.
24. Бурксер Е. С. Радиоактивность каменных углей Кузнецкого бассейна / Е. С. Бурксер, В. В. Кондогурин, Н. П. Капустин и др. // Украинский химический журнал. - 1934. - Т. 5. - Кн. 3-4. - С. 441-445.
25. Буслаева Е. Ю. Элементоорганические соединения в проблеме миграции рудного вещества / Е. Ю. Буслаева, М. И. Новгородова.- М.: Наука, 1989.- 152 с.
26. Бык С. И. Распределение галлия в углях продуктивных горизонтов Львовско-Волынского бассейна // Доклады АН Украины.- 1987.- № 11.- С. 3-5.
27. Вайн Дж. Д. Геология урана в породах, содержащих вещество угольного ряда: Обзоры по отдельным проблемам. - М.: ВИЭМС, 1963.- Вып. 3. - 77 с.
28. Ван А. В. Вулканогенный пепел в угленосных отложениях верхнего палеозоя Средней Сибири // Литология и полезные ископаемые.- 1972. - № 1. - С. 40-51.
29. Ван А. В. О месторасположении источников пеплового материала в угленосных отложениях верхнего палеозоя Кузнецкого бассейна: Труды СНИИГГиМСа.- Новосибирск, 1973.- Вып. 170.- С.111-113.
30. Вернадский В. И. Очерки о геохимии / В. И. Вернадский, М. Л. Грозный.- Новосибирск: Гос. науч.-технич. Горно-геогло-нефтяное изд-во, 1934. - 380 с.
31. Вертман Е. Г. Экспрессный неразрушающий метод определения кларковых содержаний урана в осадочных породах по запаздывающим

- нейтронам / Е. Г. Вертман, Ю. М. Столбов, В. А. Варлачев и др. // Геохимические и аналитические методы изучения вещественного состава осадочных пород и руд. - М.: ВИЭМС, 1974. - С. 64-65.
32. Войткевич Г. В. Краткий справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. Е. Мирошников, А. С. Поваренных, В. Г. Прохоров - М.: Недра, 1970. - 278 с.
 33. Гольдшмидт В. М. О накоплении редких элементов в каменных углях. Пер. с нем./ В. М. Гольдшмидт, К. Петерс. - М.: Редакция горно-топливной и геологоразведочной литературы, 1938. - 53 с.
 34. Гордон С. А. О характере распределения скандия в угле / С. А. Гордон, Г. Ф. Гурен, Л. Н. Комиссарова, В. М. Шацкий // Исследования по химии горных пород. - М.: Недра, 1968. - С. 32-37.
 35. Горные науки. Освоение и сохранение недр земли / К. Н. Трубецкой [и др.]; под ред. К. Н. Трубецкого. - М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. - 480 с.
 36. Горький Ю. И. К классификации углей по степени их германиеносности // Геология и геохимия полезных ископаемых Красноярского края.- Красноярск: Кн.изд-во, 1964.- С.75-85.
 37. Григорьев Н. А. Бериллий в экзогенном цикле. - М.: Наука, 1978. - 163 с.
 38. Григорьева В. З. О содержании фосфора в углях Кузбасса // Тр. Томского ун-та.- 1949.- Т. 101. - С. 49-61.
 39. Громов К. Г. Гигиена труда, патогенные свойства углей различного вещественного состава и здоровье шахтеров Кузбасса: автореф. дис. ...докт. мед. наук: 14.00.07. - М.: МОТКЗ НИИ Гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, 1988. - 31 с.
 40. Данчев В. И. Некоторые особенности миграции и концентрации урана и его элементов спутников (Mo, Be, Ge, Zn, Pb, As и др.) в экзогенном процессе / В. И. Данчев, Н. Т. Стрелянов // Геохимия процессов миграции рудных элементов. - М.: Наука, 1977. - С. 228-238.
 41. Данчев В. И. Ураноугольные месторождения и их главнейшие генетические типы / В. И. Данчев, Н. Т. Стрелянов // Геология рудных месторождений. - 1973. - № 3. - С. 66-81.

42. Дир У. А. Породообразующие минералы. Ортосиликаты и кольцевые силикаты. Пер. с англ./ У.А. Дир, Р.А. Хауи, Дж. Зусман.– М.: Мир, 1965. - Т. 1. - 371 с.
43. Дир У. А. Породообразующие минералы. Несиликатные минералы. Пер. с англ. / У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж. Зусман.– М.: Мир, 1965. - Т. 5. - 408 с.
44. Дир У. А. Породообразующие минералы. Листовые силикаты. Пер. с англ. / У.А. Дир, Р. А. Хауи, Дж. Зусман. – М.: Мир, 1965.- Т. 3.- 317 с.
45. Дир У. А. Породообразующие минералы. Каркасные силикаты. Пер. с англ./ У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж. Зусман. – М.: Мир, 1965.- Т. 4.- 482 с.
46. Дэна Дж. Д. Система минералогии. Пер. с англ. / Дж. Д. Дэна, Э. С. Дэна, Ч. Пэлач, Г. Берман, К. Фрондель.- М.: Изд-во иностранной литературы, 1953. - Т. II, полутом 1. - 773 с.
47. Дэна Дж. Д. Система минералогии. Пер. с англ. / Дж. Д. Дэна, Э. С. Дэна, Ч. Пэлач, Г. Берман, К. Фрондель.- М.: Изд-во иностранной литературы, 1953. - Т. II, полутом 2. - 590 с.
48. Еремин И. В. Марочный состав углей и их рациональное использование / И. В. Еремин, Т. М. Броновец. - М.: Недра, 1994. - 254 с.
49. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Главные *p*-элементы. - М.: Недра, 1994.- Кн. 2. - 303 с.
50. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Редкие *p*-элементы. - М.: Недра, 1996. - Кн. 3. - 352 с.
51. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Редкие *d*-элементы. - М.: Экология, 1997.- Кн. 5. - 575 с.
52. Институт горного дела им. А. А. Скочинского [Электронный ресурс].- 2004.- Режим доступа: <http://www.igd.ru/content/?production/pd/kmkl/>.- Дата доступа: 16.12.2004.
53. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке угля и горючих сланцев. - М.: Наука, 1987. -136 с.
54. Инструкция по изучению токсичных компонентов при разведке угольных сланцевых месторождений: под ред. В. Р. Клер. - М.: Министерство геологии РСФСР, 1982. - 84с.

