

4. Дополнения и изменения к инструкции по разведке торфяных месторождений СССР / Под общ. ред. В.Д. Маркова. - М.: Торфгеология, 1987. - 36 с.
5. Инструкция к проведению поисковых и поисково-оценочных работ на торф / В.Д. Марков, Л.С. Михантьева, В.Г. Матухина и др. Отв. ред. В.П. Данилов. - Новосибирск: СНИИГГиМС, 1994. - 53 с.
6. Гречко Н.К. // Торфяная промышленность. - 1986. - № 7. - С. 17-19.
7. Пидопличко А.А. // Исследования по технологии, механической и химической переработке торфа. - Минск: Наука и техника, 1972. - С. 175-181.
8. Прейс Ю.И. // Опыт, проблемы и перспективы развития химической науки и образования. - Томск: Изд-во ТПУ, 1996. - С. 35.
9. Маслов С.Г., Тарновская Л.И., Прейс Ю.И. // Химия растительного сырья. - 1998. - № 4. - С. 23-27.
10. Оленская Н.М., Шаврина И.И. // ВНИИТП: Сборник научных трудов. - Л., 1986. - Вып. 56. - С. 43-55.
11. Бернатонис В.К., Маслов С.Г., Прейс Ю.И., Голышев С.И. // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. - Томск: Изд-во ТГУ, 1998. - Т.4. - С. 153-155.
12. Буркатовский Б.А., Прейс Ю.И. // Торф и сельское хозяйство. - Томск: Изд-во РАСХН. Сибирское отделение. СибНИИТ, 1994. - С. 25-38.

RESOURCES OF BITUMINIFEROUS PEAT OF TOMSK REGION

N.A. Antropova, Yu.I. Preis, V.K. Bernatonis, E.V. Titova*, S.G. Maslov

Tomsk Polytechnic University
** Siberian scientific-research institute of peat, Tomsk*

Data on reserves and resources of bituminiferous peat of high decomposition degree and low ash content are presented. Contents of bitumen in various types of high-moor, transitive and low-moor peat were determined.

УДК 550.42 (571.5):552.574

ЗОЛОТО В УГЛЯХ МИНУСИНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Арбузов С.И., Ершов В.В., Рихванов Л.П., Левицкий В.М.

В статье рассмотрены основные черты геохимии золота в углях Минусинского бассейна. Установлено, что среднее содержание золота в углях (2,8 мг/т) близко к кларку этого элемента. Отмечено, что золотом обогащены угольные пласты, формировавшиеся в условиях стабилизации тектонического режима. Установлено, что накопление золота происходит сингенетично в процессе угленакопления и в результате эпигенетических процессов окисления угольного пласта. Предполагается, что золото накапливается в собственной минеральной форме и в виде металл-органических соединений.

Введение

Проблема золотоносности углей обсуждается с конца XIX века. Однако, как заметил в 1985 г. Я.Э. Юдович, "...геохимия золота в углях еще не суще-

ствуется" [29, стр. 153]. Главной причиной этому было отсутствие относительно дешевых экспрессных методов анализа, позволяющих определять золото в угле с чувствительностью 10^{-7} – $10^{-8}\%$.

В настоящее время появился целый ряд аналитических методов, удовлетворяющих этим требованиям. Особенно важно появление методов прямого определения золота в угле из больших навесок без предварительной специальной пробоподготовки, включающей стадию озоления пробы. Известно, что органические соединения золота способны возгоняться при температурах 300 – 400° С [8, 18]. Поэтому часто классический анализ, основанный на предварительном озолении пробы, измерении содержания золота в золе, а затем, путем пересчетов, определения его концентрации в угле искажает истинную картину золотоносности.

Несмотря на аналитические проблемы, сам факт наличия аномальных концентраций золота в угле (таблица 1) не вызывает никакого сомнения.

Возрастающая потребность общества в минеральном сырье при истощении ресурсов богатых руд обуславливает необходимость комплексного освоения месторождений различных видов полезных ископаемых. В угольной и углеперерабатывающих отраслях промышленности она ограничивается возможностями рентабельной переработки отходов добычи, обогащения и использования углей. Попутное извлечение из них золота как элемента, обладающего высокой ценой и устойчивым спросом на мировом рынке, в некоторых случаях могло бы обеспечить такую рентабельность. В связи с этим, изучение угольных месторождений с целью оценки их золотоносности является одной из актуальных задач. Особенно она актуальна для Сибирского региона, где сосредоточено около 30% мировых ресурсов угля и имеются все предпосылки для накопления благородных металлов в углях. Первоочередного внимания заслуживают угольные месторождения и бассейны, непосредственно примыкающие к геохимически специализированным на благороднометальное оружие складчатым областям. Одним из таких перспективных объектов является Минусинский каменноугольный бассейн (рис.1).

Аномальные содержания золота в углях

Таблица 1

Район опробования	Содержание Au, $10^{-4}\%$		Автор информации, год
	в угле	в золе	
Округ Кэмбрия, шт Вайоминг, США	-	17,1	Stone, 1912
Германия, Вестфалия	-	0,5 - 1,0	Гольдшмидт, Петерс, 1938
Бассейн Тимок, Югославия	-	0,117 - 0,573	Попович, 1954
Чехословакия	-	35,0	Bouska, 1977
Первомайское месторождение, Челябинский бассейн, Россия	0,1 - 0,8	-	Юровский, 1968
Углеразрез Б, Челябинский бассейн, Россия	0,3	-	Юровский, 1968
Золотвалы ГРЭС и ТЭЦ Подмосквовного бассейна, Россия	-	0,1 - 0,5	Игнатов и др, 1995
Подмосковный бассейн, ш.Липковская	0,2	-	Павлова, Гольнский, 1996
Кизеловский бассейн, ш.Ключевская	0,156	-	Мейтов и др., 1996
Шубаркольское месторождение, Казахстан	0,132	-	Беляев, Педаш, 1989
Назар - Айлокское, Таджикистан	-	0,07 - 0,28	Валиев и др., 1993
Южный Уэльс, Великобритания	0,14 - 4,42	-	Rod, David, 1994
Восточный Кузбасс, Россия	1,22	-	Песков, Минко, 1995
Бассейн Макум, Индия	22,8 - 32,0	-	Baruah et al., 1998
Кузбасс, месторождение Ольжерасское	0,8 - 1,2	-	Арбузов и др., 2000

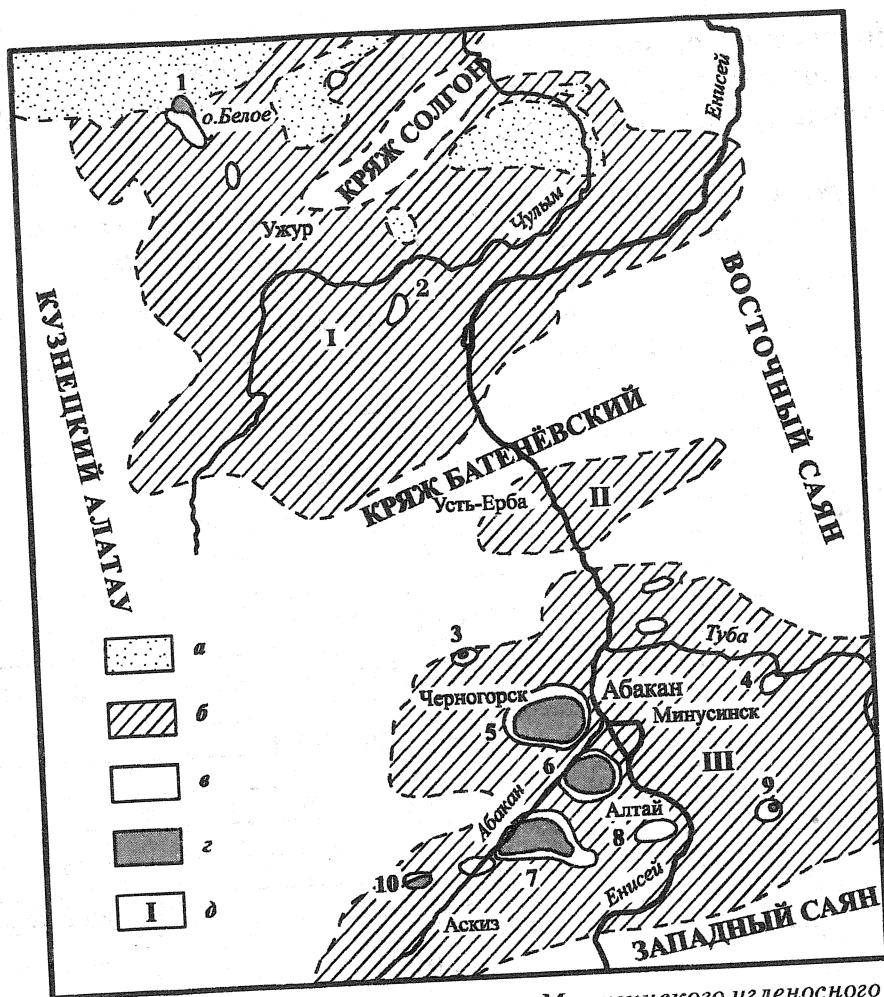


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Минусинского угленосного бассейна (по И.С. Педан, 1964)

а - юрские угленосные отложения Канско-Ачинского бассейна; б - среднепалеозойские (девонские + турнейские) отложения; в - намюрские отложения с зольными углями (соксельская свита); г - продуктивные верхнепалеозойские отложения; д - впадины: I - Северо-Минусинская, II - Сыдо-Ербинская, III - Южно-Минусинская; 1-10 - месторождения: 1 - Белоозёрское, 2 - Интикульское, 3 - Кутень-Булуцкое, 4 - Убусовское, 5 - Черногорское, 6 - Изыхское, 7 - Бейское, 8 - Алтайское, 9 - Дубенское, 10 - Аскизское

Характеристика объекта исследований

Минусинский угольный бассейн расположен в одноименной котловине и ограничен с востока складчатыми сооружениями Кузнецкого Алатау, с юга - Западным Саяном, а с востока и северо-востока - Восточным Саяном. Он является возрастным аналогом Кузбасса. В отличие от последнего, угленосные отложения Минусинского бассейна большей частью эродированы и в настоящее время представлены отдельными сохранившимися мелкими впадинами, в основном на юге Минусинских котловин.

Минусинский угольный бассейн объединяет свыше 10 месторождений и проявлений каменного угля. Основные месторождения расположены в Южно-Минусинской (рис.1). Общие ресурсы угля до глубины 1800м оцениваются в 26,7 млрд.т.

Угли бассейна энергетические длиннопламенные и газовые, низко- и средnezольные ($A^d = 7 - 20\%$), $W_r 9 - 14\%$, $V_{daf} 40 - 44\%$, $Q_{i,r} 20,5 - 22$ МДж/кг, малофосфористые и малосернистые ($S_t^d = 0,4-0,9\%$). Основные промышленные месторождения, эксплуатируемые или пригодные для эксплуа-

тации: Черногорское, Изыхское, Бейское и Аскизское.
 Угленосная толща Черногорского месторождения содержит до 40 уголь-
 ных пластов и пропластков, из них от 6 до 10 рабочих.

