

ПРОЯВЛЕНИЕ БОКСИТОВ НА ШЕМРАЕВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ БЕЛГОРОДСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО РАЙОНА (КУРСКАЯ МАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ)

И. И. Никулин^{*,1} , Н. М. Боева¹ 

¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

* **Контакт:** Иван Иванович Никулин, iinikulin@gmail.com

Аннотация: В работе представлены результаты первых комплексных исследований геолого-геохимических особенностей формирования бокситов в коре выветривания пород протерозойской курской серии в пределах Шемраевского месторождения богатых железных руд. Применение комплекса современных методов (рентгенофазовый анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, ICP-MS масс-спектрометрия, петрографические и минералогические исследования) позволило установить, что образование бокситов происходило по филлитовидным сланцам в условиях умеренной латеритизации, сопровождавшейся интенсивным выносом кремнезёма. Сравнительный анализ геохимических данных и построение дискриминационных диаграмм выявили многостадийный характер процесса бокситообразования. Накопление глинозёма осуществлялось *in situ*, благодаря высокой проницаемости преобразованных пород курской серии и воздействию метеорных вод. Установлена обратная корреляция между содержанием глинистых минералов и интенсивностью латеритизации, что указывает на их формирование в различные временные этапы. Выявленное проявление классифицируется как ферриаллитовая кора выветривания. Обнаружение бокситоносных проявлений в данной части Курской магнитной аномалии (КМА) свидетельствует о высоком потенциале для выявления новых месторождений бокситов на юге КМА.

Ключевые слова: бёмит, гипбсит, кора выветривания, Курская серия, Шемраевское месторождение, Белгородский рудный район, латеритизация, ферриаллитовая кора

Цитирование: Никулин И. И. и Боева Н. М. Проявление бокситов на Шемраевском месторождении Белгородского железорудного района (Курская магнитная аномалия) // Russian Journal of Earth Sciences. — 2026. — Т. 26. — ES3004. — DOI: 10.2205/2026es001079 — EDN: ITRKFH

1. Введение

Возрастающие потребности промышленности в высокотехнологичных металлах, в том числе в алюминии, актуализируют проблему расширения и обеспечения их минерально-сырьевой базы [Бортников и др., 2016]. Бокситы остаются основным сырьём для производства глинозёма, что определяет стратегическую важность задач по расширению и улучшению их ресурсной базы, включая прогнозирование и поиски новых месторождений на территории Русской платформы [Никулин и др., 2021].

В пределах Курской магнитной аномалии (КМА) бокситы приурочены к коре выветривания (КВ) сланцев-филлитов Курской и Оскольской серий протерозоя [Сиротин, 1966]. Среди них выделяются месторождения с гипбситовыми (Ольховатское) и бёмитовыми (Висловское) бокситами [Никитина и Алексеева, 1974]. Традиционная модель их формирования предполагает, что гипбситовые породы являются первичными, а бёмитовые – вторичными, образованными в условиях заболачивания [Никитина и Алексеева, 1974; Сиротин, 1966], что согласуется с кинетическими принципами последовательного образования метастабильных (гипбсита) и стабильных (бёмита, диаспора) фаз [Liu et al., 2023; Yesavage et al., 2012].

RESEARCH ARTICLE

<https://elibrary.ru/ITRKFH>

Получено: 3 сентября 2025 г.

Принято: 5 ноября 2025 г.

Опубликовано: 22 июля 2026 г.



© 2026. Коллектив авторов.

В настоящей работе Шемраевское месторождение, которое десятилетиями рассматривалось исключительно как объект богатых железных руд (БЖР), представлено как комплексное, на котором выявлены проявления бокситов. Наши исследования показали, что гиббситовые разновидности бокситов залегают в верхней части разреза, что противоречит классической модели и указывает на контроль минерального состава со стороны химического состава вод и условий дренажа [Tardy and Nahon, 1985]. Также актуализируется вопрос о роли каолинита, формирование горизонта которого, по нашему мнению, обусловлено нисходящими потоками вод, влияющими на перенос элементов и минералообразование [Braun et al., 2016].