55. Исследование паров ртути // ИНЭК [электронный ресурс].- 2008.- Режим доступа: <http://www.ekoexpert.ru> . - Дата доступа 01.07.2008.
56. Кизильштейн Л. Я. Геохимия бериллия в углях: экологический аспект // Геохимия. - 1997. - № 3. - С. 336-342.
57. Кизильштейн Л. Я. Компоненты зол и шлаков ТЭС / Л. Я. Кизильштейн, И. В. Дубов, А. Л. Шпицглюз, С. Г. Парада. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 176 с.
58. Кизильштейн Л. Я. Прогнозная оценка радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха в районе угольных ТЭС по материалам геологической разведки / Л. Я. Кизильштейн, А. Г. Перетятыко, Е. Л. Людмирская // Химия твердого топлива. - 1994. - № 2. - С. 31-36.
59. Кизильштейн Л. Я. Роль органического вещества земной коры в образовании месторождений урана / Л. Я. Кизильштейн, Б. А. Черников.- Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1999. - 146 с.
60. Кириенко В. М. Опыт селективной выемки калийных пластов на Старобинском месторождении / В. М. Кириенко, В. Н. Плескунов, В. Н. Чужов // Горный журнал. - № 7. - 2003. - С. 50-52.
61. Китаев И. В. Геохимические закономерности распределения золота и серебра в осадочных породах и углях / И. В. Китаев, М. А. Михайлов // Геохимия и минералогия осадочных комплексов Дальнего Востока.- Владивосток, 1979. - С. 57-76.
62. Клер В. Р. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев; под ред. К. В. Миронова.- М.: Наука, 1987.- 136 с.
63. Клер В. Р. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов / В. Р. Клер, Г. А. Волкова, Е. М. Гурвич и др. - М.: Наука, 1987. - 239 с.
64. Ковалевский А. Л. Безбарьерные биохимические поиски и разведка серебра и платиноидов // Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ: Тез. докл. - М., 1997. - С. 91-92.
65. Копелиович Е. Л. О некоторых закономерностях распространения фосфора в пластах угля балахонской свиты кузнецкого бассейна // Уч. зап. Вологод. педагог. Ин-та. - 1959. - Вып. 24. - С. 291- 308.

66. Коробейников А. Ф. Комплексные золото-платиноидно-редкометалльные месторождения – резерв XXI века // Изв. ТПУ.- 2001. - Т. 304.- Вып. 1. - С. 169-182.
67. Коробушкина Е. Д. Взаимодействие золота с бактериями и образование «нового золота» / Е. Д. Коробушкина, И. М. Коробушкин // Доклады АН СССР.- 1986.- Т. 287.- № 4.- С. 978-980.
68. Кузнецова Л. В. Перспективы комбинированных геотехнологий комплексного освоения угольных месторождений Кузбасса / Л. В. Кузнецова, Б. А. Анферов // Известия Вузов. Горный журнал. - 2009. - № 2.- С. 28-32.
69. Кузнецова Л. В. Повышение промышленной и экологической безопасности освоения угольных месторождений за счет комбинированных геотехнологий / Л. В. Кузнецова, Б. А. Анферов // Безопасность труда в промышленности. - 2008.- № 10. - С. 24-25.
70. Кузнецова Л. В., Нифантов Б. Ф., Анферов Б. А. Пат. 2370649 Российской Федерации, МПК E21C 41/18, E21B 43/295. Способ комплексного освоения участка угольного месторождения; заявитель патентообладатель ИУУ СО РАН.- № 2008113487/03; заявл. 07.04.2008; опубл. 20.10.2009. - Бюл. № 29. - 6 с.
71. Кузнецова Л. В., Нифантов Б. Ф., Анферов Б. А. Пат. 2370643 Российской Федерации, МПК E21B 43/295, E21F 7/00. Способ комплексного освоения угольного месторождения; заявитель патентообладатель ИУУ СО РАН.- № 2008114684/03; заявл. 14.04.2008; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29. - 5 с.: ил.
72. Кузьмин В. И. Солянокислая схема извлечения скандия из зол сжигания углей Бородинского угольного разреза / В. И. Кузьмин, Г. Л. Пашков, В. Н. Кузьмина и др. // Редкоземельные металлы: Переработка сырья, производство соединений и материалов на их основе: Тез. докл. - Красноярск, 1995. - С. 103-104.
73. Лайнер Ю. А. Перспективы получения германиевых концентратов из различных видов германийсодержащего сырья / Ю. А. Лайнер, В. А. Резниченко, П. А. Красноярцев // Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке.- М., 1998. - С. 322-323.