Таблица 2
 Схема корреляции угольных пластов Черногорского, Изыхского и Бейского
 месторождений (по А.Н. Федотову и др., 2001)

Свита	Черногорское месторождение	Изыхское месторождение	Бейское месторождение	
изыхская		XXXI		
		XXX		
		Без индексации		
	нарылковская		XXIX	
			XXVIII	
			XXVII	
			XXVI	
			XXV	41
			Без индексации	40
			Без индексации	39
		Без индексации	38	
		XXIV	37	
		XXIII	36	
белоярская		XXII	35	
		XXI		
		XX	Без индексации	
		XIX	34	
		XVIII	32	
		XVII	31	
		XVI	30	
		XV	29	
		XIV		
		XIII	28	
		XIII'	27	
		XII	26 ^a	
		XI	26	
		Верхний I	Х	
		Верхний II	Без индексации	
		Сажистый	25	
		Совхозный	24	
		Малый	IX	
		Новый	VIII	
	побережная		VIII'	23 ^a
				23
				22
				21
		Непостоянный	VII	
черногорская		Двухаршинный	20 ^a	
		Великан I	Без индексации	
		Великан II	Без индексации	
		Неустойчивый	Без индексации	
		Безымянный II	VI	
		Мощный	V	
		Гигант I-II	IV	
		Гигант III	III	
		Без индексации	Без индексации	
		Без индексации	17	
	Без индексации	16 ^a		
	Без индексации	I		
		16		

В разрезе угленосной толщи Изыхского месторождения насчитывается до 85 угольных пластов и прослоев с суммарной мощностью до 100 м, из них от 18 до 25 рабочих (с мощностью 1,3 метра и больше) с общей мощностью 60 - 75 метров. Коэффициент угленосности составляет 5,7%, в том числе по рабочим пластам - 4%.

В угленосной толще Бейского месторождения насчитывается до 56 угольных пластов, имеющих мощность от 0,6м. до 22м. и 32 угольных пропластка мощностью от 0,05 до 0,6м. Коэффициент угленосности составляет 6,7%, в том числе по рабочим пластам - 4%.

Корреляция угольных пластов различных месторождений Минусинского бассейна показана в таблице 2.

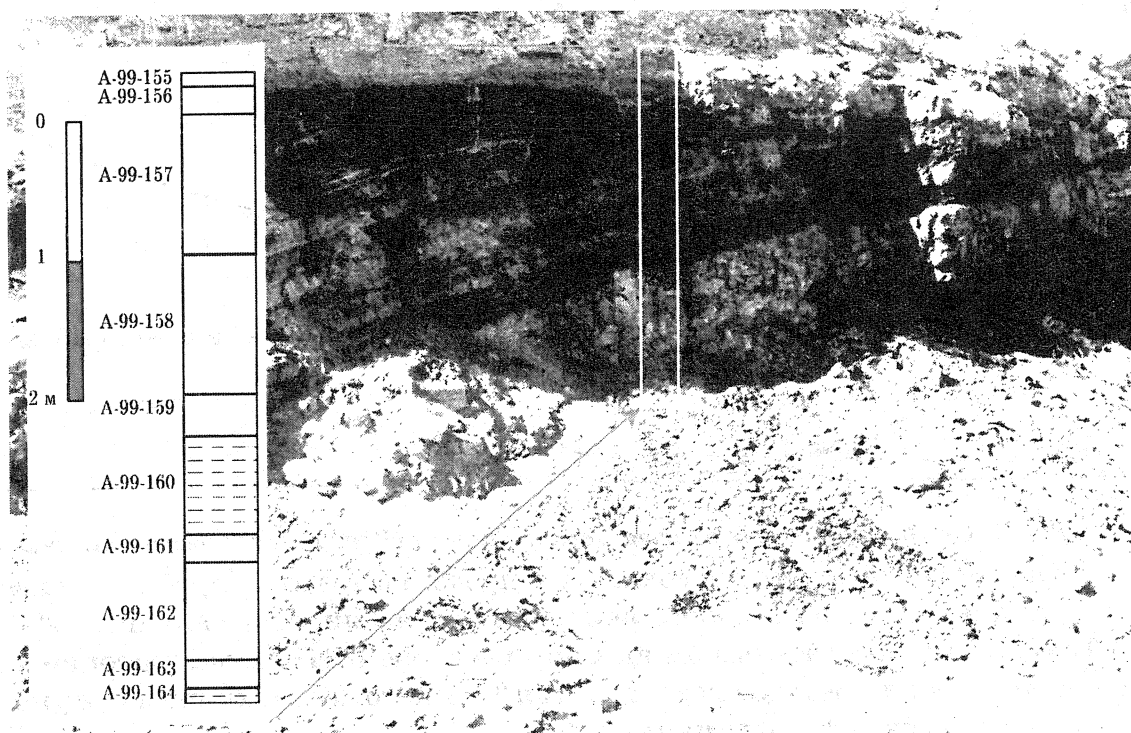


Рис. 2. Схема опробования пласта XV

Методика исследований

Опробование углей и углевмещающих пород выполнялось по сечениям вкрест простирания угольного пласта по направлению от кровли к почве (рис. 2). В угольных пластах избирательно опробовались прикровельные и припочвенные части, прослои неугольных пород, а в некоторых случаях и петрографические типы углей. Изучалась кровля и почва угольных пластов. Пробы углей отбирались в зависимости от мощности пласта методом сплошной борозды. Длина бороздовой пробы колебалась от 0,1 до 1,0 м, ширина борозды 0,05 м. При этом длина борозды определялась в соответствии с наличием прослоев неугольных пород, наличием зон повышенной трещиноватости, зон окисления и др., т.е. с учетом наличия возможных геохимических барьеров. Наиболее протяженные по длине пробы характеризовали однородные угли мощных пластов. Углевмещающие породы опробовались точечными штучными пробами.

Латеральная изменчивость изучалась на основании сети разрезов по простиранию пласта (рис.3).

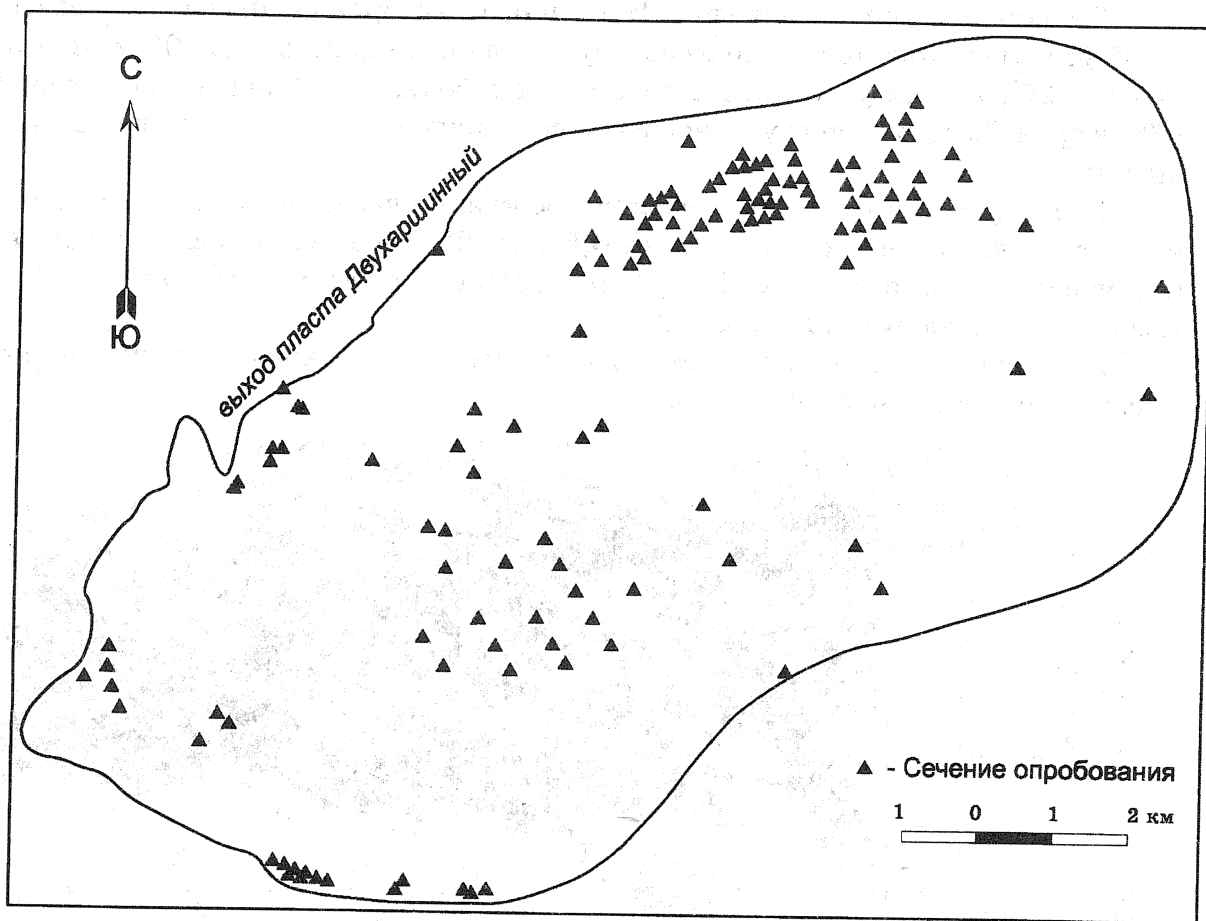


Рис. 3. Схема опробования пласта Двухаршинный (Черногорское месторождение)

Определение золота проводилось в представительных пробах из навесок 5 г методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) на Томском исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования Томского политехнического университета (аналитик В.М. Левицкий).

Исследуемые пробы облучали в ядерном реакторе тепловыми нейтронами (поток 10^{13} нейтрон/(см²·с)) в течение 1 минуты. Через 6 суток измеряли активность радионуклида ¹⁹⁸Au, с энергией фотопика 411,8 кэВ и периодом полураспада 65 часов, в исследуемых пробах и эталонах на многоканальном анализаторе импульсов АМА-02Ф с полупроводниковым германий-литиевым детектором ДГДЖ-63А. В качестве образцов сравнения использовались искусственные эталоны Au и СО СГХМЗ. Предел определения золота в пробе массой 5 грамм составляет 0,1 мг/т.

Дополнительно выполнялся количественный анализ на редкоземельные, благородные и другие элементы по стандартной методике нейтронно-активационного анализа из навесок 200 мг (аналитик Судыко А.Ф.). Плотность потока тепловых нейтронов в канале облучения составляла $2 \cdot 10^{13}$ нейтр./(см²·с). Продолжительность облучения 20 часов. Предел определения золота вышеуказанным методом составляет 0,01 г/т.