Впервые для Шемраевского месторождения выявлены и охарактеризованы геолого-геохимические особенности проявления бокситов и предложена модель их образования.

2. Геологическая позиция объекта исследования

В тектоническом отношении КМА – это мегантиклинорий со сложным складчато-блоковым строением. Белгородский бокситоносный район приурочен к Белгородскому синклинию (структуре второго порядка), в составе которого выделяются Белгородская грабен-синклиналь, Корочанско-Большетроицкая синклиналь и разделяющая их Алексеевско-Лодеевская антиклиналь (структуры третьего порядка). Известные месторождения бокситов приурочены к Белгородской, Ольховатской и Яковлевской синклиналям и Мелихово-Шебекинской антиклинали (структурам четвёртого порядка) (рис. 1) [Никулин, 2024].

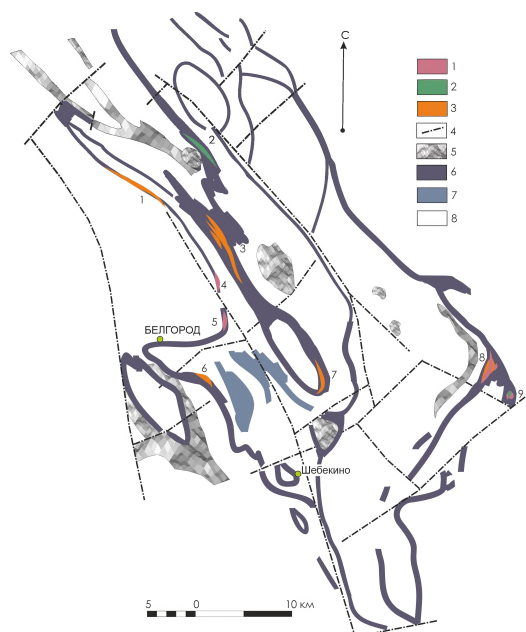


Рис. 1. Схема распространения месторождений и проявлений бокситов в Белгородском рудном районе КМА по [Никулин, 2024]: 1 – бёмитовый тип; 2 – гиббситовый тип; 3 – бёмит-гиббситовый (нерасчленённый) тип; 4 – тектонические нарушения; 5 – комплекс магматических формаций; 6 – породы курской серии; 7 – породы оскольской серии; 8 – комплекс верхнеархейских образований. Подписи к месторождениям и проявлениям бокситов: 1 – Яковлевское; 2 – Ольховатское; 3 – Гостищевское; 4 – Висловодское; 5 – Южно-Висловодское; 6 – Белгородское; 7 – Шебекинское; 8 – Большетроицкое; 9 – Шемраевское.

В юго-восточной части КМА выделяется Белгородская грабен-синклиналь, которую дугообразно окаймляет Большетроицкая синклиналь. С последней связаны Большетроицкое и Шемраевское месторождения БЖР. Исследованные интервалы КВ с признаками бокситоносности развиты по палеопротерозойским породам курской серии в пределах Шемраевского месторождения БЖР (южная часть КМА) [Никулин,

2024]. Отличительной чертой месторождения является широкое распространение в железистых кварцитах гематита и тетраферрибиотита, преобладание эгирина над рибекитом и присутствие карбонатов исключительно в виде ферродоломита [Савко и Поскрякова, 2004]. КВ имеет субмеридиональное простирание шириной 250–800 м и разделена двумя сланцевыми зонами, что подчеркивает ее значительный эрозионный срез и остаточный характер (рис. 2). Мощная залежь БЖР связана с КВ железистых кварцитов верхней железорудной подсвиты, содержащей филлитовидные сланцы мощностью 0,2–4,6 м [Никулин, 2024]. Первичная структура КВ отчетливо прослеживается в нижней части разреза по пласту лимонит-гётитовых руд, выполняющему маркирующую роль (рис. 3). Бёмитоносные руды слагают мульдовидное тело с крутыми бортами, а нижняя граница распространения бёмита маркирует смену аллитной (бёмит, гиббсит) составляющей на сиаллитную (каолинит, шамозит, гидрослюда). Линзообразное тело гиббситовых руд имеет секущее залегание относительно бёмитоносного и выклинивается к юго-западу.

