

1976

Арбузов С.И., Ершов В.В.

**ГЕОХИМИЯ  
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В УГЛЯХ СИБИРИ**

**Arbuzov S. I., Ershov V. V.**

**GEOCHEMISTRY  
OF RARE ELEMENTS IN  
COALS OF SIBERIA**

Tomsk  
«D-Print»  
2007

**Арбузов С.И., Ершов В.В.**

**ГЕОХИМИЯ  
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В УГЛЯХ СИБИРИ**

Томск  
«Д-Принт»  
2007

УДК 553.94(571.5):553.078

Рецензенты:

*доктор геолого-минералогических наук Я.Э. Юдович,  
доктор геолого-минералогических наук В.П. Алексеев,  
доктор геолого-минералогических наук В.М. Гавшин*

Арбузов С.И., Ершов В.В. **Геохимия редких элементов в углях Сибири.** - Томск, Изд. дом «Д-Принт», 2007 - 468 с.

В монографии обобщены результаты исследований геохимии редких элементов в углях Сибири. На основе надежных данных количественных анализов представительной коллекции проб (более 5000) выполнена оценка региональных кларков редких элементов-примесей в углях. Установлена геохимическая специализация угольных бассейнов, сформировавшихся в разные геологические эпохи в разных геодинамических обстановках. Выявлены факторы, определяющие геохимическую специализацию и редкометалльный потенциал углей Сибири. Доказано доминирующее влияние субсинхронного вулканизма на формирование геохимического фона палеозойских углей Сибири. Изучены закономерности распределения редких элементов в разрезе угленосных отложений. Обоснована двойственная седиментационно-диагенетическая, инфильтрационно-диффузионная природа образования приконтактных зон обогащения редкими элементами-примесями в угольных пластах. На основе актуалистического сопоставления в ряду "торф - бурый уголь - каменный уголь" впервые показано изменение форм нахождения редких элементов в процессе углеобразования.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов и студентов высших учебных заведений в разных областях знаний, интересующихся вопросами геохимии и комплексного освоения угольных месторождений.



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-05-07009)

Reviewers:

*J.E. Udovich, V.P. Alexeev, V.M. Gavshin*

Arbuzov S. I., Ershov V. V. **Geochemistry of rare elements in coals of Siberia.** - Tomsk, «D-Print», 2007 - 468 p.

Results of long-term investigations of the geochemistry of rare elements in coals of Siberia are generalized in this book. On the basis of reliable data of quantitative analysis of a representative sample collection (more than 5,000) an estimation of regional clarks of rare trace elements was carried out. A geochemical specialization of coal basins and deposits of different geological age and different geological conditions was determined. Factors that determine the geochemical specialization and a rare-metal potential of Siberian coals were determined. A dominant influence of the sub-simultaneous volcanism on the formation of geochemical background of Paleozoic coals of Siberia was proved. Regularities of rare element distribution in a section of coal-bearing beds were studied. A bipartite sedimentation-diagenetic and infiltration-diffusion nature of the formation of near-contact enrichment zones of rare trace elements in coal beds was proved. On the basis of comparison in the range "peat-brown coal-coal" the change of modes of occurrence of rare elements during the coal formation was showed for the first time.

The book relies on the wide circle of specialists and students of academies of different areas of knowledge, interested in geochemistry and complex prospecting of coal deposits.

**Published at financial support of the Russian Foundation  
for basic research (grant № 07-05-07009)**

**ISBN 978-5-902514-33-6**

© С.И. Арбузов, 2007

© Томский политехнический институт, 2007

© Издательский дом «Д-Принт», 2007

## Оглавление

Предисловие.....	5
<b>1. Редкие элементы: основные понятия и систематика .....</b>	<b>12</b>
<b>2. История изучения редких элементов в углях Сибири .....</b>	<b>16</b>
<b>3. Методические основы изучения редкометалльного потенциала углей .....</b>	<b>21</b>
3.1. Опробование угленосных отложений.....	22
3.2. Аналитические методы определения редких элементов в углях.....	28
<b>4. Основные черты геологического строения и металлогении угленосных отложений Сибири .....</b>	<b>45</b>
4.1. Возрастные уровни и условия накопления в Сибири .....	47
4.1.1. Среднепалеозойская (девонская) эпоха угленакопления .....	47
4.1.2. Позднепалеозойская (карбон-пермская) эпоха угленакопления .....	49
4.1.3. Мезозойская эпоха угленакопления .....	54
4.1.4. Кайнозойская эпоха угленакопления .....	61
4.2. Геологический очерк угольных бассейнов и месторождений .....	62
4.2.1. Среднепалеозойские угольные месторождения .....	62
Барзасское месторождение.....	62
Убруское месторождение .....	64
4.2.2. Позднепалеозойские угольные месторождения .....	64
Кузнецкий бассейн .....	64
Минусинский бассейн .....	74
Горловский бассейн.....	78
Тунгусский бассейн .....	81
Таймырский бассейн .....	86
Курайское месторождение Горного Алтая .....	86
4.2.3. Мезозойские угольные бассейны и месторождения .....	87
Канско-Ачинский бассейн .....	87
Иркутский бассейн .....	96
Улутхемский бассейн .....	97
Западно – Сибирский бассейн .....	98
Пыжинское месторождение Горного Алтая .....	99
4.2.4. Кайнозойские месторождения бурых углей, лигнитов и торфа .....	100
Талду-Дюргунское месторождение .....	101
Месторождения торфа Западно-Сибирской равнины .....	101