74. Ласкорин Б. Н. Безотходная технология переработки минерального сырья / Б. Н. Ласкорин, Л. А. Барский, В. З. Персидский.- М.: Недра, 1984.- 334 с.
75. Леонов С. Б. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций / С. Б. Леонов, К. В. Федотов, А. Е. Сенченко // Горный журнал. - 1998. - № 5. - С. 67-68.
76. Максимова М. Ф. Рений в инфильтрационных урано-угольных месторождениях / М. Ф. Максимова, Е. М. Шмариович // Геология рудных месторождений. - 1982. - Т. 24. - № 3. - С. 71-78.
77. Мельник Ю. П. Экспериментальные исследования по окислению сидерита водяным паром // Исследование природного и технического минералообразования. По материалам VII совещания по экспериментальной и технической минералогии и петрографии.- М.: Наука, 1966.- С. 120-126.
78. Минералы. Сложные окислы, титанаты, ниобаты, танталаты, антимонаты, гидроокислы: Справочник; отв. ред. Ф. В. Чухров, Э. М. Бонштедт-Куплетская. - М.: Наука, 1967. - Т. II. - Выпуск 3. - 676 с.
79. Митина Н. В. Разработка геоинформационной системы для комплексного исследования геохимических свойств угольных месторождений (на примере Кузбасса): автореф. дис. ...канд. техн. наук.- Кемерово: ИУУ СО РАН, 2006. - 22 с.
80. Михеев О. В. Подземная разработка пластовых месторождений. Теоретические и методические основы проведения практических занятий: Учебное пособие / О. В. Михеев, [и др.]. - М.: Изд.-во Московского гос. горного ун-та, 2001. - 487 с.
81. Михнев А. Д. Разработка технологии извлечения скандия из золошлаковых отходов / А. Д. Михнев, Л. П. Колмакова, А. А. Концевой // Редкоземельные металлы: Переработка сырья, производство соединений и материалов на их основе: Тез. докл. - Красноярск, 1995. - С. 106-107.
82. Мицкевич Б. Ф. Гуминовые и фульвовые кислоты и их влияние на миграцию бериллия в зоне гипергенеза / Б. Ф. Мицкевич, Т. Г. Корниенко, В. М. Кадошников // Геологический журнал. - 1975. - Т. 35. - № 4. - С. 29-34.

83. Мышьяк // [электронный ресурс].- 2009.- Режим доступа: <http://www.chemport.ru> . - Дата доступа 03.02.2009.
84. Назаренко В. А. Содержание ванадия, бериллия и бора в золах некоторых каменных углей // Труды Биохимической лаборатории АН СССР.- 1937. - Т. 84. - № 4. - С. 265-270.
85. Нарай-Сабо И. Неорганическая кристаллохимия. - Будапешт: Изд-во Академии наук Венгрии, 1969. - 504 с.
86. Нифантов Б. Ф. Возможности выгодной переработки углей и вторичного минерального сырья – отходов промышленных предприятий Кемеровской области / Б. Ф. Нифантов, А. Н. Заостровский // Вестник КузГТУ. - 2007. - № 4. - С. 60-64.
87. Нифантов Б. Ф. Геологические аспекты эффективного развития добывающей промышленности в Кузбассе // Геомеханика и технологическое развитие подземной угледобычи в Кузбассе. - Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004. - С. 58-82.
88. Нифантов Б. Ф. Геохимия и оценка ресурсов редкоземельных и радиоактивных элементов в кузнецких углях. Перспективы переработки / Б. Ф. Нифантов, В. П. Потапов, Н. В. Митина.- Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. - 104 с.
89. Нифантов Б. Ф. Геохимия разрабатываемых угольных пластов, продукции и отходов переработки кузнецких углей // Эколого-экономические проблемы разработки угольных месторождений Кузбасса: Тез. докл. науч.-практич. конф. - Кемерово, 1991. - С. 27-28.
90. Нифантов Б. Ф. Исследование опыта промышленной переработки золы способом магнитной сепарации на Южно-Кузбасской ГРЭС / Б. Ф. Нифантов, А. Н. Заостровский, О. П. Занина // Вестник КузГТУ.- 2006. - № 5. - С. 84-90.
91. Нифантов Б. Ф. Малые химические элементы в углях Западной и Восточной Сибири и проблемы их извлечения // Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы угольной промышленности Восточно-Сибирского региона: Доклад. - Иркутск, 1995.
92. Нифантов Б. Ф. Мониторинг геохимических показателей продуктов разделения золы Южно-Кузбасской ГРЭС при извлечении магнетита /

- Б. Ф. Нифантов, А. Н. Заостровский, О. П. Занина // Вестник КузГТУ.- 2006. - № 6. - С. 102-109.
93. Нифантов Б. Ф. Ниобий и тантал: к новой оценке ресурсов кузнецких углей, отходов их добычи и потребления / Б. Ф. Нифантов, В. П. Потапов // Уголь.- 2008.- № 6.- С. 56-58.
94. Нифантов Б. Ф. О высоких концентрациях ниобия и тантала в кузнецких углях / Б. Ф. Нифантов, А. Н. Заостровский // Вестник КузГТУ.- 2007. - № 5. - С. 68-72.
95. Нифантов Б. Ф. О задачах перестройки геологического изучения Кузбасса// Социально экономические проблемы достижения коренного перелома в эффективности развития производительных сил Кузбасса: Материалы Всесоюз. конф. - Кемерово: СО АН СССР. - 1988. - С. 195-200.
96. Нифантов Б. Ф. Способ селективной выемки угольного пласта / Б. Ф. Нифантов, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Патента РФ № 2392433, опубл. 20.06.2010 бюл. № 17.
97. Нифантов Б. Ф. Способ формирования техногенного месторождения полезных ископаемых / Б. Ф. Нифантов, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Патента РФ № 2409741, опубл. 20.01.2011 г. бюл. № 2.
98. Нифантов Б. Ф. Способ формирования техногенного месторождения полезных ископаемых / Б. Ф. Нифантов, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Патента РФ № 2395687, опубл. 27.07.2010 г. бюл. № 21.
99. Нифантов Б. Ф. Способ формирования техногенного месторождения полезных ископаемых / Б. Ф. Нифантов, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. Заявка на выдачу патента РФ № 2009111932.
100. Нифантов Б. Ф. Распределение ценных и редких элементов в кузнецких углях / Б. Ф. Нифантов, А. Н. Заостровский // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: труды IX Междунар. науч.-практич. конф. - Кемерово: Экспо-Сибирь, 2007. - С. 90-92.
101. Обзор по международной выставке ярмарке «Уголь России – майнинг 2000» // Уголь. - № 11. - 2000. - С. 22-25.
102. Отходы и доходы. Российские энергетики настаивают на пересмотре отношения к продуктам сгорания твердого топлива электростанций //