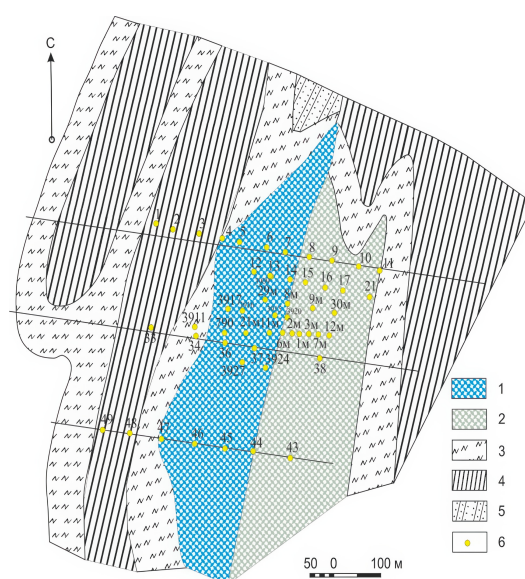


Рис. 2. Геологическая схема Шемраевского месторождения: 1 – КВ; 2 – сильноокисленные железистые кварциты; 3 – железистые кварциты; 4 – сланцы; 5 – метапесчаники; 6 – геологоразведочные скважины.

3. Образцы и методы исследований

Образцы пород для исследований были отобраны из керна геологоразведочных скважин. Производилось изучение прозрачных шлифов и аншлифов в проходящем и отраженном свете (NIKON Microphot FX-A и Leica Wild MPS52, Полам Р-312 с комплексом OLYMPUSBX51) и биноклем (NIKON SMZ-U).

Минеральный состав определялся на дифрактометре ARL X'TRA (Co K-альфа излучение) и дифрактометре Rigaku Ultima IV (CuK α , K β фильтр – Ni) с однокординатным полупроводниковым детектором D/TeX (Наноцентр Белгородского национально-исследовательского университета (БелГУ)).

Электронная микроскопия и микрорентгеноспектральный анализ проводились на электронном микроскопе Jeol 6380 LV (в Воронежском государственном университете (ВГУ)) и SUPRA 50 VP (Наноцентр БелГУ) методом отражённых электронов. Определение состава минералов в шлифах проводилось при помощи энергодисперсионного анализатора Inka-250 с локальным рентгеноспектральным анализом (2–5 мкм) элементного состава (микрозонд) с помощью системы OXFORD INS (в ВГУ).