Контрольные пробы анализировались методом сорбционного атомно-абсорбционного анализа в институте геохимии им. В.И. Вернадского (г. Москва) (аналитик Г.М. Варшал) и инверсионной вольтамперометрией в Томском политехническом университете (аналитик Н.А. Колпакова).

Результаты исследований

Геохимия золота в углях Минусинского бассейна практически не исследовалась. Нам известна лишь одна работа, в которой приведена цифра его содержания (0,1 мг/т) в углях Черногорского месторождения [25]. Эти данные получены в процессе массового опробования товарной продукции разрезов и шахт Минусинского бассейна на попутные ценные и токсичные элементы, выполненного специалистами ИМГРЭ в 1972 - 1974 гг. Проведенное нами в 1997 - 2001 гг. изучение золотоносности Минусинского бассейна показывает, что среднее содержание золота в углях составляет 2,8 мг/т (табл. 3). Оно близко к кларку для углей по Я.Э.Юдовичу и др. [29] и к литосферному кларку [24]. В золах углей среднее содержание составляет 15 мг/т. Эти цифры сопоставимы с данными, полученными И.В. Китаевым и М.А. Михайловым [13] для углей угольных месторождений и проявлений, тяготеющих к Монголо-Охотской области, характеризующейся металлогенической специализацией на золото.

Таблица 3

Среднее содержание золота в углях, золах углей и углевмещающих породах различных месторождений Минусинского угольного бассейна

Месторождение	A ^d , %	Содержание золота, г/т		
		В угле	В золе угля	В углевмещающей породе
Бейское	11,8	0,0018	0,0096	0,0026
Изыхское	20,5	0,0024	0,012	0,0025
Черногорское	13,4	0,0033	0,025	0,0087
Среднее для бассейна	18,2	0,0028	0,015	0,0066

Из таблицы видно, что Черногорское месторождение отличается наиболее высоким для углей бассейна средним содержанием золота, а Бейское – самым низким.

Среднее содержание золота в углях месторождений и в бассейне в целом рассчитывалось как средневзвешенное по угленосности без учета аномальных проб. Расчеты, выполненные по всему массиву данных (344 бороздовые пробы), дали среднее содержание 3,1 мг/т при медианном значении 2,0 мг/т. Заметим, что эти цифры близки к средневзвешенной величине. Несмотря на это, распределение золота в углях бассейна крайне неравномерно, что в целом весьма характерно для данного элемента. Коэффициент вариации составляет 241%. Гистограмма распределения содержания металла в углях свидетельствуют о логнормальном законе его распределения (рис. 4).

В частных пробах концентрация золота в угле может достигать 127 мг/т. В золе угля уровни его накопления в ряде случаев превышают 1,4 г/т. Такие содержания установлены в лабораторных золах углей пласта 20/ на Бейском месторождении и пласта Двухаршинного на Черногорском месторождении.

В разрезе угленосных отложений содержание золота в углях изменяется в среднем по свитам от 2,1 мг/т (изыхская свита) до 4 мг/т (побережная свита) (табл. 4). В золах углей они колеблются от 10 до 34 мг/т.

Для углевмещающих пород вариации значительно выше. Среднее содержание золота в углевмещающих породах Минусинского бассейна (табл. 5) почти в пять раз выше кларка для осадочных пород по А.П. Виноградову [24]. Оно хорошо согласуется с данными Ю.Г. Щербакова [26], определившего средние уровни накопления золота в алевролитах, песчаниках и аргиллитах Алтае – Саянской области величиной 3,2 – 3,9 мг/т. Эти результаты хорошо увязываются

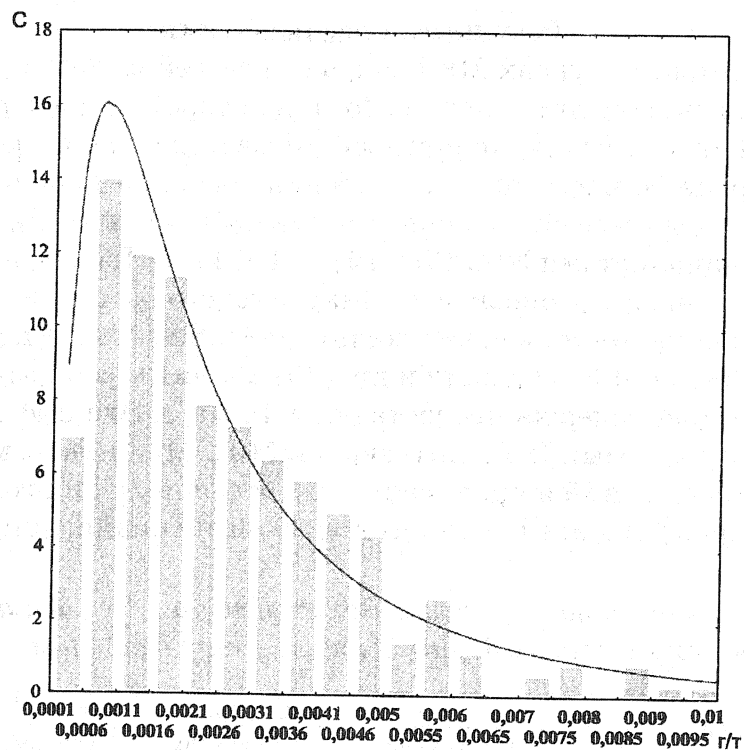


Рис.4. Гистограмма распределения золота в углях Минусинского бассейна. С - частота встречаемости значений, %

с высокой золотоносностью структур обрамления бассейна (рис. 5). Наиболее значительные концентрации золота установлены в алевролитах кровли пласта Новый (60 мг/т) и в алевролитах кровли пласта Непостоянный (72 мг/т).

Высокие концентрации золота в углевмещающих породах береговой свиты и в верхней части Черногорской свиты коррелируют с повышенными его содержаниями в углях этой части разреза. Среднее содержание золота в угольных пластах в Черногорском и Бейском месторождениях, в общем, возрастает вверх по разрезу (рис. 6). Для зол углей эта тенденция проявлена еще более отчетливо (рис. 6 б). Верхняя часть угленосного разреза на Черногорском месторождении, представленная пластами Двухаршинным и Новым, наиболее богата золотом. В исследованных золах малозольных углей пласта Двухаршинный его содержание изменяется от 0,22 до 1,4 г/т., а среднее расчетное содержание в золах пласта – 0,06 г/т. Близкие значения получены для пластов 20/ и 19/а на участке Чалпан Бейского месторождения.

На Изыхском месторождении, где были изучены угли белоярской, нарылковской и изыхской свит, залегающих стратиграфически выше, отмечается обратная тенденция – уменьшение содержания золота снизу вверх по разрезу (рис. 6 в).

Таблица 4
Среднее содержание золота в углях и золах углей в разрезе угленосных отложений Минусинского бассейна, г/т

Свита	A ^d , %	Au _{уголь}	Au _{зола}
Изыхская	16,2	0,0021	0,013
Нарылковская	21,8	0,0022	0,010
Белоярская	22,5	0,0035	0,015
Побережная	11,9	0,0040	0,034
Черногорская	18,4	0,0024	0,016
Среднее для разреза	18,2	0,0028	0,015

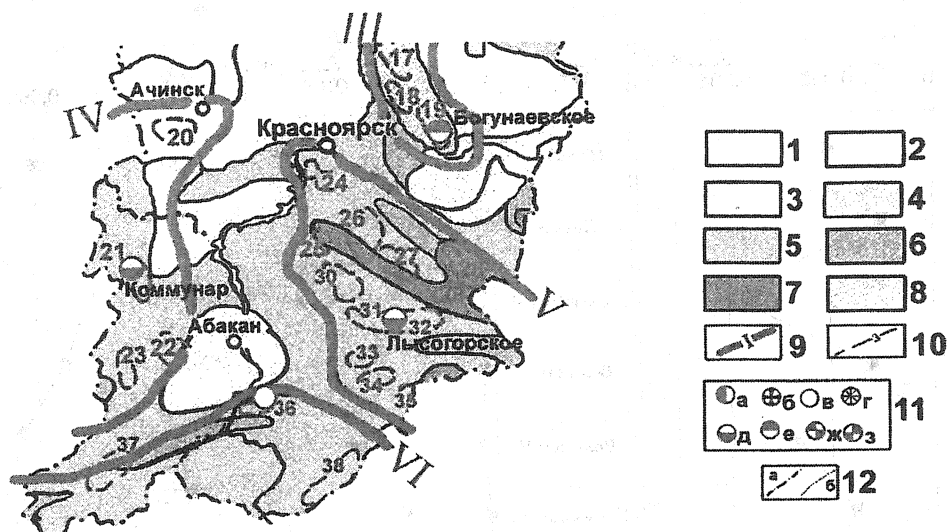


Рис. 5. Фрагмент схемы золотоносности Красноярского края [22]

1-8 – тектонические мегакомплексы: 1 – верхнеальпийский (палеоген-квартер), 2 – нижнеальпийский (юра-палеоген), 3 – верхнегерцинский (нижний карбон триас), 4 – нижнегерцинский (девон нижний карбон), 5 – каледонский (венд-силур), 6 – байкальский (рифей), 7 – карельский (протерозой), 8 – докарельский (архей); 9 – золотоносные и золото-платиноносные провинции; 10 – золоторудные (рудно-россыпные) районы, площади, узлы; 11 – типы месторождений (проявлений): а – золото-сульфидный, б – золото-платино-медно-никелевый комплексный, в – золото-кварцевый, г – золотоносных кор выветривания, д – золото-кварц-сульфидный, е – золото-серебряно-кварцево-сульфидный, ж – золото-сурьмяный, з – золото-ртутный; 12 – границы Красноярского края и Республики Хакасия (а), Таймырского и Эвенкийского автономных округов (б).

Золотоносные и золото-платиноносные провинции установленные: III – Енисейская, IV – Кузнецко-Алатауская, V – Восточно-Саянская, VI – Западно-Саянская.

Рудные (рудно-россыпные) районы, площади, узлы: 17 – Посольненский, 18 – Кузеевский, 19 – Богонауевский, 20 – Александровский, 21 – Саралинско-Коммунарковский, 22 – Уйбатский, 23 – Балыксинский, 24 – Осиновский, 25 – Тубильский, 26 – Жайминско-Арзыйбейский, 27 – Верхне-Манский, 28 – Караганский, 29 – Янгинский, 30 – Сисимский, 31 – Ольховско-Чибисжекский, 32 – Шиндинский, 33 – Копский, 34 – Нижне-Амыльский, 35 – Верхне-Амыльский, 36 – Приенисейско-Шумихинский, 37 – Анзас-Кизасский, 38 – Усинский

В целом для угленосного разреза Минусинского бассейна можно отметить общую особенность, характеризующуюся обогащением верхней части черногорской свиты и всей береговой свиты золотом. Повышенные его содержания характерны как для угольных пластов, так и для углевмещающих пород. Особенно отчетливо это проявлено на более детально изученном Черногорском месторождении. Для углевмещающих пород месторождения наиболее значимое обогащение золотом установлено в аргиллитах и песчаниках кровли пласта Нового и в алевролитах кровли пласта Непостоянного. Кроме того, повсеместно отмечаются повышенные содержания золота в породных прослоях, в породах кровли и почвы. А максимальные концентрации в золах углей отмечены в пласте Двухаршинном.