- [электронный ресурс].- 24.06.2008.- Режим доступа: <http://www.metcoal.ru>. - Дата доступа 17.02.2009.
103. Пат. 2291300 Российской Федерации, МПК7 E21C 41/16. Способ селективной выемки пластовых полезных ископаемых / Анферов Б. А., Нифантов Б. Ф., Кузнецова Л. В.; заявитель и патентообладатель ИУУ СО РАН.- № 2005115366/03; заявл. 20.05.2005; опубл. 10.01.2007, Бюл. № 1. - 5 с.: ил.
104. Пат. 2312988 Российской Федерации, МПК7 E21C 41/18. Способ селективной выемки пологого угольного пласта / Анферов Б. А., Нифантов Б. Ф., Кузнецова Л. В.; заявитель и патентообладатель ИУУ СО РАН. - № 2006110469/03; заявл. 31.03.2006; опубл. 20.12.2007, Бюл. № 35. - 6 с.: ил.
105. Парк Ч. Ф. Рудные месторождения. Пер. с англ. / Ч. Ф. Парк, Р. А. Мак-Дормид. - М.: Мир, 1966. - 545 с.
106. Песков Е. Г. Геологические проявления холодной дегазации Земли.- Магадан: СВК НИИ ДВО РАН, 2000. - 279 с.
107. Песков Е. Г. Оценить перспективы золотоносности аргиллизитов центральной и восточной части Кузбасса и основных районов Салаира / Е. Г. Песков, О. О. Минко. - М., 1995. - 95 с.
108. Пихлер М. Wirtgen Surface Miner в Индии. Опыт селективной разработки угольных месторождений / М. Пихлер, Ю. Б. Панкевич // Горная промышленность. - 2003. - № 4. - С. 40-47.
109. Плотникова Т. Разрез «Березовский – 1»: люди и их дело // Уголь.- № 8.- 2001.- С. 12-15.
110. Потапов В. П. Создание автоматизированных баз данных ценных элементов в углях предприятий Кузнецкого бассейна / В. П. Потапов, В. И. Удовицкий, Б. Ф. Нифантов, И. В. Кандинская // Вестник КузГТУ. - 2003. - № 2. - С. 38-41.
111. Ратынский В. М. О золоте в ископаемых углях / В. М. Ратынский, М. Я. Шпирт, С. А. Мусьял, М. А. Белошапка // Химия твердого топлива. - 1982. - № 4. - С. 88-90.
112. Ратынский В. М. О рении в ископаемых углях / В. М. Ратынский, М. Я. Шпирт, Н. В. Краснобаева // Докл. АН СССР, 1980. - Т. 251. - № 6. - С.1489-1492.

113. Региональные проблемы перехода к устойчивому развитию: ресурсный потенциал и его рациональное использование в целях устойчивого развития; под науч. редакц. Г. И. Грицко и др.- Кемерово: Изд-во Полиграф, 2003.- Т. 1.- 500 с.
114. Рений // [электронный ресурс].- 2009. -Режим доступа: <http://www.chemport.ru> . - Дата доступа 03.02.2009.
115. Рихванов Л. П. Радиоактивные элементы в углях / Л. П. Рихванов, С. И. Арбузов, В. В. Ершов, А. А. Поцелуев // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы междунар. конф. - Томск: Изд-во ТПУ, 1996. - С. 104-109.
116. Рогов Г. М. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса / Г. М. Рогов, В. К. Попов; под ред. В. М. Матусевича. - Томск: Изд-во ТПУ, 1985. - 191 с.
117. Ртуть // [электронный ресурс].- 2009. - Режим доступа: <http://www.chemport.ru> . - Дата доступа 03.02.2009.
118. Рухин Л. Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. - Л.: Недра, 1969. - 703 с.
119. Рябов В. В. Магматические образования Норильского района. Петрология траппов / В. В. Рябов, А. Я. Шевко, М. П. Гора. - Новосибирск: Изд-во Нонпарель, 2001. - Т. 1. - 408 с.
120. Сазонов А. М. Нетрадиционная платиноидная минерализация Средней Сибири / А. М. Сазонов, О. М. Гринев, Г. И. Шведов, В. И. Сотников.- Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 1997. - 148 с.
121. Сазонов А. М. Платиноносность месторождений Средней Сибири / А. М. Сазонов, Н. К. Алгебраистова, В. И. Сотникова и др. - М.: Геоинформмарк, 1998. - 35 с.
122. Салихов В. А. Научные основы и совершенствование геолого-экономической оценки попутных полезных компонентов угольных месторождений (на примере Кузбасса). - Новокузнецк: СибГИУ, 2007.- 246 с.
123. Сапрыкин Ф. Я. Общие сведения о редких элементах: Методическое руководство по изучению и оценке месторождений угля на германий и другие редкие элементы / Ф. Я. Сапрыкин, В. В. Богданов. - М., 1967. - С. 7-18.