<b>5. Геохимия редких элементов в углях Сибири</b> .....	104
5.1. Оценка региональных кларков и первичного геохимического фона редких элементов в углях .....	104
Оценка региональных кларков элементов-примесей .....	104
Оценка локального геохимического фона элементов-примесей в углях .....	115
5.2. Редкометалльная геохимическая специализация угольных бассейнов и месторождений Сибири .....	125
5.3. Эволюция редкометалльного спектра углей .....	146
5.4. Основные закономерности распределения редких элементов в углях Сибири ...	153
5.4.1. Латеральная изменчивость .....	154
5.4.2. Вертикальная неоднородность .....	170
5.4.3. Распределение элементов в колонке угольного пласта .....	182
<b>6. Формы нахождения редких элементов в углях</b> .....	223
6.1. Основные понятия и определения .....	223
6.2. Методы изучения форм нахождения редких элементов .....	224
6.3. Формы нахождения редких элементов в углях Сибири .....	226
<b>7. Основные факторы, контролирующие накопление редких элементов в углях</b> ...	352
7.1. Геотектонический фактор .....	353
7.2. Фактор петрофонда .....	356
7.3. Фациальный фактор .....	370
7.4. Фактор синхронного вулканизма .....	378
7.5. Фактор угольного метаморфизма .....	391
7.6. Эпигенетические изменения углей .....	404
7.6.1. Гипергенное окисление углей .....	404
7.6.2. Гидротермальные эпигенетические процессы углей .....	411
<b>8. Перспективы комплексного освоения угольных месторождений Сибири</b> .....	415
8.1. Обоснование проблемы .....	415
8.2. Перспективы извлечения редких элементов из углей Сибири .....	418
8.2.1. Германий .....	418
8.2.2. Скандий .....	420
8.2.3. Золото .....	422
8.2.4. Тантал, ниобий, цирконий, гафний и редкоземельные элементы .....	423
8.2.5. Уран .....	426
8.3. Основные выводы .....	427
Заключение .....	429
Литература .....	438

## Contents

<b>1. Rare elements: general notions and taxonomy</b> .....	12
<b>2. History of the study of rare elements in coals of Siberia</b> .....	16
<b>3. Methodical basis of the study of rare-metal potential in coals</b> .....	21
3.1. Sampling of coal-bearing deposits .....	22
3.2. Analytical methods of determination of rare elements in coals .....	28
<b>4. Principal particularities of the geological structure and metallogeny of coal-bearing deposits of Siberia</b> .....	45
4.1. Age levels and conditions of accumulation in Siberia .....	47
4.1.1. Middle Paleozoic (Devonian) epoch of coal accumulation .....	47
4.1.2. Late Paleozoic (Carboniferous period – Permian) epoch of coal accumulation .....	49
4.1.3. Age of Reptiles of coal accumulation .....	54
4.1.4. Age of Mammals of coal accumulation .....	61
4.2. Geological sketch of coal basins and deposits .....	62
4.2.1. Middle-Paleozoic coal deposits .....	62
Barzasskoe deposit .....	62
Ubrusskoe deposit .....	64
4.2.2. Late-Paleozoic coal deposits .....	64
Kuznetsky basin .....	64
Minussinsky basin .....	74
Gorlovsky basin .....	78
Tungusky basin .....	81
Taimyrsky basin .....	86
Kuraiskoe deposit of Gorny Altai .....	86
4.2.3. Coal basins and deposits of the Age of Reptiles .....	87
Kansko-Achinsky basin .....	87
Irkutsky basin .....	96
Ulughemsky basin .....	97
Zapadno-Sibirsky basin .....	98
Pyzhinskoe deposit of Gorny Altai .....	99
4.2.4. Deposits of the Age of Mammals of brown coals, lignites and peat. . .	100
Taldy-Dyugunskoe deposit .....	101
Peat deposits of the West-Siberian Plain .....	101

<b>5. Geochemistry of rare elements in coals of Siberia</b> .....	104
5.1. Estimation of regional clarks and initial geochemical background of rare elements in coals .....	104
Estimation of regional clarks of trace elements .....	104
Estimation of a local geochemical background of trace elements in coals ...	115
5.2. Rare-metal geochemical specialization of coal basins and deposits of Siberia .....	125
5.3. Evolution of rare-metal range of coals .....	146
5.4. General regularities of the distribution of rare elements in coals of Siberia .....	153
5.4.1. Lateral variability .....	154
5.4.2. Vertical heterogeneity .....	170
5.4.3. Distribution of elements in the column of a coal bed .....	182
<b>6. Modes of occurrence of rare elements in coals</b> .....	223
6.1. General notions and definitions .....	223
6.2. Methods of the study of modes of occurrence of rare elements .....	224
6.3. Modes of occurrence of rare elements in coals of Siberia .....	226
<b>7. Basic factors controlling the accumulation of rare elements in coals</b> .....	352
7.1. Geotectonic factor .....	353
7.2. Factor of petrography recourses .....	356
7.3. Facies factor .....	370
7.4. Factor of the synchronous volcanism .....	378
7.5. Factor of the coal metamorphism .....	391
7.6. Epigenetic changes of coals .....	404
7.6.1. Hypergene oxidation of coals .....	404
7.6.2. Hydrothermal epigenetic processes .....	411
<b>8. Perspectives of the complex development of coal deposits of Siberia</b> .....	415
8.1. Substantiation of the problem .....	415
8.2. Perspectives of the extraction of rare elements from coals of Siberia .....	418
8.2.1. Germanium .....	418
8.2.2. Scandium .....	420
8.2.3. Gold .....	422
8.2.4. Tantalum, niobium, zirconium, hafnium, and rare-earth elements ..	423
8.2.5. Uranium .....	426
8.3. General deductions .....	427
Conclusion .....	429
References .....	438