

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОРОДАХ И КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ КУРСКОЙ СЕРИИ КМА

В. И. Сиротин, Г. В. Войцеховский, В. А. Шатров*

Воронежский государственный университет

*Акционерное общество Рокден Холдинг

Поступила в редакцию 15 сентября 2011 г.

Аннотация. В статье рассматривается поведение благородных металлов (Au, Ag, ЭПГ) в породах и коре выветривания курской серии КМА. Установлено, что содержание благородных металлов в неизмененных выветриванием породах низкое, но превышающее кларковые. Золото связано с железистыми кварцитами, серебро – со сланцами серии. В коре выветривания происходит незначительное обогащение металлами в 1,5–2 раза. Установлено три уровня концентрации металлов в полном профиле глиноземной визейской коры выветривания: нижний, приуроченный к основанию зоны окисления (зоны I), средний, обычно связан с границами зон I и II, II и III, и верхний, связанный с зоной IV (зоной бокситов). Для более древних средне-позднедевонских кор выветривания менее отчетливо проявляются только два уровня: нижний и средний.

Ключевые слова: кора выветривания, благородные металлы, железистые кварциты, сланцы-филлиты, уровни концентрации металлов.

Abstract. The article deals with the behavior of noble metals (Au, Ag, PGE) in the rocks and the residual soil of the kursk series of KMA. It is ascertained that the content of noble metals in the unaltered rock is low, but higher than Clarke. Gold is associated with ferruginous quartzite, silver – with shales of series. In the residual soil is low enriched by metals for 1.5–2 times. There are three levels of metal concentration in the full profile of Visean alumina crust: a lower, confined to the base of the oxidized zone (zone I), the middle is usually associated with the boundaries of zones I–II and II–III, and the upper is associated with a zone IV (bauxite zone). For the older mid-late Devonian residual soil are seen less clearly only two levels: the lower and middle.

Key words: residual soil, noble metals, ferruginous quartzite, fellite-shales, levels of metal concentration

Введение

Золотоносность кор выветривания известна в течение многих веков, но чаще всего она связывалась с зонами окисления колчеданных месторождений (с железными шляпами). Промышленная золотоносность кор выветривания установлена на всех континентах мира (кроме Антарктиды). Если за рубежом эксплуатируются золотоносные латеритные коры выветривания, то в России золотоносные формации связаны главным образом с каолиновыми кора́ми выветривания линейно-карстового типа. Процессы выветривания приводят к высвобождению золота, к его миграции, обогащению и осаждению, новообразованию [1–3]. Кору выветривания КМА изучены достаточно полно и на разных иерархических уровнях (формационном, породном, минеральном и элемент-

ном). В основу статьи положен обширный материал по составу метаосадочных пород курской серии и развитой на них латеритной и железорудной коры выветривания КМА. Всего было отобрано 164 пробы, в том числе по метапесчаникам – 7, сланцам – 50, безрудным кварцитам – 5, железистым кварцитам – 39, коре выветривания по кварцитам – 13, коре выветривания по сланцам – 52 [4].

В ходе изучения элементного состава пород железорудных и бокситовых месторождений КМА [5–7 и др.] удалось собрать базу данных по содержанию золота, серебра и платиноидов. Частично эти данные были опубликованы [4]. Появилась возможность представить свои соображения по проблеме золотоносности, увязав ее со строением коры выветривания, с ее минералогическими и геохимическими особенностями и сделать заключение относительно перспектив золотоносности

изученных кор выветривания. Кроме того, появляется возможность сравнить поведение золота латеритной коры выветривания, где материнским субстратом являются сланцы-филлиты, близкие к черным сланцам, с поведением в сланцевых толщах месторождений типа Мурунтау и Сухого Лога [3, 9, 10].

В статье рассматриваются закономерности содержания этих металлов в различных типах пород серии и корах выветривания. Выбор объектов исследования позволяет провести сравнительный анализ содержаний благородных металлов в коренных породах (сланцах, кварцитах) и в породах коры выветривания в соответствии с принятой для них зональностью.

Методика

Исследованию подлежали штучные пробы неизмененных пород, отобранные вкрест простираения свит курской серии и из различных зон коры выветривания. Определение элементов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ICP (Inductive Coupled Plasma Mass Spectrometry) в лаборатории ИГЕМ РАН (г. Москва) с использованием квадрупольного масс-спектрометра PLASMA QUAD PQ2+TURBO английской фирмы VG Instruments. Используемая навеска – 50 мг. Для большинства образцов применялся полуколичественный «обзорный» анализ на 70 элементов, в том числе и на Au, Ag, элементов платиновой группы (ЭПГ), при возможной ошибке метода до 50 %. Часть определений содержаний благородных металлов выполнено с помощью количественного анализа отдельно от остальных элементов. Пробоподготовка при определении элементов платиновой группы проводилась с предварительным концентрированием платиновых элементов, получением комплексных хлоридов, не содержащих примесей. Для градуировки прибора при определении ЭПГ использован стандартный раствор образца состава пирротиновой руды РП-1. Точность определения ЭПГ в данном диапазоне концентраций – 1–5 %. Контроль правильности методики пробоподготовки проводился по стандартным образцам состава пирротиновых руд: РП-1, РП-2, РП-3, РП-4. При определении золота и серебра пробоподготовка проводилась с использованием «царской водки» и предварительной обработки смесью минеральных кислот. Для градуировки использовались стандартные растворы золота и серебра, выполненные из металлов высокой чистоты. Химические методы исследования

сопровождались изучением вещественного состава пород в шлифах и аншлифах. Выборочно определению ЭПГ контролировались атомно-абсорбционным методом на других объектах [3], но по сходным породам (сланцам) и корам выветривания и дали удовлетворительные результаты.