124. Селен // [электронный ресурс].- 2009.- Режим доступа: <http://www.chemport.ru> . - Дата доступа 03.02.2009.
125. Середин В. В. Аномальные концентрации элементов-примесей в месторождении германия «Спецугли» (Павловское бурогольное месторождение, Южное Приморье). Сообщение 1: Сурьма // Литология и полезные ископаемые. - 2003.- № 2. - С. 183-191.
126. Середин В. В. Новый тип Au-PGE минерализации в позднекайнозойских угленосных толщах Приморья // Роль минералогии в развитии минерального сырья базы благородных металлов и алмазов в XXI веке: Тез. докл. годичн. сессии ВМО (Моск. отд.). - М., 1998. - С. 80-81.
127. Середин В. В. Платиновая минерализация в угольных месторождениях России / В. В. Середин, М. Ю. Поваренных, М. Я. Шпирт // 7-й Международ. платиновый симпозиум (Москва, 1-4 авг., 1994 г.): Тез. докл.- М.: Моск. контакт. - С. 102.
128. Скурский М. Д. Золото-редкоземельно-редкометалльно-нефтегазоугольные месторождения и их прогноз в Кузбассе. - Кемерово: Кузбассвуиздат, 2005.- 627с.
129. Смирнов В. И. Курс рудных месторождений / В. И. Смирнов, А. И. Гинзбург и др. - М.: Недра, 1981. - 384 с.
130. Смычник А.Д. Пищевая каменная соль – новая продукция ПО «Беларуськалий» / А.Д. Смычник, Н.А. Дакуко // Горный журнал. - № 7.- 2003. - С. 53-54.
131. Солодов Н. А. Геохимия лития, рубидия и цезия / Н. А. Солодов, Л. С. Балашов, А. А. Кременецкий. - М.: Недра, 1980. - 233 с.
132. Солодов Н. А. Нетрадиционные типы редкометалльного минерального сырья / Н. А. Солодов, Т. Ю. Усова, Е. Д. Осокина. - М.: Недра, 1991.- 247 с.
133. Солодов Н. А. Требования промышленности к качеству минерального сырья. Иттрий и лантаноиды: Справочник для геологов / Н. А. Солодов, Е. И. Семенов, Т. Ю. Усова. - М.: Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 1993. - 133 с.
134. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. В. Кокин, А. Е. Мирошниченко, В. Г. Прохоров. - М.: Недра, 1990. - 480 с.

135. Столетие горно-геологического образования в Сибири. – Томск: Издательство «Водолей», 2001. - 704 с.
136. Территориальная комплексная программа охраны окружающей среды Кемеровской области до 2005 г. Администрация Кемеровской области, Сибирский промстройпроект.- Юрга: Юргинское полиграфическое объединение. - Т. 6, 7. - 197 с.
137. Техногенные месторождения // [электронный ресурс].- 2009. - Режим доступа: <http://www.ipa-don.ru> . - Дата доступа 12.02.2009.
138. Торикова М. В. Агрессивные шахтные воды Кизеловского каменноугольного бассейна – источник скандия, иттрия, редких земель // Закономерности эволюции земной коры: тез. докл. - СПб., 1996.- С. 224.
139. Трубецкой К. Н. Добыча метана угольных пластов – перспективное направление комплексного освоения георесурсов угленосных отложений / К. Н. Трубецкой, А. В. Стариков, В. В. Гурьянов // Уголь. - 2001.- № 6. - С. 36-39.
140. Трубецкой К. Н. Современное состояние минерально-сырьевой базы и горнодобывающей промышленности // Горный журнал. - 1995. - № 1.- С. 3-7.
141. Тулеев А. Г. Кузбасс и его влияние на промышленное производство России// Уголь. - 1998.- № 3. - С. 4.
142. Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). - М: ЗАО «Геоинформцентр», 2003. - Т. II. - 604 с.
143. Удодов П. А. Гидрогеохимические исследования Колывань-Томской складчатой зоны / П. А. Удодов, П. Н. Паршин, Б. М. Левашов, А. А. Лукин. - Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1971.- 283 с.
144. Усова Т. Ю. Скандий. Новое в развитии минерально-сырьевой базы редких металлов. Сырьевая база, производство и потребление редких металлов за рубежом. - М.: Институт геохимии и кристаллографии редких элементов РАН, 1991. - С. 178-181.
145. Фрейденфельд Э. Ж. Исследование механизма образования твердых растворов в системе $PbNb_2O_6-SrTiO_3$ / Э. Ж. Фрейденфельд, Е. И. Бин-

- дар // Исследование природного и технического минералообразования. По материалам VII совещания по экспериментальной и технической минералогии и петрографии. - М.: Наука, 1966. - С. 274-277.
146. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник; под ред. Ю. Н. Жаров, Е. С. Мейтов, И. Г. Шарова и др. - М.: Недра, 1996. - 238 с.
147. Череповский В. Ф. Достижения и основные проблемы угольной геологии. - М.: Недра, 1987. - 126 с.
148. Шахов Ф. Н. К геохимии Кузнецкого бассейна / Ф. Н. Шахов, М. Э. Эффенди // Доклады АН СССР. - 1946. - Т. LI.- № 2. - С. 135-136.
149. Шмариович Е. М. Поведение иттрия и лантаноидов в пластово-инфильтрационном рудообразующем процессе / Е. М. Шмариович, М. Ф. Максимова, К. Г. Бровин, Л. И. Полупанова // Литология и полезные ископаемые. - 1989. - № 6. - С. 39-57.
150. Шпирт М. Я. Безотходная технология утилизации отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. - М.: Недра, 1986. - 255 с.
151. Шпирт М. Я. Неорганические компоненты твердых топлив / М. Я. Шпирт, В. Р. Клер, И. З. Перциков. - М.: Химия, 1990. - 240 с.
152. Штунц Х. Минералогические таблицы.- М.: Госгортехиздат, 1962. - 532 с.
153. Щербина В. В. Особенности геохимии скандия и типы его месторождений// Геология месторождений редких элементов. - М. - 1960. - Вып. 8.
154. Юдович Я. Э. Распределение элементов в вертикальном профиле угольных пластов: материалы к IX совещанию работников лабораторий геологических организаций. - Л., 1965. - Вып. 7. - С. 134-141.
155. Юдович Я. Э. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. - Екатеринбург: УрО РАН, 2005. - 655 с.
156. Юдович Я. Э. Ценные элементы-примеси в углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. - Екатеринбург: УрО РАН, 2006. - 538 с.
157. Юдович Я. Э. Элементы-примеси в ископаемых углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис, А. В. Мерц. - Л.: Наука, 1985. - 239 с.
158. Юзвицкий А. З. Ископаемые угли и горючие сланцы Сибири / А. З. Юзвицкий, И. Н. Звонарев, С. Г. Горелова и др. // Проблемы геологии,