По-видимому, в верхнечерногорское – береговое время существовали условия благоприятные для накопления золота в осадочных толщах. Судя по факту накопления золота в малозольных углях, имел место привнос его грунтовыми или поверхностными водами. Относительно стабильная тектоническая обстановка этого периода и теплый влажный климат способствовали формированию кор выветривания в обрамлении Минусинского прогиба и переносу золота в растворенном виде. Весьма вероятно обогащение вод золотом и другими элементами за счет термальных растворов.

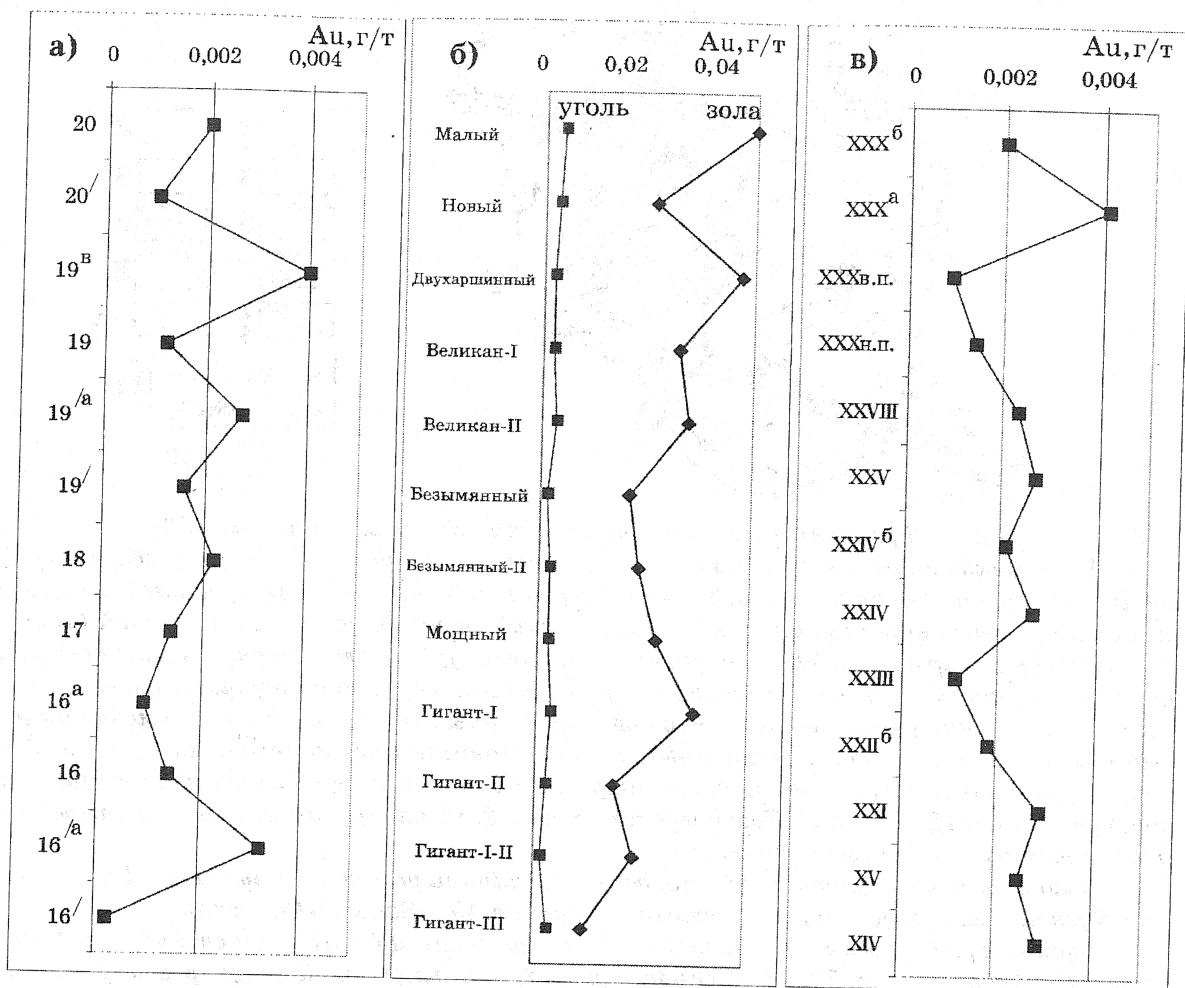


Рис. 6. Графики изменения содержания золота в углях в разрезе угленосных отложений Бейского (а), Черногорского (б) и Изыхского (в) месторождений

С другой стороны, повышенное содержание золота в алевролитах и песчаниках верхней части черногорской свиты и, особенно, в алевролитах, аргиллитах и песчаниках береговой свиты (табл. 5), указывает на возможность его привноса с обломочным материалом.

Областью питания в данном случае могли быть как складчатые сооружения Западного Саяна, так и Кузнецкого Алатау. Однако существенно более высокие содержания золота в углевмещающих породах Черногорского месторождения (8,7 мг/т) по сравнению с Бейским, дает основание считать основным источником поступления золота в угленосные отложения специализированные комплексы Кузнецкого Алатау.

В разрезе угольного пласта распределение, в целом, достаточно неравномерно, хотя и не так контрастно, как для германия. Можно выделить несколько типов распределения золота в разрезе пласта. Для пластов простого строения характерно последовательное уменьшение или увеличение содержания металла снизу вверх по разрезу (рис. 7). Направленность процесса, вероятно, связана с эволюцией состава грунтовых и поверхностных вод. В некоторых случаях имеет место обогащение прикровельной и припочвенной части пласта. При этом углевмещающие породы могут иметь как более высокие, так и значительно более низкие содержания золота, чем угли. Этот факт говорит о привносе по крайней мере части золота в угольный пласт в водных растворах, а не в кластогенной форме. На рисунке 7 (в)

Таблица 5

Содержания золота в углевмещающих породах Минусинского бассейна, г/т

Свита	Типы пород	Кол-во проб	Au
изыхская	аргиллит	4	0,0044
	туфо-алевролит	1	0,0035
нарыльковская	аргиллит	8	0,0035
	алевролит	4	0,0026
	песчаник	3	<0,0005
	переслаивание алевролитов, аргиллитов и песчаников	2	0,0032
	туффит	1	0,0013
белоярская	аргиллит	4	0,0024
	алевролит	8	0,0032
	песчаник	1	0,005
	переслаивание алевролитов, аргиллитов и песчаников	1	0,0014
	карбонатная порода	1	0,0006
побережная	аргиллит	2	0,030
	алевролит	1	0,072
	песчаник	2	0,020
черногорская	аргиллит	26	0,0036
	алевролит	29	0,005
	алевро-песчаник	4	0,012
	песчаник	3	0,0057
	переслаивание алевролитов, аргиллитов и песчаников	2	0,0012
	туффит	4	0,0031
	сидерит	2	0,008
	кремнистая порода	1	0,0032
Среднее		114	0,0049

показано распределение золота в пласте 18. В целом пласт характеризуется фоновым его содержанием (2,2 мг/т). В разрезе пласта хорошо видно обогащение прикровельной и, в большей степени, припочвенной его части. При этом почва пласта обеднена золотом. Очевидно, что обогащение припочвенной части могло произойти лишь за счет грунтовых или поверхностных вод. Фактором, обусловившим накопление металла в нижней части пласта, могла быть сорбция его из водных растворов на разложившемся органическом веществе или прижизненное накопление растениями и микроорганизмами. Золото является обычным элементом для растений. Такой тип распределения, как в пласте 18, характерен для многих биофильных элементов в современных торфяниках [6]. В дальнейшем микроорганизмы и болотная растительность перераспределяла золото, накопленное в основании залежи. Часть его захоронялась, а часть концентрировалась в верхней части формирующегося торфяника. Этим, а также сорбционными процессами обусловлено обогащение прикровельной зоны угольного пласта.

В пластах сложного строения распределение золота имеет более сложный характер. В целом же в сложном пласте можно наблюдать фрагменты тех типов распределения, что установлены для простого пласта (рис. 7.г).

Латеральная изменчивость в распределении золота изучена слабо. В Черногорском месторождении в пределах наиболее детально опробованной западной его час-