Обсуждение результатов

Краткая геологическая характеристика курской серии

Курская серия широко развита в пределах юго-западной и центральной части Воронежского кристаллического массива, резко несогласно залегает на различных породах архея, на докурских корах выветривания и продуктах их переотложения, представлена стойленской (нижней) и коробковской (верхней) свитами (рис. 1). В составе *стойленской свиты* выделяют: нижнюю – песчаниковую (прослой, линзы конгломератов и гравелитов в нижней части разреза, фукситовые и мусковитовые метапесчаники в средней части, кварцито-песчаники с разрозненными прослоями кварц-слюдистых сланцев в верхней части); верхнюю – сланцевую, сложенную филлитовидными кварц-мусковитовыми, мусковит-биотитовыми и биотитовыми сланцами. В разрезе свиты наблюдаются маломощные прослой безрудных кварцитов, состоящие преимущественно из кварца, карбонатов, хлорита. *Коробковская свита* представлена железорудными подсвитами – нижней и верхней; сланцевыми подсвитами – нижней (межрудной) и верхней (надрудной). Мощность и состав свиты испытывают значительные вариации, общим является: 1) внутреннее строение железорудных подсвит характеризуется перемежаемостью в разрезе пластов магнетитовых, гематит-магнетитовых, амфибол-магнетитовых, биотит-магнетитовых кварцитов; как правило, в центральных частях железорудных подсвит преобладают магнетитовые и гематит-магнетитовые кварциты, в кровле и подошве – карбонатно-магнетитовые, малорудные и безрудные кварциты; 2) сланцевые подсвиты сложены филлитовидными сланцами кварц-биотитового, кварц-серицитового, кварц-мусковит-биотитового, иногда кварц-карбонатно-слюдяного и кварц-хлорит-серицитового составов, часто слабо углистыми, с примесью пирита, пирротина, реже марказита; надрудная подсвита характеризуется большим, по сравнению с межрудной подсвитой, содержанием органического углеродистого вещества; в пределах Белгородского района КМА надрудная подсвита часто отсутствует в разрезе. Для

пород серии характерен метаморфизм зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций. Мощности серии изменяются от 20 до 2000 м, средняя мощность – 1500 м, время образования серии – 2500–2300 млн лет [5–7].

На породах докембрийского фундамента ВКМ широко развиты разновозрастные коры выветривания [11, 12 и др.], хорошо изученные в пределах ряда бокситоносных и железорудных месторождений КМА [13–15 и др.]. Зональность коры рассматривается по А.П. Никитиной [16], В.И. Сиротину [8, 12, 15], Ю.Ю. Бугельскому и др. [13, 14], А.Д. Савко, А.Д. Додатко [11].

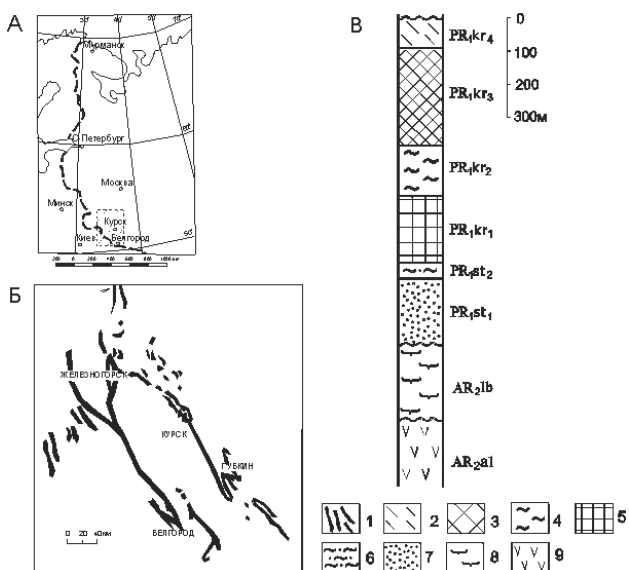


Рис. 1. Географическое положение (А), схема расположения железо-кремнистых формаций КМА (Б), схематическая стратиграфическая колонка (В) докембрийских кристаллических образований [5]. Условные обозначения: I – вызывающие магнитные аномалии железорудные толщи; нижний протерозой: 2–5 – коробковская свита: 2 – верхняя сланцевая подсвита, 3 – верхняя железорудная подсвита, 4 – нижняя (межрудная) сланцевая подсвита, 5 – нижняя железорудная подсвита; 6–7 – стойленская свита: 6 – верхняя сланцевая подсвита, 7 – нижняя метапесчаниковая подсвита; верхний архей – михайловская серия: 8 – лебединская свита – кварцевые порфиры, сланцы; 9 – александровская свита – амфиболиты, часто гранитизированные, переходящие в гранито(мигматито)гнейсы, метапикриты-базальты, metabазальты, метаандезиты

Результаты исследования

Ниже приводятся данные по содержанию благородных металлов для ряда глиноземных и железорудных месторождений КМА.

Коробковское железорудное месторождение

Содержание Au и Ag в породах серии изучено в пределах Стретенской залежи (восточная часть Коробковского месторождения, рис. 2) в образцах, отобранных в шахте им. Губкина. Отмечены следующие особенности содержания этих элементов (табл.1).

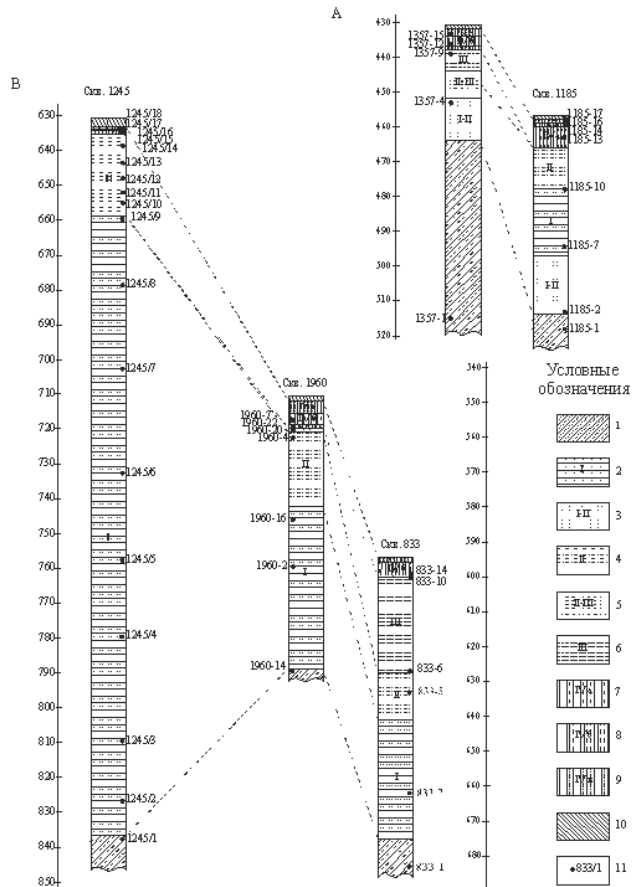


Рис. 2. Разрезы бокситоносной коры выветривания курской серии (Белгородский район КМА): А – бежевый профиль; В – гиббситовый профиль. Условные обозначения: 1 – материнские породы, 2 – зона начального разложения, 3 – интервалы коры выветривания с нечеткими или перемежающимися границами зон, 4 – каолинит-гидросланцевая зона, 5 – интервалы коры выветривания с нечеткими или перемежающимися границами зон, 6 – гидросланцево-каолинитовая зона; латеритная зона, подзоны: 7 – нижняя аллитная, 8 – бокситовая, 9 – верхняя аллитная, 10 – переотложенные породы, 11 – номера образцов