- геофизики и минерального сырья Сибири. - 1983. - С. 38-48.
159. Юровский А. З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. - М.: Недра, 1968. - 214 с.
160. Bowles J. F. W. Development of platinum-group minerals in laterites – initial comparison of organic and inorganic controls / Bowles J. F. W, A. P. Gize, D. J. Vaughan, S. J. Norris. - United Kingdom: The Institution of Mining and Metallurgy, 1994.
161. Boyle R. W. The Geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the elements) // *Us Geol. Surv. Bull.* 280.- Ottava, 1979.- 583 p.
162. Chyi L. L. The distribution of gold and platinum in bituminous coal // *Econ. Geol.* - 1982. - Vol. 77. - P. 1592-1597.
163. Dai S. Concentration and origins of platinum group elements in the Late Paleozoic coals of China / S. Dai, D. Ren, J. Zhang, X. Hou // *Int. J. Coal Geol.* - 2003. - Vol. 55. - P. 59-70.
164. Eskenazy G. M. Geochemistry of yttrium in Bulgaria Coals / G. M. Eskenazy, E. L. Mincheva // *Докл. Българ. АН.* - 1998.- Т. 51. - № 9-10.- С. 73-76.
165. Eskenazy G. M. On the coal geochemistry of silver / G. M. Eskenazy, E. L. Mincheva // *Годишник Софийского Университета, Геол.-географ. факультет.* - 1999. - Т. 90. - № 1. - С. 69-81.
166. Finkelman R. B. Concentration of some platinum-group metals in coal / R. B. Finkelman, P. J. Aruscavage // *Int. J. Coal Geol.* - 1981. - Vol. 1. - № 2.- P. 95-99.
167. Finkelman R. B. Distribution of sphalerite, chalcopyrite and lead selenide (clausthalite?) in Appalachian coals / R. B. Finkelman, R. W. Stanton // *9-th Int. Congr. Carboniferous Stratigr. Geol. Abs. Pap.* - 1979. - P. 64.
168. Finkelman R. B. Mode of occurrence arsenic and other trace elements in fly ash from a Kentucky power plant / R. B. Finkelman, A. Kolker, C. A. Palmer // *International Ash Utilization Symposium (Lexington, KY, October 20-22, 1997).* - Lexington. - 1997. - P. 239-246.
169. Freise F. W. The transportation of gold by organic underground solutions // *Econ. Geol.* - 1931. - Vol. 36. - № 4.
170. Gayer R. Colloform gold in coal from Southern Wales / R. Gayer, D. Ri-

- chard // *Geology*. - 1994. - Vol. 22. - № 1. - P. 35-38.
171. Gluskoter H. J. Trace elements in Coal: Occurrence and Distribution / H. J. Gluskoter, R. R. Ruch, W. G. Miller et. al. // *III Geol. Surv. Circ.* - 1977. - № 499. - 154 p.
 172. Goldschmidt V. M. Geologisch-petrographische Studien im Hoshgebirge des Südlichen Norwegens. Die Injektionsmetamorphose im Stavanger-Gebiete.- Kristiania: In Kommission bei Jacob Dybwad. - 160 p.
 173. Kortenski J. Rare earth and radioactive elements in some coals from the Sofia, Svoge and Pernik Basin, Bulgaria / J. Kortenski, S. Bakarjiev // *Enter. J. Coal Geol.* - 1993. - № 22. - P. 237-246.
 174. Lakin H. W. Geochemistry of gold in the weathering cycle / H. W. Lakin, G. C. Cutin, A. E. Hubert // *US Geol. Surv. Bull.* - 1974. - Vol. 133. - P. 591-602.
 175. Leventhal J. S. Uranium in the Vermillion Creek core samples / J. S. Leventhal, R. B. Finkelman // *US Geol. Surv. Prof. Pap.* - 1987. - № 1314 A-L. - P.172-178.
 176. Nifantov B. F. Coal Geochemistry of Kuzbass / B. F. Nifantov, V. P. Potapov // *Twentieth Annual Int. Pittsburgh Coal Conf. Sept. 15-19 2003.*- Pittsburgh, Pennsylvania, Recorded in USA. ISBN 1-890977-20-9. Copyright. - 12 p.
 177. Nifantov B. F. Mineral Resources of Kuzbass for Complex Deposits providing Realization of Innovative Technologies of Deep Re-processing of Coal and Ores / B. F. Nifantov, V. P. Potapov // *Twenty-Fifth Annual International Pittsburg Coal Conference “Coal-Energy, Environment and Sustainable Development”.* Sept. 29 – Oct. 2 2008. - Pittsburgh, Pennsylvania, Recorded in USA. ISBN 1-890977-25-X. Copyright. - 20 p.
 178. Oman C. L. Concentration of platinum group elements in 122 US coal samples/ C. L. Oman, R. B. Finkelman, S. J. Tewolt // *US Geol. Surv. Open-File Report. 97-53.* - 9 p.
 179. Stricker G. D. Gold in the Usibelli Group Coals, Nenana Coal Field, Alaska / G. D. Stricker, R. B. Tripp, J. B. Mc Hugh et al. // *Geologic Studies in Alaska by the US Geological Survey.* - 1991. - P. 93-97.
 180. Van der Flier-Keller E. Platinum group elements in Canadian Coal // *Energy Sour.* - 1990. - Vol. 12. - № 3. - P. 225-238.