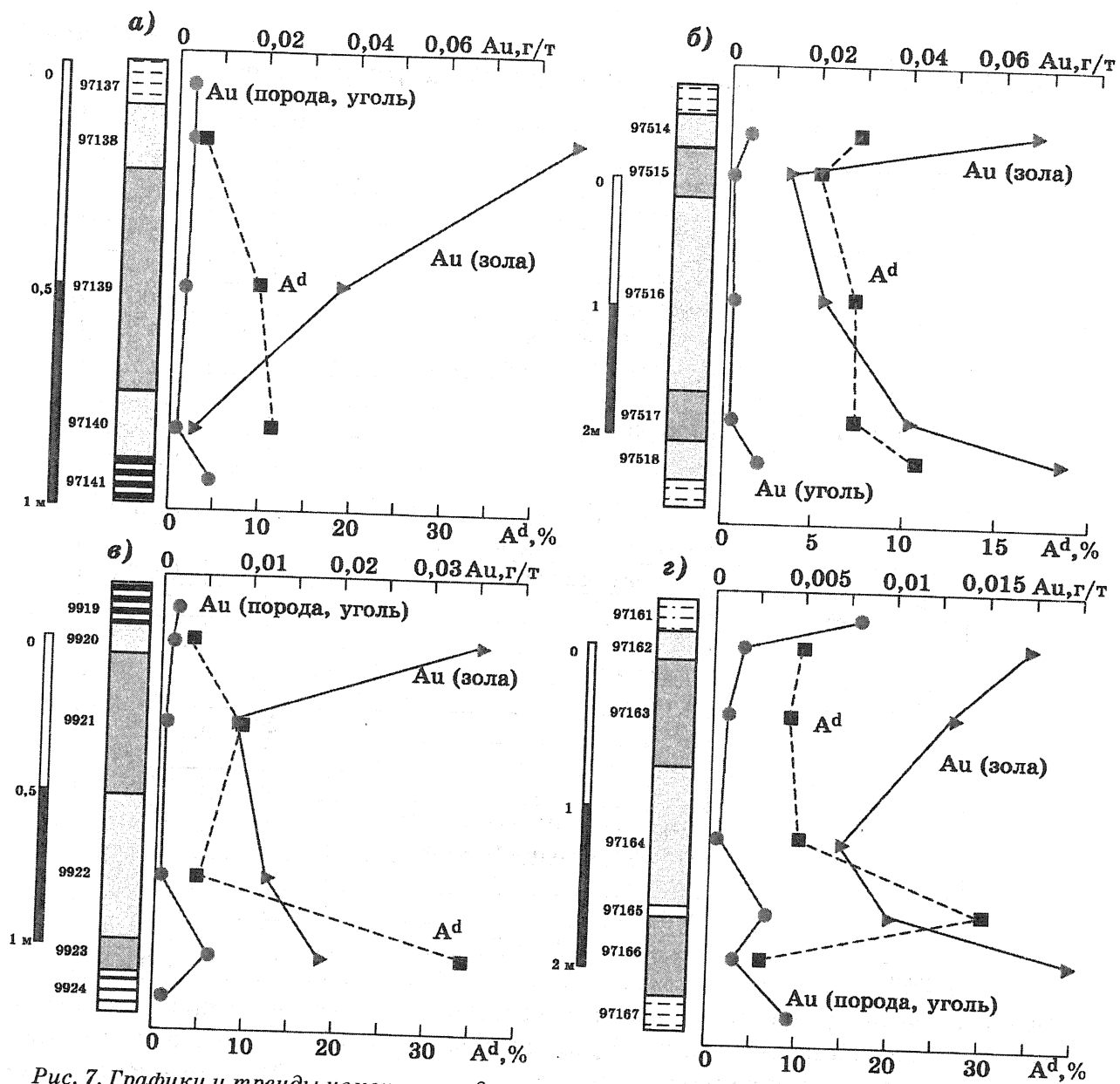


Рис. 7. Графики и тренды изменения содержания золота в углях в разрезе угленосных отложений Бейского (а), Черногорского (б) и Изыхского (в) месторождений

ти установлено, что основной привнос золота происходил со стороны Кузнецко-Алатаусского обрамления. Отчетливая западная - юго - западная ориентировка зон накопления золота в пласте Двухаршинный (рис. 8) позволяет предполагать Уйбатский золоторудный район в качестве возможной области питания. Характер ореола распределения указывает на возможный привнос металла водными потоками.

На Изыхском месторождении распределение золота по простиранию рассмотрено на примере пласта XXVIII, характеризующегося кларковыми уровнями его накопления. Содержание металла относительно выдержано на всем опробованном отрезке (рис. 9).

На выходах пластов во всех изученных месторождениях повсеместно проявлены зоны окисления. В настоящее время отсутствуют сведения о поведении золота в процессе грунтового окисления и выветривания углей. В связи с этим выполнено детальное опробование углей окисленного пласта 19^а с выходом в неизмененные породы (рис 10).

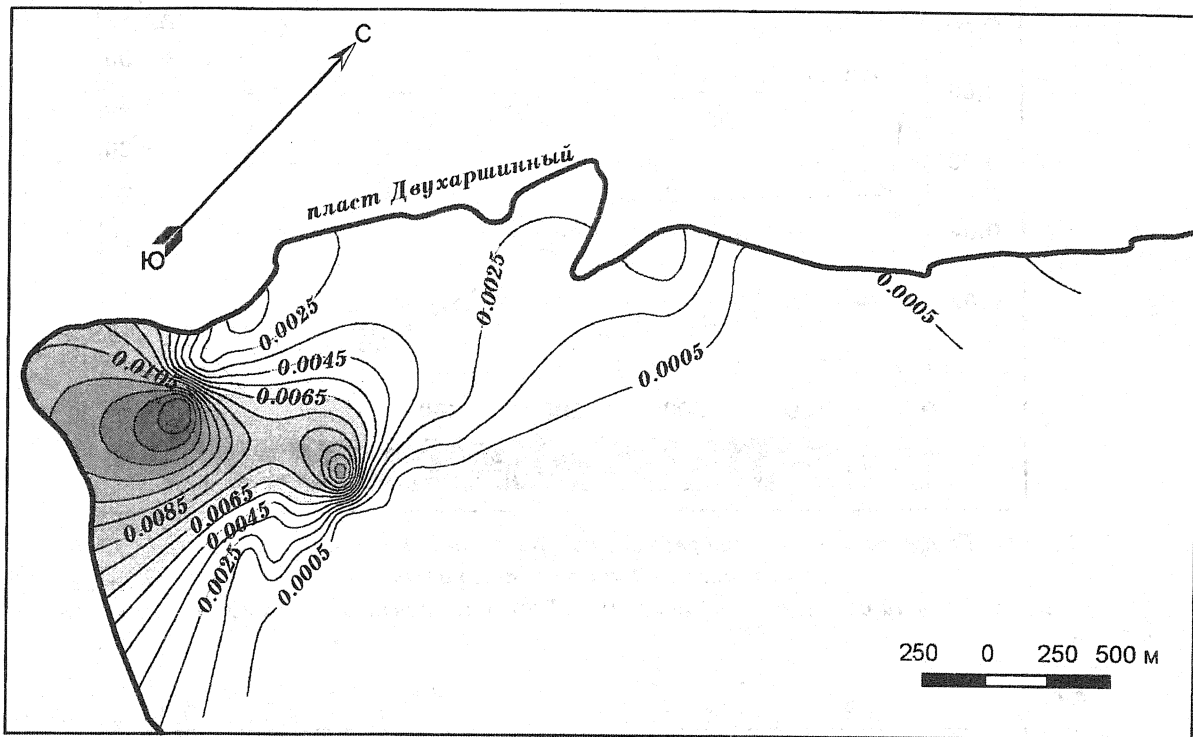


Рис. 8. Фрагмент карты распределения золота в углях пласта Двухаршинный (Черногорское месторождение)

На участке пласта, не подверженном окислению, содержание элемента находится на уровне кларковых значений (1 - 2 мг/т). В зоне окисления оно возрастает более чем на порядок (24 - 26 мг/т). При этом видно, что при слабо выраженном изменении угля содержание увеличивается незначительно, а в зоне интенсивного окисления возрастает скачкообразно. Процесс идет синхронно с увеличением зольности, обусловленным потерей органического вещества и хемогенным накоплением минерального вещества. Причина образования таких аномальных концентраций золота в окисленных углях может быть объяснена химизмом процесса окисления угля. Известно, что при этом происходит формиро-

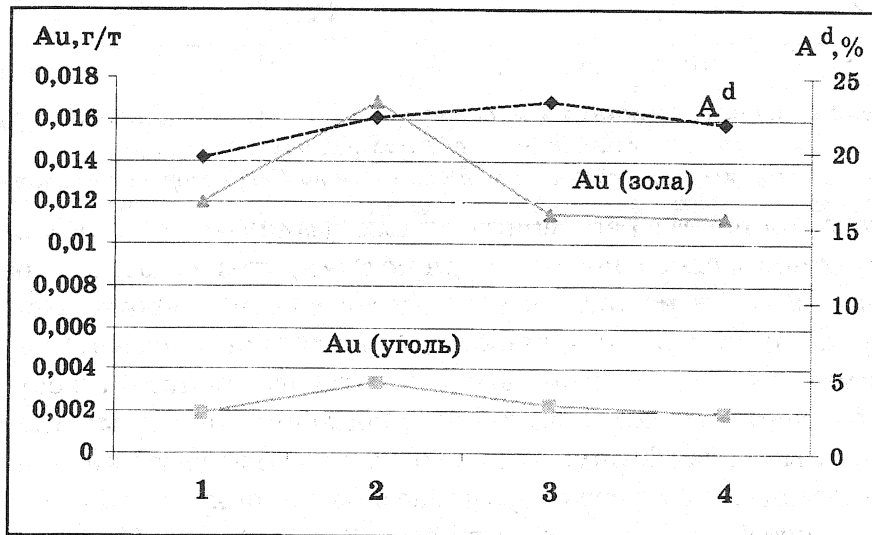


Рис. 9. Графики изменения среднего содержания золота в углях и золах углей пласта XXVIII (Изыкское месторождение)

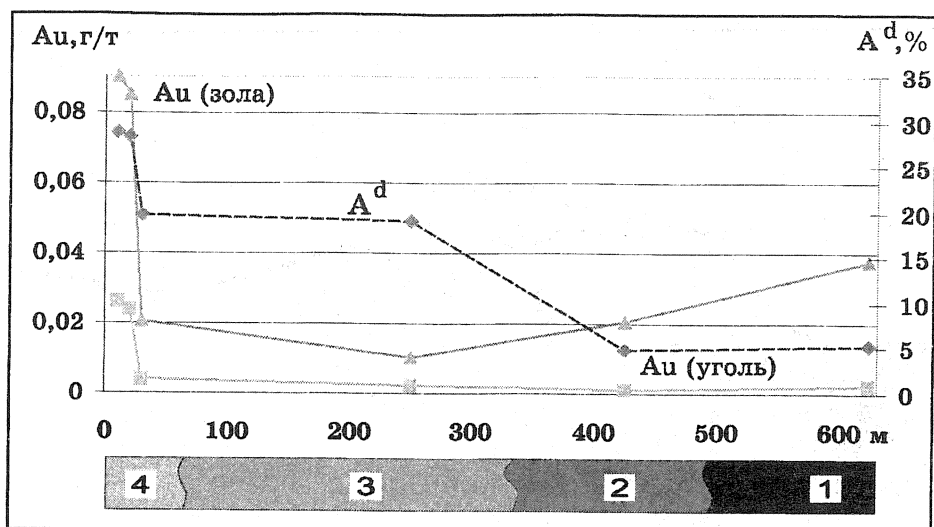


Рис. 10. Графики изменения среднего содержания золота в углях и золах углей пласта 19/а по простиранию.