1. **Золото.** Содержания Au в породах терригенных подцветов низкие: в метапесчаниках нижнестойленской подцветы – 0–0,02 г/т, сланцы верхнестойленской подцветы – 0–0,15 г/т; несколько более высокие содержания в сланцах коробковской свиты – 0–0,2 г/т. Сланцы верхней коробковской подцветы, по отношению к сланцам межрудной под-

свиты, имеют более низкие содержания Au – 0,02–0,12 г/т, достаточно равномерное распределение металла в породах. В магнетитовых кварцитах содержание Au составляет – 0–0,5 г/т. Среднее содержание Au для пород терригенных подсвит составляет – 0,05 г/т, для железорудных подсвит – 0,15 г/т.

низкое – 0,3–1,5 г/т (4,2 г/т в одной пробе). Среднее содержание Ag для пород терригенных подсвит составляет 12,3 г/т, для железорудных подсвит – 1,1 г/т.

Лебединское железорудное месторождение

Большая часть разреза серии и кора выветривания по железистым кварцитам изучены в пределах южного и юго-восточного участков Лебединского карьера, сланцы верхней коробковской сланцевой подсвиты – в северной его части. Отмечены следующие особенности содержания Au, Ag, ряда ЭПГ (табл. 2, 3).

1. Золото. Содержания Au в безрудных кварцитах, сланцах, метапесчаниках нижнестойленской подсвиты практически равны 0 г/т; в сланцах верхнестойленской подсвиты – 0–0,08 г/т; в сланцах коробковской свиты Лебединского и Стойло-Лебединского месторождений – 0–0,05 г/т (до 0,2 г/т в отдельных пробах); в железистых кварцитах различного минералогического состава коробковской свиты – 0,01–0,07 г/т (до 1,1–1,4 г/т в отдельных пробах), при более высоких содержаниях в кварцитах средней части разреза подсвит. В коре выветривания распределение Au по разрезу достаточно равномерное, содержание металла как правило больше 1 г/т, вариации – 0,36–1,8 г/т. Среднее содержание Au для пород сланцевых подсвит – 0,03 г/т, для железорудных подсвит – 0,16 г/т, коры выветривания – 1,2 г/т.

2. Серебро. Содержания Ag в породах нижнестойленской подсвиты невысокие – 0–0,5 г/т, при более высоких концентрациях в сланцах (до 2,0 г/т) по отношению к безрудным кварцитам и метапесчаникам; в сланцах верхнестойленской подсвиты – 0,13–5,9 г/т; в сланцах коробковской свиты Лебединского и Стойло-Лебединского месторождений – 0–0,26 г/т (в отдельных пробах – 3–5 г/т); в железистых кварцитах различного состава – 0,2–2,6 г/т, при более высоких содержаниях в кварцитах средней части разреза подсвит; в коре выветривания – 0–1,4 г/т (для одной пробы 16 г/т, что может быть обусловлено ошибкой определения). Среднее содержание Ag для пород терригенных подсвит составляет – 0,61 г/т, для железорудных подсвит – 0,84 г/т, коры выветривания – 0,84 г/т (с учетом аномально высокого содержания в отдельной пробе – 3,36 г/т).

3. Платиноиды. (Спектр определения для различных возрастных подразделений серии различен.) В породах нижнестойленской подсвиты отмечаются крайне низкие содержания Ru, Os, Ir, вариации – 0–0,05 г/т, более высокие концентрации

Таблица 1

Содержание металлов (г/т) в породах курской серии Коробковского месторождения

№ пробы	Подразделение	Порода	Au	Ag
С-1	Нижняя стойленская подсвита	Кварцитопесчаники	0,02	0
С-3			0	0
С-4			0	30,02
С-6			0	0
С-8	Верхняя стойленская подсвита	Мусковит-биотитовые сланцы	0,03	7,13
С-9			0	39,9
С-10			0,15	7,21
С-12			0	14
Н-1	Нижняя коробковская железорудная подсвита	Магнетитовые, силикатно-магнетитовые, гематит-магнетитовые кварциты	0	1,03
Н-2			0	1,05
Н-3			0,1	0,31
Н-4			0,17	1,57
Н-5			0,5	0
Н-6			0,31	1,04
С-13	Нижняя коробковская сланцевая подсвита	Кварц-биотитовые сланцы	0	12,2
С-14			0,14	6,55
С-15			0,17	7,95
С-16			0,24	13,2
С-17			0	12,41
С-18			0	13,43
Н-7	Верхняя коробковская железорудная подсвита	Гематит-магнетитовые, магнетитовые, силикатно-магнетитовые кварциты	0	1,55
Н-8			0,18	0,01
Н-88			0	0,57
Н-9			0	0,81
Н-10			0,28	1,0
Н-11			0,3	4,19
С-19	Верхняя коробковская сланцевая подсвита	Мусковит-биотитовые сланцы	0,12	19,50
С-20			0,04	10,71
С-21			0,02	12,04
С-22			0,02	15,45

2. Серебро. Содержания Ag в терригенных породах серии испытывают значительные вариации: в метапесчаниках большей части разреза стойленской свиты – 0 г/т, в сланцах – 7,1–14 г/т, при высоком содержании (до 40 г/т) в отдельных пробах, что может быть обусловлено ошибкой определения. В сланцах коробковской свиты вариации Ag – 6,5–19,5 г/т, при несколько более высоких содержаниях в породах верхней сланцевой подсвиты. Содержание Ag в магнетитовых кварцитах

Содержание металлов (г/т) в породах курской серии Лебединского и Стойло-Лебединского месторождений