181. Zeng R. Characterization of trace elements in sulphur-rich Late Permian coals in the Heshan coal field, Guangxi, South China / R. Zeng, X. Zhuang, N. Koukouzas, W. Xu // *Int. J. Coal Geol.* - 2005. - Vol. 61. - № 1-2. - P. 87-95.
182. Zielinski R. A. Radioactive elements in coal and fly Ash: abundance, forms, and Environmental Significance / R. A. Zielinski, R. B. Finkelman // *Fast Sheet FS-163-97.* - October, 1997.
183. Zhou Y. Trace elements geochemistry of altered volcanic ash layers (tonsteins) in Late Permian coal-bearing formation of eastern Yunnan and western Guizhou Provinces, China / Y. Zhou, B. F. Bohor, Y. Ren // *Internat. J. Coal Geol.* - 2000. - Vol. 44. - № 3-4. - P. 305-324.
184. Zubovic P. Chemical Analysis of 617 Coal Samples from the Eastern United States / P. Zubovic, C. L. Oman, S. L. Coleman et al. // *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.* - 1979. - № 79-665. - 460 p.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Список сокращений.....	9
1 Геохимическое размещение элементов-примесей в кузнецких углях в естественном залегании пластов	10
1.1 Направления развития геохимических и технологических исследований.....	10
1.2 Основные закономерности природного размещения химических элементов в углях.....	21
1.3 Геологическое размещение содержаний химических элементов.....	64
1.3.1 Стратиграфическое размещение содержаний s, p, d, f элементов в угленосных отложениях Кузбасса.....	65
1.3.2 Элементы группы платины и коррелирующие с ними другие элементы в вещественном составе углей.....	74
2 Горнотехнические системы, обеспечивающие попутную добычу элементов-примесей при комплексном освоении угольных месторождений	84
2.1 Опыт селективной разработки пластовых месторождений.....	84
2.1.1 Селективная разработка угольных пластов при открытом способе добычи.....	84
2.1.2 Селективная разработка пластовых месторождений при подземном способе добычи полезных ископаемых.....	86
2.2 Требования к технологии селективной разработки угольных пластов.....	91
2.3 Технологии селективной разработки угольных пластов, содержащих ценные элементы-примеси.....	92
3 Геохимические характеристики исходной горной массы, товарной продукции и отходов при традиционном обогащении углей	112
3.1 Геохимический статус продуктов обогащения горной массы и их технологических отходов на разрезе «Бачатский».....	112

3.1.1	Аномальные и повышенные концентрации химических элементов в исходной горной массе, товарной продукции и отходах обогащения.....	114
3.1.2	Предварительные результаты минералогического изучения.....	129
3.1.3	Технологические направления извлечения ценных металлов и минеральных компонентов из золошлаковых продуктов товарных углей и продуктов обогащения.....	133
3.2	Геохимические закономерности распределения элементов в процессе традиционного обогащения углей на разрезе «Моховский».....	137
3.2.1	Районы взятия проб, способы их отбора и методики изучения..	137
3.2.2	Данные химического изучения продуктов обогащения углей...	149
3.2.3	Выборочные геохимические характеристики угольных пластов – продуцентов разубоженной горной массы.....	150
3.2.4	Геохимия угольного концентрата и других продуктов обогащения.....	158
3.3	Формирование геохимического состава техногенных месторождений полезных ископаемых при обогащении углей.....	164
4	Кузнецкие угли с кондиционными для промышленного извлечения содержаниями химических элементов.....	167
4.1	Выбор угольных пластов, перспективных для извлечения ценных компонентов из угольного сырья.....	167
4.2	Перспективы разработки и внедрения новых технологий использования минерального сырья из отходов потребления углей.....	182
5	Геохимический состав продуктов сжигания кузнецких углей.....	192
5.1	Промышленные содержания химических элементов в золошлаковом материале кузнецких углей.....	192
5.2	Определение вещественного состава продуктов сжигания углей пласта Мощного на котельной разреза «Бачатский».....	227
5.2.1	Анализ данных по главным компонентам золы.....	227
5.2.2	Химические анализы проб золошлаковых отходов.....	231

5.2.3	Геохимическая характеристика элементов примесей пласта Мощного.....	232
5.2.4	Геохимические связи между элементами и ассоциациями элементов.....	233
5.2.5	Зависимости физических и геохимических показателей при сжигании углей пласта Мощного.....	238
5.2.6	Прогноз оценки состава минерального сырья для извлечения оксидов алюминия и железа из золы углей.....	243
5.2.7	Предложения для разработки новых технологий потребления и утилизации минерального содержимого отходов сжигания углей.....	247
5.3	Формирование геохимического состава техногенных месторождений полезных ископаемых при сжигании кузнецких энергетических углей.....	256
5.3.1	Формирование золошлаковых отвалов.....	256
5.3.2	Формирование геохимического состава золовых отходов энергетического производства.....	258
6	Перспективы комплексного освоения месторождений кузнецких углей, содержащих химические элементы-примеси	260
6.1	Комбинированные геотехнологии комплексного освоения угольных месторождений.....	260
6.1.1	Разделение технологических процессов добычи во времени и объединение их в пространстве.....	261
6.1.2	Объединение технологических процессов добычи во времени и разделение их в пространстве.....	263
6.2	Технологии возможного попутного извлечения минеральных компонентов при подземной газификации угля.....	267
6.2.1	Попутное извлечение рения.....	267
6.2.2	Попутное извлечение мышьяка.....	271
6.2.3	Попутное извлечение ртути.....	274
6.2.4	Попутное извлечение селена.....	278
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	281
	Литература.....	287