1 - неокисленный уголь; 2 - слабоокисленный; 3 - окисленный, рыхлый; 4 - сильноокисленный, рыхлый

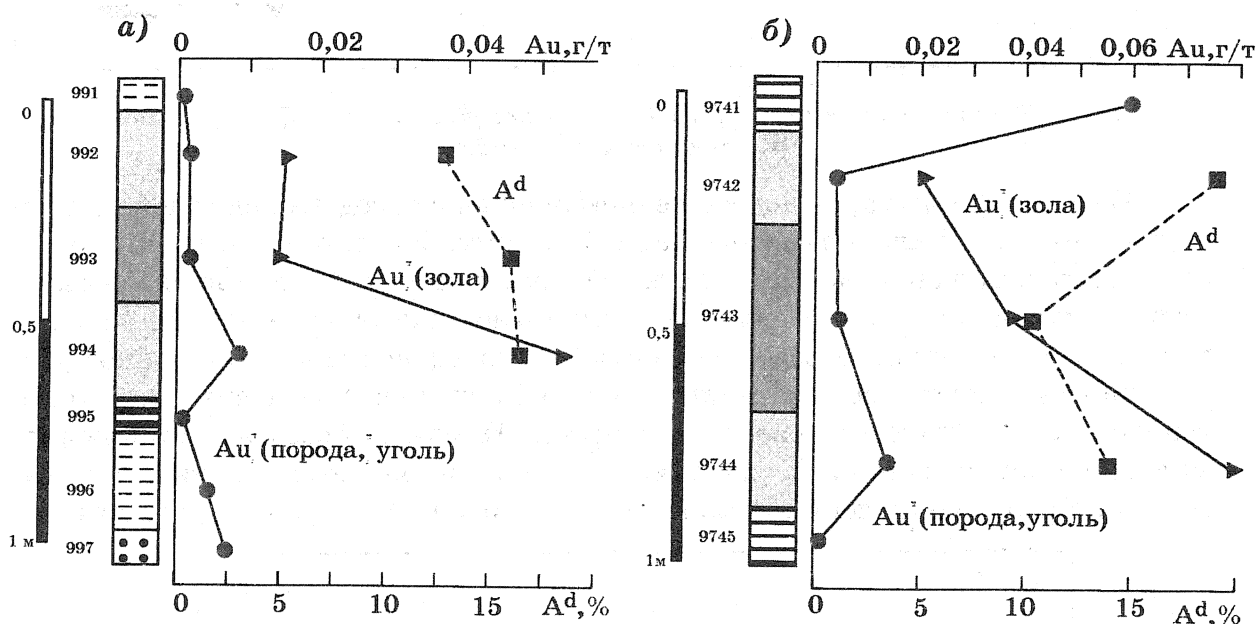


Рис. 11. Распределение содержания золота в углях, золах углей и зольности в разрезе угольных пластов в пределах зон окисления.

а - пласт 19/а (Бейское месторождение); б - пласт Новый (Черногорское месторождение)

вание большого количества регенерированных гуминовых кислот, обладающих высокой сорбционной способностью. Судя по тому, что радиоактивное равновесие в окисленных углях не установилось, процессы окисления происходили в недалеком прошлом и, вероятно, происходят в настоящее время. Современный аридный климат района при гумидном климате области питания обуславливают создание благоприятных условий для накопления многих металлов в грунтовых и подземных водах Минусинского бассейна. Процессы химического выветривания в гумидных областях обрамления благоприятствовали переходу золота в растворимую форму, а сухой жаркий климат Южно - Минусинской котловины - концентрированию металлов в грунтовых и подземных водах.

В разрезе окисленного пласта, по-видимому, происходит не только накопление, но и перераспределение элемента. Происходит миграция золота из верхней части угольного пласта. Во всяком случае, в сечениях окисленных пластов 19/^а и Новый (рис 11) отмечено обогащение нижней части пласта и постепенное снижение содержания золота снизу вверх. При этом синхронно с золотом изменяется содержание урана, которое в нижней части пласта 19/^а достигает промышленно значимых величин. Последний факт позволяет предполагать, что золото, как и уран, привносилось в пласт с грунтовыми водами, а затем перераспределялось и концентрировалось в его нижней части.

Проведенные исследования показали, что в Минусинском бассейне при околосреднем содержании золота в углях имеются угольные пласты (Двухаршинный, Новый, 19/^а, 19^в, 20/ и другие) существенно обогащенные им. Эти пласты сосредоточены в верхней части черногорской свиты и в прибрежной свите. Здесь же установлены аномально высокие содержания золота в углевмещающих породах. Уровни накопления золота в отдельных пробах золы углей этих пластов превышают 1 г/т. что позволяет рассматривать их в качестве перспективного источника для промышленного извлечения этого металла. Наибольшими перспективами характеризуются участки пластов, непосредственно примыкающие к области водно-минерального питания осадочного бассейна.

Условия накопления золота в углях

В Минусинском бассейне повышенная золотоносность установлена в угольных пластах верхнечерногорской подсвиты и прибрежной свиты на Черногорском и Бейском месторождениях. Формирование этих пластов происходило в относительно стабильной тектонической обстановке в условиях смены озерно-болотных фаций аллювиальной равнины на прибрежные озерно-болотные фации.

Содержание золота в золах углей этих пластов в отдельных пробах достигает 1,4 г/т. Наибольшие концентрации характерны для золы малозольных углей (3 – 7%). Коэффициент накопления в золе по отношению к углевмещающей породе колеблется от 3 до 200. Этот факт указывает на то, что основная масса золота накапливалась в угле не за счет кластогенного материала. Очевидно, что здесь имеет место иной механизм накопления золота.

Для понимания этого механизма следует рассмотреть отдельно источники и механизмы поступления золота в угольный пласт и способы его концентрирования в угле.

В качестве основных источников и механизмов поступления золота в угли Минусинского бассейна можно выделить следующие:

1. Поступление металлов, в том числе золота, в угольный пласт с терригенным материалом. Источником в данном случае являются геохимически специализированные горные породы, а также коренные и комплексные месторождения и проявления золота. Такие образования достаточно широко распространены в обрамлении бассейна. Они известны в Кузнецком Алатау, Западном и Восточном Саяне.

2. Поступление золота с пирокластическим материалом при пеплопадах. На возможность такого процесса накопления указывает наличие многочисленных прослоев тонштейнов в угольных пластах. Судя по содержанию золота в тонштейнах (табл.5), вряд ли этот механизм привноса металлов мог играть существенную роль в накоплении золота.

3. Поступление золота в древний торфяник с грунтовыми и поверхностными водами. Первичным источником золота здесь были те же геохимически спе-

циализированные комплексы и месторождения, но механизм переноса вещества был иной. Перенос золота в гипергенных условиях возможен в форме коллоидов или комплексных ионов [31]. Стабильный тектонический режим и гумидный климат в период угленакопления обусловили активизацию процессов химического выветривания с формированием коры выветривания и переходом основной массы веществ, в том числе золота, в растворенное состояние. Повышенное содержание золота характерно для всех рек и источников, расположенных в золотоносных районах (около $3 \cdot 10^{-6}\%$). В рудничных водах содержание золота на порядок выше (Аношин, Павлова, 1966; Воротников и др., 1973). О возможности такого механизма привноса золота свидетельствует факт накопления золота в зонах эпигенетического окисления угольных пластов (рис.10).

4. Привнос золота термальными водами как в древний торфяник, так и в уже сформировавшийся угольный пласт на стадии углефикации. Факты гидротермального отложения золота в углях известны. Во всяком случае, многие наиболее высокие его концентрации в углях объясняются гидротермальной природой [23, 30, 33].

Способы концентрирования также могут быть разными. Наиболее очевидным является накопление золота за счет его привноса с обломочным материалом в составе так называемой внешней золы. Высокие концентрации кластогенной природы установлены, например, в южном Кузбассе в зоне размыва угольного пласта [47]. Очевидно, что уровни накопления такого золота в углях должны отчетливо коррелировать с зольностью и, учитывая условия формирования наиболее золотоносных угольных пластов Минусинского бассейна, вряд ли могут быть значительными. Безусловно, что терригенное золото в углях есть. Его количество в разных углях различно и зависит от условий формирования пласта и от состава питающего материала. Сопоставляя среднее содержание золота в углевмещающих породах и золах углей бассейна, можно предположить, что доля золота терригенного составляет в среднем около 30%.

Вероятно, не последнюю роль играет и биогенное накопление золота в углях. Золото является обычным микрокомпонентом многих растений и логично заключить, что некоторая часть его аккумулировалась прямо из растительного материала. Особенно это вероятно в золотоносных районах. Исследования С.М. Манской и др. [17] показывают, что растения способны накапливать в процессе своей жизнедеятельности значительные количества благородных металлов. Так, в золе хвоща (*Equisetum arvens* и *E. Palustre*), растущего в районе золоторудных месторождений, установлено до 610 г/т Au. По данным Р.В. Бойля [30] в золе кустарников содержится до 600 г/т золота, деревьев - до 10 г/т, травянистых растений - 8,6 г/т. По данным В.К. Бернатониса [7] в современных болотных растениях - торфообразователях юга Западной Сибири содержится 0,5 - 19,7 мг/т золота. Эти цифры сопоставимы с кларком золота в углях, а в ряде случаев значительно выше его.

С другой стороны, растения способны усваивать лишь ионное золото, поэтому уровни концентрирования металла в растениях будут зависеть от общего содержания металла в почвенных растворах.

Оценить количество золота, накопленное растениями-торфообразователями в карбон - пермское время, не представляется возможным по ряду объективных причин. С одной стороны, нет сведений о способности этих древних растений к накоплению золота. С другой стороны, не известно поведение золота в процессе гумификации растений.

Проведенные в последние три десятилетия микробиологические исследования позволяют предполагать возможность бактериального накопления золота в углях. Установлено, что бактерии являются активными агентами в растворении и восстановлении этого металла с образованием вторичного золота как на поверхности его первоначальных частиц, так и непосредственно в клетках [2, 14, 15, 16, 18]. Ф.Д. Овчаренко и др. [21] показали, что определенные виды микроорганизмов способны к селективной гетерокоагуляции с частицами самородного золота (рис.12).

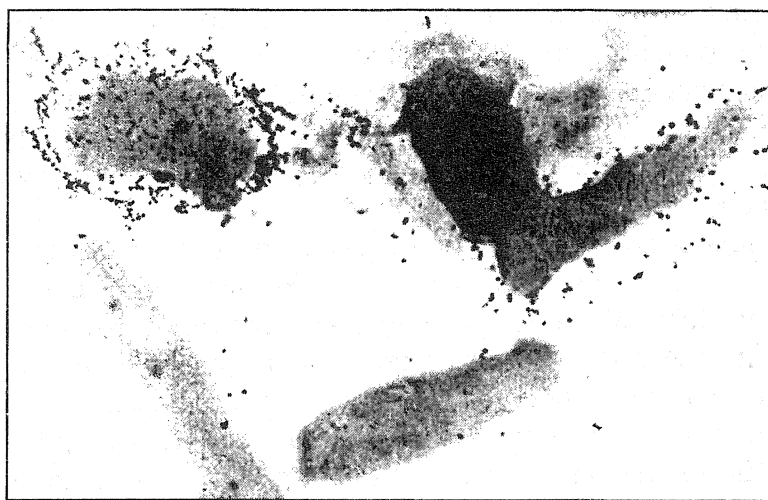


Рис. 12. Клетки ассоциативной культуры микроорганизмов в присутствии коллоидного золота (по Ф.Д. Овчаренко и др., 1986)

Широкое распространение гетеротрофных организмов в биосфере позволяет предполагать, что они участвуют в процессах перераспределения золота в гипергенных условиях. В последние годы сделаны многочисленные находки золотых микрофоссилий, что позволило выделить новую генетическую разновидность золотой минерализации – биогенного золота [1, 23]. Это золото концентрируется под влиянием микроорганизмов и продуктов их метаболизма. Обычно оно представлено псевдоморфозами самородного золота по цианобактериям, диатомовым водорослям и другим микроорганизмам (рис. 13). Размеры таких образований обычно не превышают нескольких микрон. Форма сферическая (кокки) или нитевидная.