№ пробы	Подразделение	Породы	Au	Ag	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
Н-45	Нижняя стой- ленская подсвита	Безрудные кварциты	0	0,5	0,05	Н.О.	0,54	0,02	0	0,04
Н-46			0	0,08	0,03	Н.О.	2	0	0	0,08
Н-52			0	0	0	Н.О.	0,22	0	0	0,13
Х -1//3		Кварц-сланцевые сланцы	0,04	2	0	Н.О.	0,02	0	0	0
Н-44			0	0,31	0	Н.О.	1,2	0,01	0,02	0,2
Н-47			0	0,29	0	Н.О.	2,6	0	0,01	0,54
Н-49			0	0	0	Н.О.	2,0	0,03	0	0,12
Н-50	Кварцитопесча- ник	0	0	0	Н.О.	1,4	0	0,01	0,05	
10	Верхняя стой- ленская подсвита	Кварц-мусковито- вые сланцы	0,05	0,24	Н.О.	Н.О.	0,09	Н.О.	Н.О.	0
11			0	0,13	Н.О.	Н.О.	0,06	Н.О.	Н.О.	0
12			0,08	5,9	Н.О.	Н.О.	0,19	Н.О.	Н.О.	0
Х-1//1	Нижняя короб- ковская железородная подсвита	Безрудные, слаборудные, си- ликатно-магнети- товые кварциты	0,05	1,3	0	0	0,04	0	0,01	0
Х-2//1			0,01	1,1	0	0	0,04	0,1	0,01	0
Х-3//1			0,04	1,3	0	0,01	0	0	0	0
Х-4//2			0	1,9	0	0	0,13	0	0	0
Х-4//3			0,07	1,7	0	0,01	0,02	0	0	0
71-SH		Магнетитовые кварциты	0	0,2	0	0	0,05	0	0	0
72-SH			0,02	0,79	0	0,01	0,01	0,06	0,04	0,06
73-SH			0,24	1,8	0	0	0,07	0,02	0	0,04
7			0,05	0,13	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
74-SH		Куммингтонит- магнетитовые кварциты	0,03	2,6	0,02	0	0	0,02	0	0
6	0		0	0	0	0	0	0	0	
5	0,05	0,21	0	0	0	0	0	0	0	
61-Ш	Нижняя короб- ковская сланцевая подсвита	Кварц-двуслюдя- ные, кварц-биотито- вые сланцы	0	0	0,01	0	1,5	0,02	0,01	Н.О.
61-Ш			0,04	0	0,02	0	0,74	0	0,02	Н.О.
61-Ш			0,02	0	0	0	0,78	0	0,01	Н.О.
61-Ш			0	0,26	0,01	0	0,81	0	0	Н.О.
61-Ш			0,11	0	0,03	0,1	0	0	0	Н.О.
936-1		Сланцы (Стойло- Лебединское мес- торождение)	0,07	0	Н.О.	Н.О.	0,08	Н.О.	Н.О.	0,02
936-2		0,05	5	Н.О.	Н.О.	0,05	Н.О.	Н.О.	0	
17	Верхняя коробковская железородная подсвита	Магнетитовые, силикатно-магне- титовые, гематит-магнети- товые кварциты	0	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
18			0,02	1,3	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
19			0,04	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
20			0,07	0,67	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
21			0,09	0,1	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
22			0	0,18	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
BE-6			1,1	1,1	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
BE-11			1,4	1,4	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
14-Ш	Верхняя короб- ковская сланцевая под- свита	Кварц-сланцевые, гранат-биотито- вые сланцы	0,19	0	0,06	0,03	0	0,02	0	Н.О.
18-Ш			0,01	0,1	0	0	0,1	0	0	Н.О.
15-Ш			0	0	0,02	0,02	0	0,01	0,01	Н.О.
17-Ш			0	3	0,01	0	3	0,01	0	Н.О.
16-Ш			0,02	0	0,01	0,01	0	0,01	0	Н.О.

Примечание. Н.О. – не обнаружено.

Ru характерны для безрудных кварцитов, Os и Ir – для сланцев; Pd – 0,54–2,6 г/т, Pt – 0–0,54 г/т, при достаточно равномерном распределении в различных типах пород. В сланцах верхнестойленской подсвиты содержание Pd составляет – 0,06–0,19 г/т, Pt – 0 г/т. В сланцах коробковской свиты отмечаются низкие содержания металлов триады Os-Ir-Pt (в единичных пробах не превышают 0,02 г/т) по сравнению с Ru-Ph-Pd, где Ru – 0–0,06 г/т, Ph – 0–0,03 г/т, Pd – 0–0,81 г/т (в единичных пробах 1,5–3 г/т), при более высоких концентрациях платиноидов для сланцев верхней сланцевой подсвиты по отношению к нижней. В кварцитах различного минералогического состава (большинство определений для нижней железорудной подсвиты) отмечаются низкие содержания платиноидов, для единичных проб Pd до 0,13 г/т; Os, Ir, Pt – 0,02–0,06 г/т. Среднее содержание для пород терригенных подсвит составляет: Pd – 0,78 г/т, Os и Ir – 0,005–0,007 г/т, Pt – 0,09 г/т; для железорудных подсвит (все платиноиды) – 0,0n-0,00n г/т.

Таблица 3

Содержание металлов (г/т) в коре выветривания железистых кварцитов Лебединского месторождения

№ пробы	Зона коры выветривания	Порода	Au	Ag
BE-2	Осадочные руды	Рудная конгломерато-брекчия	1,6	1,4
BE-8			0,84	0,67
BE-3	III зона	Охра с окислами и гидроокислами железа	0,36	1,3
BE-9			1,8	0
BE-5	I зона	Трещиноватый железистый кварцит	1,1	0,81
BE-10			1,5	16
BE-6	Материнская порода	Железистый кварцит	0,71	1,1
BE-11			1,2	1,4

Латеритные (бокситовые) месторождения КМА

Для сравнения приводятся два типовых разреза (рис. 4 и 5) Яковлевского железорудного и бокситового (латеритного) месторождения (КМА) и Апрельского золоторудного месторождения (Салаирский кряж). Такое сравнение продиктовано рядом причин: во-первых, Апрельское, Егорьевское и другие месторождения – это почти единственные объекты в России, где затронуто поведение золота в коре выветривания; во-вторых, материнскими породами кор выветривания на обоих месторождения являются сланцы-филлиты, содержащие углеродистое вещество; в-третьих, поверхность вырав-

нивания на КМА и Салаире осложнена карстовыми процессами; в-четвертых, коры выветривания имеют длительную историю формирования: на КМА, начиная со среднего девона до визе включительно; на Салаире, начиная со среднего триаса до позднего мела (альба-сеномана), до палеогена, а в некоторых случаях и до начала неогена. Но, пожалуй самое главное, золотоносные коры выветривания Салаира представляют прекрасный эталон для сравнения. Коэффициент концентрации золота в коре выветривания филлитов не превышает 2, но может резко увеличиваться, если в материнском субстрате увеличивается содержание сульфидов (в первую очередь пирита), кроме того, концентраторами золота являются барит и кварц, а в коре выветривания – глинистые минералы и особенно – бурые железняки. В глиноземной коре выветривания КМА распространены те же минералы (кроме барита) – возможные концентраторы золота: гидрослюда, каолинит, гётит, гидрогётит, гематит, кварц (в зоне I)

Содержание благородных металлов в терригенных породах курской серии и коре выветривания по ним изучено для ряда месторождений бокситов в пределах Белгородского железорудного района КМА (Яковлевское, Висловское и другие месторождения) [8, 12, 15] (рис. 2, 3). Определены следующие особенности содержания Au, Ag, ряда ЭПГ (табл. 4).