TABLE OF CONTENTS

	INTRODUCTION.....	5
	List of abbreviations.....	9
1	Geochemical distribution of trace-elements in kuznetsk coal within in-situ coal seams bedding.....	10
1.1	Development trends of geochemical and technological studies.....	10
1.2	Key regularities of natural distribution patterns of chemical elements in coal.....	21
1.3	Geological placement of chemical elements content.....	64
1.3.1	Stratigraphic placement of s, p, d, f elements content in coal bearing deposits of Kuzbass.....	65
1.3.2	Elements of platinum group and other correlating elements in material constitution of coal.....	74
2	Mine technical systems, ensuring concomitant recovery of trace-elements during integrated development of coal deposits...	84
2.1	Experience in selective development of stratal deposits.....	84
2.1.1	Selective development of coal seams during surface mining.....	84
2.1.2	Selective development of stratal deposits during underground mining of mineral resources.....	86
2.2	Requirements technologies aimed for selective development of coal seams.....	91
2.3	Technologies of selective development of coal seams containing precious trace-elements.....	92
3	Geochemical characteristics of original rock mass, marketable products and wastes during conventional methods of coal processing.....	112
3.1	Geochemical status of rock mass processing products and their technological waste on “Bachatskii” open cast mine.....	112
3.1.1	Anomalous and increased concentrations of chemical elements in original rock mass, marketable products and processing wastes.....	114
3.1.2	Preliminary results of mineralogical study.....	129
3.1.3	Technological trends in recovery of precious metals and mineral	

components from ash and slag commodity of marketable coal and processing products.....	133
3.2 Geochemical regularities of elements distribution in the course of traditional coal processing on “Mokhovskii” open cast mine.....	137
3.2.1 Probe sites, ways of sampling and study technique.....	137
3.2.2 Data of chemical study of coal processing products.....	149
3.2.3 Selective geochemical characteristics of coal seams – producers of impoverished rock mass.....	150
3.2.4 Geochemistry of coal concentrate and other processing products.....	158
3.3 Formation of geochemical composition of anthropogenic mineral resources during coal processing.....	164
4 Kuznetsk coal featuring chemical elements content conditioned for industrial recovery.....	167
4.1 Selection of coal seams perspective for precious components production from carbonic feedstock.....	167
4.2 Development and introduction prospects of new technologies to use minerals produced from coal consumption wastes.....	182
5 Geochemical composition of kuznetsk coal combustion products.....	192
5.1 Commercial content of chemical elements within ash-and-slag substance of kuznetsk coal.....	192
5.2 Determination of material constitution of combustion products of coal mined on “Moshnii” coal seam and used in “Bachatskii” surface mine boiler station.....	227
5.2.1 Data analysis by ash main components.....	227
5.2.2 Chemical analysis of ash-and-slag waste samples.....	231
5.2.3 Geochemical characteristics of admixture-elements of “Moshnii” coal seam.....	232
5.2.4 Geochemical bonds between elements and elements associations...	233
5.2.5 Dependencies of physical and geochemical indices during combustion of coal from “Moshnii” coal seam.....	238
5.2.6 Estimated forecast of mineral resources composition for aluminum oxides and iron recovery from coal ash.....	243

5.2.7	Proposals for development of new technologies for consumption and utilization of mineral contents of coal combustion wastes.....	247
5.3	Formation of geochemical composition of anthropogenic deposits of minerals in the course of kuznetsk steam coal combustion.....	256
5.3.1	Shaping of ash-and-slag dumps.....	256
5.3.2	Formation of geochemical composition of ash wastes from energy production.....	258
6	Perspectives of integrated development of kuznetsk coal deposits, containing chemical trace-elements.....	260
6.1	Combined geotechnologies for integrated development of coal deposits.....	260
6.1.1	Separation of technological mining processes in time and their spatial unification.....	261
6.1.2	Unification of technological mining processes in time and their spatial separation.....	263
6.2	Technologies for eventual concomitant recovery of mineral components during underground coal gasification.....	267
6.2.1	Concomitant recovery of rhenium.....	267
6.2.2	Concomitant recovery of arsenic.....	271
6.2.3	Concomitant recovery of mercury.....	274
6.2.4	Concomitant recovery of selenium.....	278
	CONCLUSION.....	281
	References cited.....	287

Научное издание

*Борис Федорович Нифантов
Вадим Петрович Потапов
Борис Алексеевич Анфёров
Людмила Васильевна Кузнецова*

**УГЛИ КУЗБАССА
ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ
И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ
ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Ответственный редактор Е.Л. Счастливец

Выпускающий редактор С.М. Качелков

Корректор Л.И. Голубкова

Книжный дизайн С.Ф. Рысаева

Орфография, стилистика и пунктуация сохранены авторские

Сдано в набор 25.11.2010 г. Подписано в печать 25.03.2011 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная №1. Печать трафаретная. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 18,1.
Уч. изд. л. 16,4. Тираж 300 экз. Заказ № 45.

РИО ИУ СО РАН
650610, Кемерово, ГСП-610, ул. Рукавишникова, 21.
Тел. (384-2) 210-500