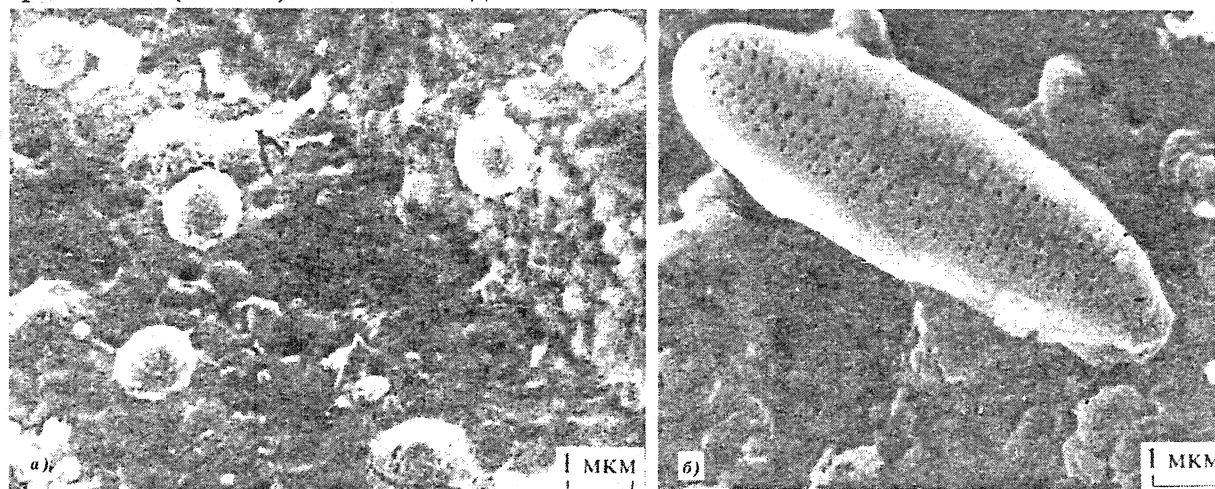


Рис. 13. Полные псевдоморфозы самородного золота по коккоидным цианобактериям (а) и по скелету диатомовой водоросли (б) (по Р.А. Амосову и др., 1996)

Концентрирование золота бактериями в углях, в основном, происходит в период торфонакопления. Известно, что при формировании торфяников в процессе превращения органических остатков в торф ведущая роль принадлежит микроорганизмам. Причем, при отсутствии аэрации (периодического осушения верхней части торфяной залежи) процессы переработки органического вещества происходят более активно и проходят более глубоко [11]. Среди многочисленных колоний микроорганизмов в торфогенном слое (до 5 тысяч на грамм почвы и более) имеют место и цианобактерии и другие гетеротрофные организмы, способные избирательно поглощать золото и другие металлы. После их отмирания и литификации осадка формируются золотые микрофоссилии.

Исследование современных торфяных залежей в предгорьях Алтая, Кузнецкого Алатау и Салаира показало, что золото в виде включений самородного металла осаждается в восстановительных условиях с сульфидами, сульфатами и карбонатами [19].

Бактериальная модель концентрирования золота в малозольных углях лучше других объясняет, казалось бы трудноразрешимые, противоречия, выявляемые при изучении золотоносности угленосных толщ. Крайне неравномерный характер распределения золота в углях в случае высоких его концентраций, отмечаемый многими исследователями, предполагает наличие минеральной формы его нахождения. Если взять за основу кластогенную модель концентрирования золота, то мы вправе ожидать более высоких уровней накопления металла в высокозольных углях и положительную корреляцию содержания золота в угле от зольности. Такого в изученных нами угольных пластах не наблюдается. В то же время наиболее высокие содержания золота установлены в наименее зольных углях (3 – 7%). Высокое содержание металла и высокая дисперсия его распределения при низкой зольности таких углей предполагает образование аутигенных минералов золота. В качестве возможного способа образования таких новообразований может быть их формирование при участии анаэробных бактерий.

Г.Д. Страйкер и др. [34], изучавшие золото в лигнитах Аляски, обратили внимание на наибольшую обогащенность им самых малозольных углей. Несмотря на высокую корреляционную связь между содержанием золота в углях и зольностью в целом для изученного разреза, они сделали вывод, что малозольные угли не могли накопить таких концентраций золота за счет обломочного материала и предположили его аккумуляцию торфяником из грунтовых и поверхностных вод. В золе таких углей ими выявлены микровключения аутигенного нитевидного золота.

Вполне реальна и сорбционная природа накопления золота в углях. Хорошая сорбируемость его на угле давно известна и используется в аналитической практике, например, в методике химико-спектрального анализа. Известно, что золото способно образовывать очень прочные гуматные комплексы, что позволяет ему мигрировать и в восстановительных средах [27]. Гуминовые вещества способны выщелачивать золото из породы [30, 31] и транспортировать его на значительные расстояния в места рудоотложения. Преимущественно сорбционно-хемогенная природа золота характерна, вероятно, для эпигенетических его аномалий в зонах окисления угольных пластов. Об этом свидетельствует как его отчетливо выраженная связь с эпигенетическими концентрациями урана, так и относительно равномерное распределение на окисленном участке пласта.

Можно предположить следующий механизм обогащения малозольных

углей золотом. На стадии торфонакопления золото поступало в торфяную залежь не только с кластогенным материалом, но и в составе грунтовых и поверхностных вод, а также в составе растительного материала, усваивающего его из подстилающих отложений и грунтовых вод. В процессе формирования залежи в торфогенном слое происходило разложение растительного материала и усвоение высвобождающегося золота микроорганизмами. Часть металла извлекалась при разрушении минерального вещества, поступившего в торфяник в виде взвеси, пыли и в результате пеплопадов. Определенные виды микроорганизмов извлекали коллоидное и ионное золото из водных растворов. Колонии таких бактерий формировали тонкодисперсные скопления самородного металла аналогично тому, что установлено в некоторых россыпях и в коренных месторождениях [1, 2]. В процессе роста и отмирания микроорганизмов шли процессы как концентрирования, так и растворения золота, являющегося необходимым компонентом для нормального функционирования некоторых видов бактерий [18]. При дефиците необходимого его количества для развития микроорганизмов происходило разрушение ранее сформировавшихся самородных выделений. Поэтому поступление дополнительных порций металла с водными растворами или с растительной массой является необходимым условием накопления высоких концентраций золота в угольных пластах. При этом основная часть золота захороняется в самородной форме в виде колломорфных или перекристаллизованных выделений, а часть – в составе золото-органических комплексов или в сорбированной форме. В частности, колломорфное золото было установлено в углях Южного Уэльса [33]. Наличие в углях аутигенного золота отмечается и другими исследователями [13, 20].

С целью изучения роли органического вещества в концентрировании золота в углях было выполнено разделение угля пласта Двухаршинный на фракции и их изучение (табл. 6; рис. 14).

Таблица 6

Распределение золота в продуктах фракционирования угля
(пласт Двухаршинный)

Удельный вес, г/см ³	Выход фракции, %	A ^d , %	Содержание золота, мг/т		Выход Au во фракцию, %
			В угле	В золе угля	
<1.2	0				
1.2-1.3	23,25	3,88	13	335	52,0
1.3-1.4	42,00	8,48	1	11,8	7,2
1.4-1.5	13,25	16,61	1	6,0	2,3
1.5-1.6	3,50	26,43	2	7,6	1,2
1.6-1.7	4,25	27,50	46	167	33,8
1.7-1.8	1,00	29,97	16	53	2,8
1.8-2.0	9,50	48,98	<0,1	0,1	0,1
>2.0	3,25	88,17	1	70	0,6

Характер распределения золота по фракциям угля свидетельствует, что имеют место несколько форм его нахождения. Носителем его являются легкие фракции, в которых находится более 60% золота в угле. Они же являются и концентраторами золота. Во фракции 1,2-1,3 г/см³ содержится 13 мг/т золота, что в пересчете на золу дает величину 335 мг/т. Золото здесь, вероятно, связано с органическим веществом в виде металл-органических комплексов или сорбировано на нем. Косвенно этот вывод подтверждается потерей основной массы

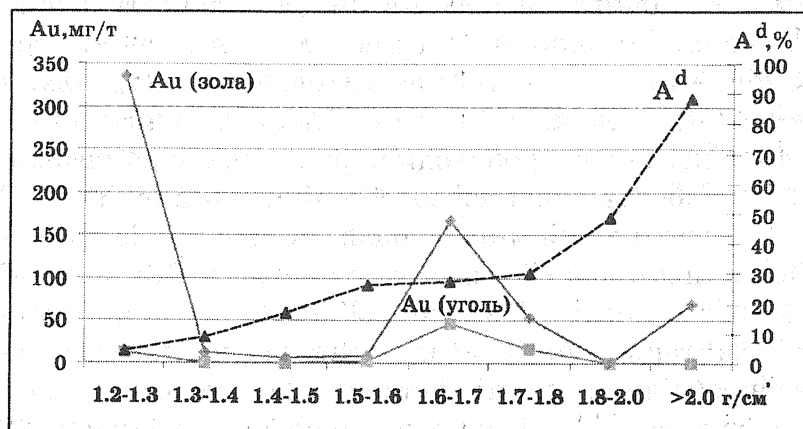


Рис. 14. Распределение золота и зольности во фракциях угля разного удельного веса (пласт Двухаршинный)

золота при лабораторном озолении угля при $T^0 = 800^{\circ}\text{C}$. Известно, что органические соединения золота обладают высокой летучестью [18]. Такие же результаты получены при изучении фракций угля пластов K_{20} , K_{18} и K_{13} Карагандинского бассейна [28]. В золе самых легких фракций угля ($< 1,3 \text{ г/см}^3$) этих пластов зафиксировано золото в количестве 2, 4, 2 и 10 г/т соответственно.