1. **Золото.** Содержание Au в сланцах и метапесчаниках серии незначительно – 0–0,5 г/т (2,31 г/т в единичной пробе сланца); в коре выветривания – 0–0,7 г/т, достаточно однородное. Среднее содержание Au для пород терригенных подсвит – 0,33 г/т, коры выветривания – 0,17 г/т.

2. **Серебро.** Содержание Ag в терригенных породах серии и корах выветривания по ним, по сравнению с Au, испытывает значительные большие вариации: в сланцах и метапесчаниках – 0–4,8 г/т, в коре выветривания – 0–14 г/т. Среднее содержание Ag для пород терригенных подсвит – 1,67 г/т, коры выветривания – 2,07 г/т.

3. **Платиноиды.** (Спектр определения для различных скважин возрастных подразделений различен.) Содержания определенных платиноидов сильно варьируют. В терригенных породах: Pd – 0,1–1,76 г/т; Ir – 0,02 г/т, Pt – 0–0,5 г/т; в коре выветривания: Pd – 1,01–6,88 г/т; Ir – 0,01–0,13 г/т, Ru – 0–0,11 г/т; Rh – 0–0,01 г/т. Среднее содержание платиноидов для пород терригенных подсвит: Pd – 0,69 г/т, Pt – 0,2 г/т; коры выветривания: Pd – 2,73 г/т, Ir – 0,09 г/т, Ru и Rh – 0,05 и 0,006 г/т (соответственно).

Содержание металлов (г/т) в глиноземной коре выветривания сланцев курской серии КМА

№ пробы	Зона коры выветривания		Au	Ag	Ru	Rh	Pd	Ir
Мелехово-Шебекинское месторождение								
1960-7	IV зона	Средняя часть	0,05	14	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1960-22		Нижняя подзона	0,06	1,2	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1960-20	III зона		0,03	5,9	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1960-4	II зона		0,08	1,6	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1960-16	I зона		0,02	0,95	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1960-2			0	5,6	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1960-14	Кварц-серицит-биотитовый сланец		0,04	0,24	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
Висловское месторождение								
833-14	IV зона	Верхняя подзона	0,3	1,41	0,04	0	2,02	0,1
833-10		Средняя часть	0,63	2,53	0,03	0,01	3,45	0,09
833-6	III зона		0,35	3,45	0,11	0,01	6,88	0,13
833-5	II зона		0,29	4,53	0	0,01	6,29	0,11
833-2	I зона		0,01	0,36	0,07	0	2,87	0,01
833-1	Углисто-кварц-слюдяной сланец		0,5	1,16	0	0	1,76	0,02
Ольховатский участок								
1357-15	IV зона	Верхняя подзона	0,25	1,1	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1357-12		Средняя часть	0,04	0,32	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1357-9	III зона		0,06	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1367-4	I-II зона		0,07	0,25	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1357-1	Невыветрелый сланец		0,01	4,8	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1185-17	Осадочные руды		0,1	10,9	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1185-16	IV зона		Верхняя подзона	0,2	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1185-14			Средняя часть	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1185-13			Нижняя подзона	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1185-10	II зона		0,1	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1185-7	I зона		0,43	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1185-2			0	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1185-1	Углисто-кварц-биотит-серицитовый сланец		2,31	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
Игуменский участок (Висловское месторождение)								
1245-18	IV зона	Средняя часть	0,39	4,36	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-17			0,06	1,4	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-16		Нижняя подзона	0	1,59	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-15			0	0,22	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-14	II зона		0,11	0,48	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-13			0,39	0,95	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-12			0,13	0,32	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-11			0,13	0,4	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-10			0,19	0,06	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-9	I зона		0,02	0,02	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-8			0,01	0,01	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-7			0,63	0,63	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-6			0,28	0,28	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-5			0,34	0,34	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-4			0,1	0,1	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-3			0	0	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-2			0,7	0,7	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.
1245-1	Кварц-биотитовый сланец		0,25	0,25	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.

Примечание. Н.О. – не обнаружено.

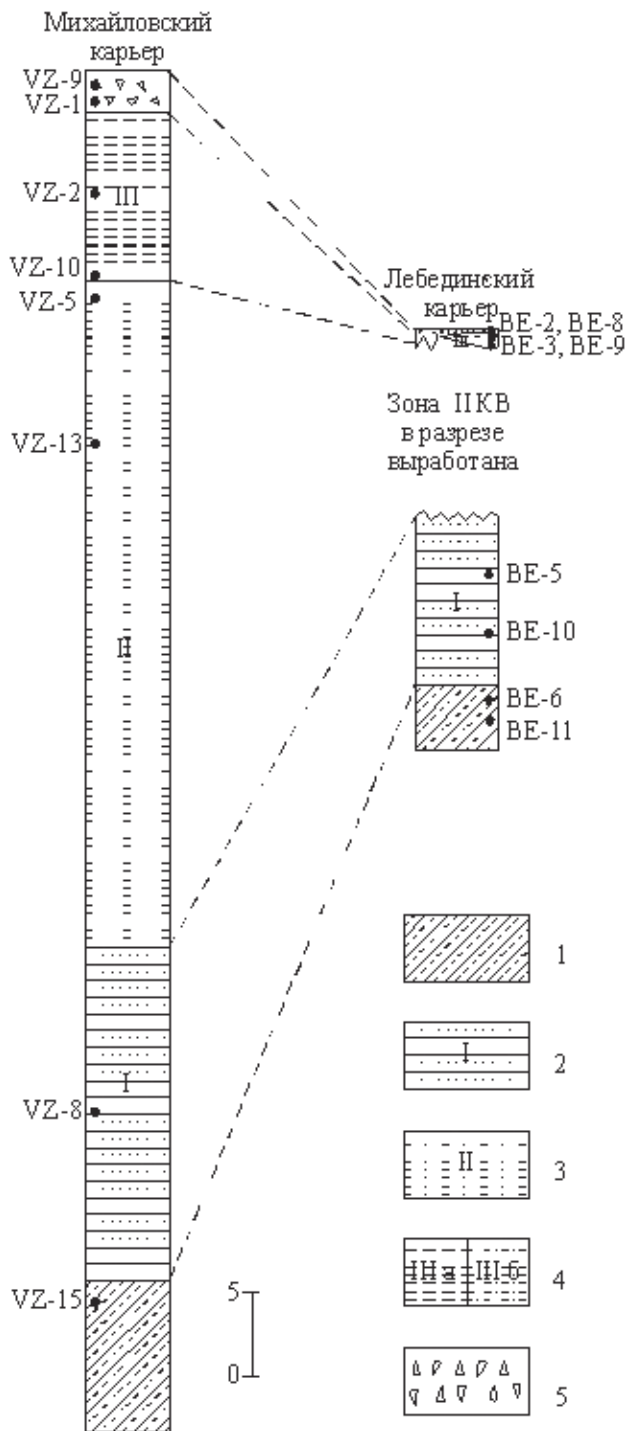


Рис. 3. Разрезы коры выветривания железистых кварцитов. Условные обозначения: 1 – неизмененные железистые кварциты магнетит-гематитового состава; зоны коры выветривания (КВ): 2 – трещиноватые железистые кварциты (зона I КВ), 3 – мартит-гематитовые породы (зона II); 4 – зона III: а – богатые железные руды мартит-гематитового состава, б – охры; 5 – осадочные железные руды

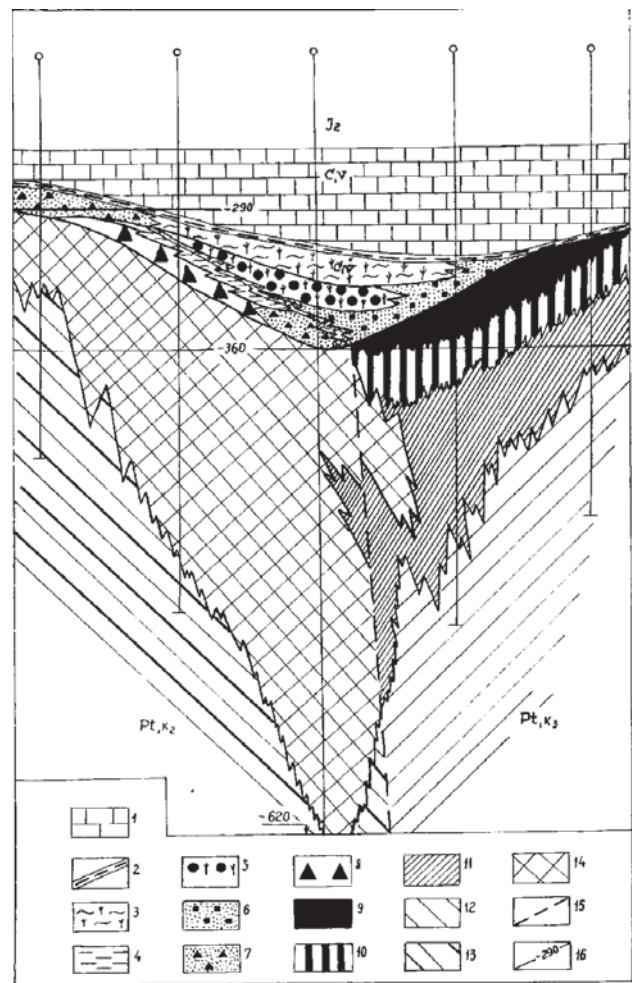


Рис. 4. Строение (разрез) Яковлевского железорудного и бокситового месторождения: 1 – визейские известняки, 2 – глины, в т.ч. углистые, в подошве визейских известняков, 3 – глины каолиновые, в т.ч. «сахарные», шамозит-каолиновые с автохтонными растительными остатками, 4 – глины каолиновые, шамозит-каолиновые, 5 – бокситы тонкодисперсные красные, иногда белые безжелезистые с автохтонными растительными остатками, 6 – бокситовые породы с обломками бокситов-латеритов, 7 – железорудные конгломератобрекчии, мелкообломочные, переходящие в железорудные гравелиты, 8 – железорудные брекчии, слабосортированные с железисто-шамозитовым цементом; кора выветривания железистых кварцитов и сланцев: 9 – бокситы-латериты (зона бокситов), 10 – гидрослюдисто-каолиновые бескварцевые породы (зона III), 11 – каолинисто-гидрослюдистые и гидрослюдистые бескварцевые породы (зона II), 12 – окисленные слабоизмененные кварц-серицитовые сланцы (материнские породы), 13 – железистые кварциты, слабо окисленные (зона I), 14 – богатые железные руды («синька») железнослудково-мартитовые (зона II–IV), 15 – тектоническое нарушение, 16 – абсолютные отметки

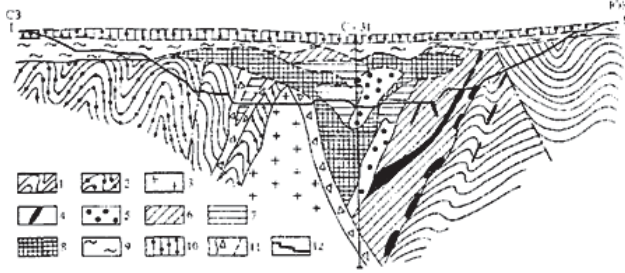


Рис. 5. Геологический разрез коры выветривания Апрельского месторождения по линии I–I [13]: 1 – выветрелые кварц-серицитовые сланцы, 2 – выветрелые углистые сланцы, 3 – выветрелые эффузивы и их туфы, 4 – залежи бурых железняков, 5–9 – глины: 5 – красноцветные бокситоносные, 6 – красноцветные, 7 – белые каолиновые некондиционные, 8 – белые каолиновые огнеупорные, 9 – каолиновые переотложенные; 10 – аллохтонные лёссовидные суглинки, 11 – тектонические нарушения и зоны дробления, 12 – дно карьера

Обсуждение результатов

Распределение благородных металлов в породах курской серии и корах выветривания по ним имеет следующие особенности.