Концентратором золота являются также фракции угля $1,6 - 1,8 \text{ г/см}^3$. По данным В.М. Ратынского и др. [23], В.Р. Клера и др. [20] в этой фракции золото концентрируется вместе с кварцем и, вероятно, представлено самородной формой. На самородную форму нахождения указывают и данные корреляционного анализа. Золото в обогащенных им углях не коррелирует ни с одним изученным элементом. Данные корреляционного анализа показывают также, что золото в таких углях характеризуется значимой отрицательной корреляцией с зольнос-

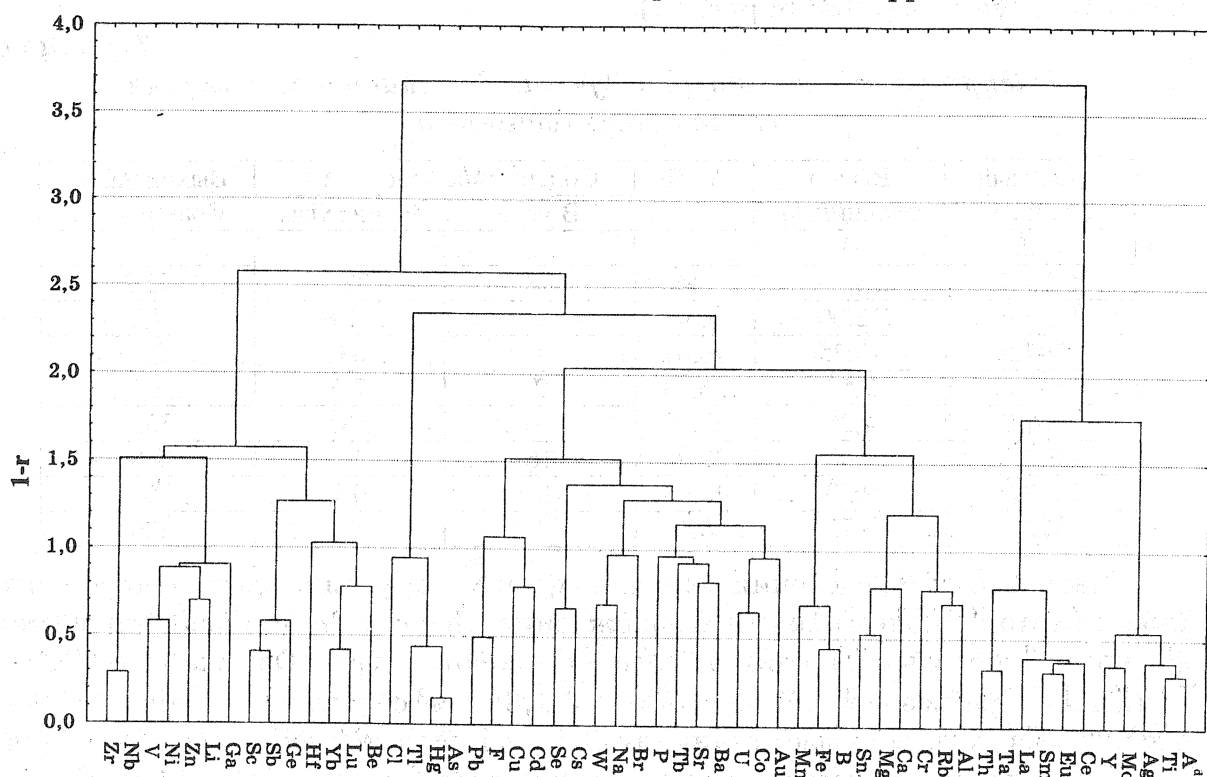


Рис. 15. Дендрограмма корреляционной матрицы

тью. Содержание золота в золах углей пласта Двухаршинный характеризуется высокой положительной корреляционной связью с кобальтом, сурьмой, ураном и тяжелыми лантаноидами при отрицательной связи с зольностью. Кластерный анализ показывает, что геохимически золото в пласте Двухаршинный наиболее близко к кобальту, цинку, железу и иттриевым лантаноидам.

В целом для бассейна наблюдается значимая корреляция содержания золота только с натрием при отрицательной связи с цинком. Кластерный анализ показывает, что золото геохимически наиболее близко с кобальтом и ураном (рис. 15).

В углевмещающих породах золото коррелирует с элементами, концентрирующимися, как правило, в тяжелых минералах и в сульфидах, что позволяет считать основными способами накопления золота во вмещающих породах его гравитационное концентрирование и соосаждение с сульфидами.

Выводы

Среднее содержание золота в углях Минусинского бассейна (2,8 мг/т) близко к угольному кларку этого элемента. В то же время, в пределах бассейна имеются угольные пласты, в золах угля которых содержание золота на несколько порядков выше кларка. Такие пласты выявлены в пределах Черногорского и Бейского месторождений. Они приурочены к верхней части черногорской свиты и, в меньшей степени, к береговой свите. На Черногорском месторождении это пласты Двухаршинный и Новый, на Бейском – 19, 19^а, 19^в и 20/. Все они формировались в условиях относительной стабилизации тектонического режима. Резко повышенными содержаниями золота характеризуются также углевмещающие породы кровли пласта Новый и Непостоянный.

В процессе окисления угольного пласта отмечается накопление золота, связанное, вероятно, с сорбцией его на регенерированных гуминовых веществах.

Высокие содержания золота тяготеют к малозольным углям. В малозольных углях золото обособляется от других элементов. В таких углях основная масса золота приурочена к органическому веществу. В органическом веществе в общей сложности сосредоточено около 60 % металла, в минеральном – около 40%. В органической массе угля золото накапливается в составе металл-органических комплексов, в сорбированной форме, а также в виде микроскопических выделений самородного золота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосов Р.А., Васин С.Л. Золотые микрофоссилии. // Руды и металлы. – 1993. - № 3 – 6. – С. 101 – 106.
2. Амосов Р.А., Васин С.Л., Щегольков Ю.В., Щепотьев Ю.М. О первой находке полных псевдоморфоз самородного золота по диатомовым водорослям. // Докл. РАН, 1996. – Т. 351. - №4. – С. 509 – 512.
3. Аношин Г.Н., Павлова Л.К. Распределение золота в изверженных и осадочных породах по данным радиоактивного анализа. // Геология, геофизика, геодезия. – Новосибирск, 1966. – С. 10 – 13.
4. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. – Кемерово, 2000. – 248с.
5. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования – Л.: Наука, 1980. – 187 с.
6. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. – Новосибирск: Наука, 1986. – 192 с.

7. Бернатонис В.К., Архипов В.С., Резчиков В.И. Золотоносность торфов Томской области. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления: Материалы VIII конференции. Тюмень, 1991. – С. 86 – 87.
8. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. Пер. с англ./ Под ред А.И. Бусева и Н.В. Трофимова. – М.: Химия, 1984. – 432 с.
9. Воротников Б.А., Николаева Н.М., Пирожков А.В. О формах нахождения золота в водах Южно-Енисейского района. // Геология и геофизика, 1973. - №11. – С. 37 – 42.
10. Гольдшмидт В.М., Петерс К. О накоплении редких элементов в каменных углях. // Сборник статей по геохимии редких элементов. Пер. с нем. – М.: Редакция горно-топливной и геолого - разведочной литературы, 1938. - С. 41 - 53.
11. Илялетдинов А.Н., Сулейменова С.И. Влияние аэрации на микробиологические процессы в затопленной почве. // Микробиология. – 1974. – Т. XLIII. – Вып. 1. – С. 141 – 145.
12. Кизильштейн Л.Я., Минаева Л.Г. Пиритизированные микроорганизмы в угольных пластах Донецкого бассейна. // Стратиграфия карбона и геология угленосных формаций СССР. – М.: Недра, 1975. – 208 с.
13. Китаев И.В., Михайлов М.А. Геохимические закономерности распределения золота и серебра в осадочных породах и углях. // Геохимия и минералогия осадочных комплексов Дальнего Востока. – Владивосток, 1979. – С. 57 – 76.
14. Коробушкина Е.Д., Черняк А.С., Минеев Г.Г. Растворение золота микроорганизмами и продуктами их метаболизма. // Микробиология. – 1974. – Т. XLIII. – Вып. 1. – С. 49 – 54.
15. Коробушкина Е.Д., Коробушкин И.М. Взаимодействие золота с бактериями и образование “нового золота”. // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 287. - №4. – С. 978 – 980.
16. Коробушкина Е.Д., Бирюзова В.И., Коробушкин И.М., Каравайко Г.И. Зарождение кристаллов золота в клетках дрожжей и его аккумуляция. // Докл. АН СССР. – 1989. – Т. 304. - №2. – С. 431 – 433.
17. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. – М.:Наука, 1964. – 315 с.
18. Маракушев С.А. Геомикробиология и биохимия золота. – М.: Наука, 1991. – 111 с.
19. Матухина В.Г., Попова М.В., Малюшенко Л.Д. Процессы вторичного минералообразования в торфяных залежах на территориях, сопредельных с горным обрамлением // Отечественная геология. – 1996. - №5. – С.65.
20. Металлогения и геохимия угленосных и сланценосных толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения./ В.Р. Клер, Ф.Я. Сапрыкин и др. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
21. Овчаренко Ф.Д., Ульберг З.Р., Карамушка В.И., Грузона Т.Г. и др. Роль биохимических факторов в селективной гетерокоагуляции микроорганизмов с частицами коллоидного золота. // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 287. - № 4. – С. 1009 – 1012.
22. Природные ресурсы Красноярского края. (Аналитический обзор)/ Под ред. Якимова. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. - 218 с.
23. Ратынский В.М., Шпирт М.Я., Мусял С.А., Белошапко М.А. О золо-

- те в ископаемых углях. // Химия твердого топлива. – 1982. - №4. - С. 88 - 90.
24. Справочник по геохимии. / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошниченко, В.Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
25. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. - М.:Недра, 1996. – 238 с.
26. Щербаков Ю.Г. Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях. – М.: Наука, 1967. - 267 с.
27. Щербина В.В. Поведение некоторых редких и рассеянных элементов в зоне гипергенеза. // Сов. Геология, - № 6. С. 94 - 103.
28. Элементы-примеси в месторождениях Казахстана. Т.1. Месторождения меди, свинца, редких металлов, золота, урана, хромитов, железа, марганца, фосфоритов, угля и нефти. Справочник./ под ред.А.А. Абдуллина, Х.А. Беспяева, Э.С. Воцалевского и др. – Алматы, 1998. – 268 с.
29. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. - Л: Наука, 1985. - 239 с.
30. Boyle R.W. The Geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element) // US Geol. Surv. Bull. 280. - Ottawa, 1979. - 583 p.
31. Freise F.W. The transportation of gold by organic underground solutions. // Econ. Geol., 1931. – Vol. 36. - № 4.
32. Lakin H.W., Cutin G.C., Hubert A.E. Geochemistry of gold in the weathering cycle.// Us Geol. Surv. Bull. – 1974. – Vol. 133. – P. 591 – 602.
33. Rod G., David R. Colloform gold in coal from Southern Walles.// Geology. – 1994. – Vol. 22. - №1. – P. 35 – 38.
34. Stricker G.D., Tripp R.B., Mc Hugh J.B. et al. Gold in the Usibelli Group Coals, Nenana Coal Field, Alaska.// Geologic Studies in Alaska by the US Geological Survey, 1991. - P. 93 - 97.

GOLD IN COALS OF MINUSINSK COAL BASIN

Arbuzov S.I., Ershov V.V., Richvanov L.P., Levitsky V.M.

In this article are examined basic features of gold in coals of Minusinsk basin. It is determined, that average content of gold in coals (2.8 ppb) is close to clarc of this element. It is noticed, that gold enrichment is in plates, which were formed in conditions of stabilization of tectonic regime. It is established, that gold accumulation in singenetical in the process of coal accumulation and it is result of epigenetic processes of oxidation of coal plate. It is supposed, that gold accumulates as its own mineral form and as metal-organic combination.