1. **Золото.** Содержание Au в породах серии низкое (0,0n–0,п г/т), но выше кларкового значения (табл.4). Средние содержания Au в железистых кварцитах различного минерального состава составляют – 0,п г/т (в единичных пробах 1,1–1,4 г/т), что превышает в 1,5–5 раз средние содержания металла в терригенных породах серии. Распределение металла более равномерное по разрезу железорудных подцвет по сравнению со сланцевыми. В коре выветривания происходит увеличение содержания Au в 2–3 раза по отношению к материнским породам, хотя отмечено в единичных пробах и уменьшение содержания металла для отдельных проб в коре выветривания по отношению к исходной породе. Содержание Au в коре зависит от первоначального содержания металла в материнской породе: на Лебединском месторождении при изначально более высоком содержании Au в железистых кварцитах (0,71–1,2 г/т), среднее для коры – 1,2 г/т; на Михайловском месторождении при содержании Au в железистом кварците – 0,02 г/т, среднее для коры – 0,035 г/т (табл. 3, 5). Средние содержание Au в коре выветривания кварцитов (0,57 г/т) и сланцев (0,17 г/т) соответствуют перво-

начальному соотношению содержания Au в материнских породах (железистых кварцитах, терригенных породах). В коре выветривания различных пород курской серии (особенно сланцев) характерны высокие концентрации Au не только в верхней IV зоне, но в нижних зонах коры (I, II, особенно вблизи границ материнской породы с зоной I и зон I и II), что обусловлено двухэтапным формированием глиноземной коры выветривания: окислением железистых минералов на первом этапе формирования [8, 12, 15, 16] и уровнем стояния (зеркалом) грунтовых вод на последующих этапах.

2. **Серебро.** Содержание Ag в породах серии и корах выветривания испытывает значительные вариации, часто достигают п и более г/т. Высокое содержание металла в отдельных пробах может быть связано с высокой способностью Ag входить в решетку минералов, изоморфно замещать халькофилы в алюмосиликатах, минералах железа. Содержание Au в породах серии выше кларкового (табл. 4), средние содержания для изученных разрезов: терригенные породы – 4,32 г/т, железистые кварциты – 1,63 г/т. Ag, в отличие от Au, в большей мере образует высокие концентрации в терригенных породах по сравнению с кварцитами. В коре выветривания концентрация Ag увеличивается в 2–3 раза по отношению к материнским породам (но в отдельных пробах наблюдаются незакономерно низкие содержания металла). Общим для кор выветривания сланцев и кварцитов является тенденция увеличения содержания Ag в верх по разрезу, с максимально высокими концентрациями в верхних зонах коры.

3. **Платиноиды.** Спектр определенных платиноидов в породах серии и коре выветривания по ним незначителен. Наиболее представительны определения Pd, средние содержания которого в сланцах – 0,79 г/т, кварцитах – 0,03 г/т, коре выветривания по сланцам – 2,73 г/т. Максимальные содержания Pd приходятся на нижние зоны коры (I–III), в осадочных рудах концентрация снижается. Для Pd, как и для Au, наблюдаются те же тенденции (табл.4): достаточно равномерное распределение по разрезу; вариации концентраций в разрезе коры; накопление в коре, превышающее содержание в материнской породе в несколько раз. Более высокие содержания в сланцах по отношению к кварцитам

Таблица 5

Кларки элементов платиновой группы, золота и серебра в земной коре [4,18]

Элементы	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Au	Ag
Земная кора, мг/т	5	1	13	50	1	5	4,3	70
Земная кора, масс. %	5×10^{-7}	1×10^{-7}	13×10^{-7}	50×10^{-7}	1×10^{-7}	5×10^{-7}	43×10^{-8}	70×10^{-7}

отмечается и для Pt: среднее для сланцев – 0,13 г/т, кварцитов – 0,009 г/т. Распределение Ru, Rh, Ir в коре выветривания сланцев (табл. 4) равномерно по разрезу, максимальные концентрации приурочены к нижним зонам коры выветривания.

Благородные металлы содержатся как в самих железистых кварцитах, и в большей мере в окисленных железнослюдковых (гематитовых) их разновидностях, так и в широко развитых среди железорудных толщ золото-платиносодержащих кварцевых, кварц-сульфидных зонах минерализации, в пирит-пирротиновых участках и метасоматитах на контакте железистых кварцитов и сланцев [8, 17].

Основная форма нахождения благородных металлов представляет собственно минеральные фазы: достоверно установлены самородное золото, самородный палладий, палладистое золото, самородный осмий, сперрелит и др. Кроме этого, золото установлено в магнетите, гематите, пирите, амфиболе и кальците. В жильном кварце наряду с золотом присутствуют палладий и платина. Платина и палладий отмечаются также в пирите и марказите [8, 18]. Достоверность приведенных содержаний благородных металлов подтверждается близкими значениями определенных концентраций благородных металлов в сланцах и железистых кварцитах КМА [17]. Например, в корях выветривания железистых кварцитов установлено присутствие золота и ЭПГ. В богатых маргитовых рудах северной части Михайловского месторождения установлено присутствие (г/т): Au – 0,017, Pt – 0,02, Pd – 0,031, Rh – 0,004, Ru – 0,02, Ir – 0,02, Ag – 0,10. В подстилающих окисленных железистых кварцитах установлено (г/т): Au – 0,01, Pt – 0,02, Pd – 0,036, Rh – 0,004, Ru – 0,02, Ir – 0,02, Ag – 0,056.

Для образца магнетитового кварцита М-2 были выделены магнитная (магнетит) и немагнитная фракции (кварц, эгирин, селадонит, рибекит). Содержания Au и Ag в них практически одинаковы, что подтверждает нахождение благородных металлов в виде тонкой вкрапленности.

Заключение

Изучение распределения благородных металлов в породах курской серии и коре выветривания по ним позволяет сделать некоторые выводы.

1. Кору выветривания наследуют минеральные и геохимические особенности материнских пород: а) повышенные концентрации Au, установленные в коре выветривания железистых кварцитов, значительно превышают кларковые, но максимальная концентрация отмечается в средней части зоны IV,

повышены содержания Ag и в осадочных железных рудах (брекчиях и конгломератах); б) в корях выветривания намечается несколько уровней концентрации благородных металлов: низкий, приуроченный к контакту материнских пород и зоны I (зона окисления), средний, приуроченный к границам зон (I и II, II и III), и верхний, соответствующий зоне IV. Скорее всего, эти уровни соответствуют зеркалу древних грунтовых вод.

2. Определенные содержания благородных металлов в породах курской серии и корях выветривания достаточно низкие в то же время, учитывая равномерное распределение серебра и платиноидов при большом объеме добычи железистых кварцитов и богатых железных руд, а в обозримом будущем и бокситов возможна их комплексная добыча.

3. Возвращаясь к результатам изучения поведения золота месторождений Мурунтау и Сухой Лог, дополненных экспериментами [1–3], можно заключить, что золото может переходить в раствор с образованием горизонтов вторичного обогащения в результате осаждения. При этом максимальное обогащение приурочено к древнему палеоуровню грунтовых вод, залегающему в основании зоны окисления [2] и (менее четко) к границам вышележащих зон.

Установлено также, что растворение золота происходит в средах, содержащих галоиды, серно-кислые соли щелочных металлов и специфические бактерии, наиболее быстро оно происходит в присутствии сильных окислителей, таких как атомарный кислород и фтор, оксиды металлов, особенно марганца, железа и меди [1–3], что подтверждается и составом современных гидротерм на дне Мирового океана [19]. Приведенные данные по поведению Au и Ag и платиноидов согласуются с исследованиями, приведенными в монографии А. Д. Савко [20, 21].

ЛИТЕРАТУРА

1. Росляков Н. А. Условия гипергенной миграции и концентрации золота / Н. А. Росляков [и др.] // Геология и геофизика. – 1977. – № 6. – С. 99–108.
2. Росляков Н. А. Золото в линейно-карстовых корях выветривания Салаира / Н. А. Росляков [и др.] // Поведение рудоносных элементов в опорных профилях выветривания. – Новосибирск, 1982. – С. 41–60.
3. Росляков Н. А. Золотоносность кор выветривания Салаира / Н. А. Росляков [и др.] // РАН, НИЦ ОГГТМ. – Новосибирск, 1995. – 170 с.
4. Шатров В. А. Золото и серебро в породах и корях выветривания курской серии / В. А. Шатров [и др.] // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в

истории Земли : материалы 5-го Всероссийского совещания. – Екатеринбург, 2008. – С. 414–416.

5. Железные руды КМА. – М. : Геоинформмарк, 2001. – 616 с.

6. *Плаксенко Н. А.* Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии (на примере КМА) / Н. А. Плаксенко. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 1966. – 263 с.

7. *Щеголев И. Н.* Железорудные месторождения докембрия и методы их изучения / И. Н. Щеголев. – М. : Недра, 1985. – 197 с.

8. *Сиротин В. И.* Особенности изотопии серы, поведения лантаноидов и микроэлементов в пиритах и марказитах Воронежской антиклизы / В. И. Сиротин [и др.] // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2000. – № 5 (10). – С. 47–52.

9. Коры выветривания Сибири. – М. : Недра. – 1979. – Кн. 1. – 220 с.; Кн. 2. – 249 с.

10. *Кулебакин В. Г.* О роли тионовых бактерий в гипергенной миграции и концентрации золота / В. Г. Кулебакин [и др.] // Геология и минералогия рудных месторождений Сибири. – Новосибирск : Наука, 1977. – С. 75–86.

11. *Савко А. Д.* Коры выветривания в геологической истории Восточно-Европейской платформы / А. Д. Савко, А. Д. Додатко. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1991. – 232 с.

12. *Сиротин В. И.* О некоторых особенностях формирования древних латеритных коп выветривания (на примере КМА) / В. И. Сиротин // Поведение рудогенных элементов в опорных профилях выветривания. – Новосибирск, 1982. – С. 111–121.

13. *Бугельский Ю. Ю.* Рудные формации латеритных кор выветривания / Ю. Ю. Бугельский, И. В. Витовская,

А. П. Никитин // Кора выветривания как источник комплексного минерального сырья. – М., 1988. – С. 48–54.

14. *Бугельский Ю. Ю.* Экзогенные рудообразующие системы кор выветривания / Ю. Ю. Бугельский, И. В. Витовская, А. П. Никитин. – М. : Наука, 1990. – 244 с.

15. *Сиротин В. И.* Стадиальный анализ древней глиноземной коры выветривания КМА / В. И. Сиротин // Проблемы образования коры выветривания и экзогенные месторождения. – М. : Наука, 1980. – С. 239–253.

16. *Никитина А. П.* Древняя кора выветривания кристаллического фундамента Воронежской антеклизы и ее бокситоносность / А. П. Никитина. – М. : Наука, 1968. – 160 с.

17. *Чернышов Н. М.* Кшенский тип золото-платиносодержащего оруденения (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2004. – № 1. – С. 104–116.

18. *Додин Д. А.* Платинометалльные месторождения России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Б. А. Яцкевич. – СПб. : Наука, 2000. – 755 с.

19. *Бутузова Г. Ю.* Гидротермально-осадочное рудообразование в Мировом океане / Г. Ю. Бутузова. – М. : ГЕОС, 2003. – 156 с.

20. *Зинчук Н. Н.* Историческая минерагения : в 3 т. / Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырев. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета. – 2005. – Т. 1. Введение в историческую минерагению. – 590 с.

21. *Зинчук Н. Н.* Историческая минерагения : в 3 т. / Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырев. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета. – 2007. – Т. 2. Историческая минерагения древних платформ. – 570 с.

Воронежский государственный университет

В. И. Сиротин, заведующий кафедрой общей геологии и геодинамики, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ

Тел. 8 (473) 220-86-82

ogg@geol.vsu.ru

Г. В. Войцеховский, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и геодинамики

Тел. 8 (473) 220-86-82

ogg@geol.vsu.ru

АО Рокден Холдинг

В. А. Шатров, доктор геолого-минералогических наук, ведущий геолог

Тел. 8-915-541-82-53

shatr65@mail.ru

Voronezh State University

V. I. Sirotin, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of General Geology and Geodynamics Chair, Honored Worker of Higher School of Russia

Tel. 8 (473) 220-86-82

ogg@geol.vsu.ru

G. V. Voitzekhovsky, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Chair of General Geology and Geodynamics

Tel. 8 (473) 220-86-82

ogg@geol.vsu.ru

AC Rocden Holding

V. A. Shatrov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, leading geologist

Tel. 8-915-541-82-53

shatr65@mail.ru