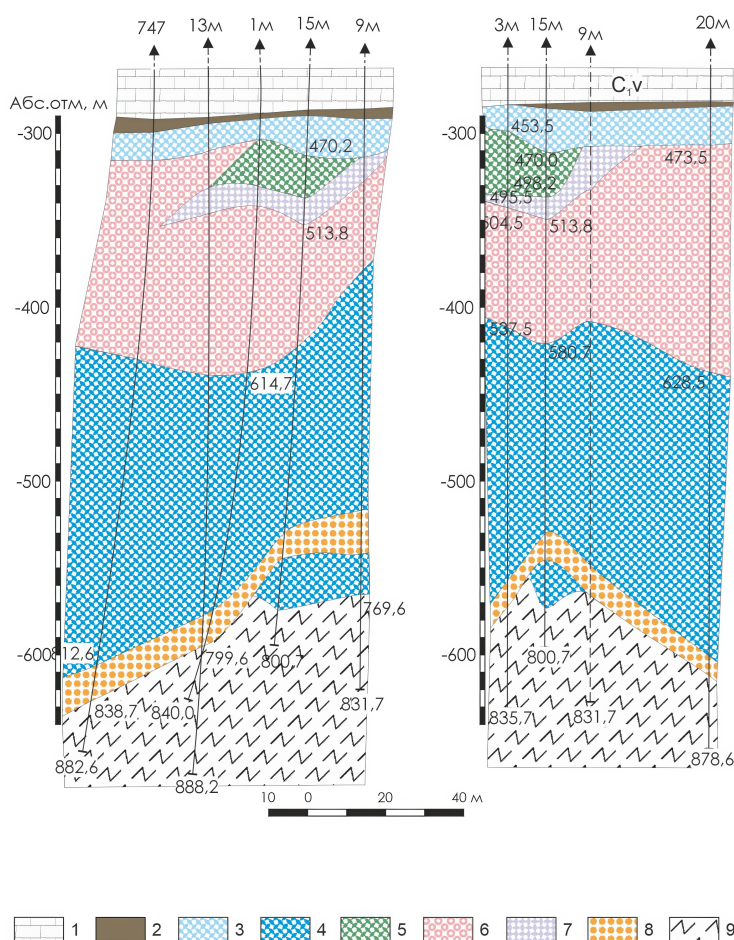


Рис. 3. Геологические разрезы проявлений бокситов на Шемраевском месторождении: 1 – визейские известняки; 2 – переотложенные БЖР; 3 – в разной степени сидеритизированные БЖР; 4 – рыхлые БЖР; 5 – гиббситизированные филлитовидные междурудные сланцы; 6 – бёмитизированные филлитовидные междурудные сланцы; 7 – гиббсит-бёмитовые железные руды; 8 – лимонит-гётитовые руды; 9 – сильноокисленные железистые кварциты коробковской свиты.

Химический состав образцов определялся по методикам Научного совета по аналитическим методам исследований Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н. М. Федоровского спектрофотометрическим, атомно-абсорбционным и титриметрическим методами анализа на приборах Agilent 8567g, DL-22, СФ-26, С-302 (в ООО «Белгородгеология»). Образцы высушивали при 110°C. Пробоподготовку проводили методом плавления с боратами лития с последующим прессованием в таблетки с пластиковым наполнителем. Потери при прокаливании (ППП) устанавливали гравиметрическим методом после прогрева навесок при 950°C. Для исследования распределения редких и редкоземельных элементов использовался метод индуктивно связанной плазмы масс-спектрометрии (ICP-MS, спектрометр X-7 Thermo Scientific (USA)) (НИЦ «Курчатовский институт»).

Для оценки интенсивности выветривания рассчитаны химический (CIA) и минералогический (MIA) индексы изменений по формулам [Nesbitt and Young, 1982; Price and Velbel, 2003]. Эти показатели получены по следующим формулам:

$$\text{CIA} = \left[\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}} \right] \times 100,$$

$$\text{MIA} = 2 \times (\text{CIA} - 50).$$

Обработка данных проводилась в Excel, построение диаграмм – в SigmaPlot 11.1, графическое оформление – в CorelDraw.

4. Результаты исследований

4.1. Минеральный состав

Рентгенофазовый анализ подтвердил наличие бёмита (основные рефлексы 6,11; 3,16; 2,34 Å) и гиббсита (4,82; 4,35; 3,35 Å). Содержание бёмита достигает 19 мас. %, гиббсита – 27 мас. % (табл. 1). Верхняя часть профиля характеризуется высоким содержанием гематита (до 56,3 мас. %), умеренным – гиббсита (до 27,0 мас. %) и каолинита (до 10 мас. %), содержание которого возрастает к подошве. Нижняя часть профиля сложена преимущественно бёмитовыми рудами (до 70 мас. %) с высоким содержанием гематита и каолинита, увеличивающегося к кровле.

Таблица 1. Минеральный состав (в мас. %) в изученных пробах по данным рентгенофазового состава

№	Скв./глуб., м	Гематит (мартит), гетит	Шамозит	Карбонат	Бёмит	Гиббсит	Каолинит
1.	1м/454,8	51,4	след.*	не обн.	не обн.	18,8	29,7
2.	1м/495,9	79	не обн.**	не обн.	5,5	1,0	не обн.
3.	1м/499,3	72,6	не обн.	не обн.	9	не обн.	5
4.	1м/508,7	81,5	не обн.	не обн.	2,8	не обн.	не обн.
5.	1м/509,5	71,4	2,7	не обн.	след.	не обн.	не обн.
6.	1м/517,5	57,1	1,8	не обн.	14	не обн.	след.
7.	1м/518,6	70	не обн.	29	след.	не обн.	не обн.
8.	1м/608,1	46	след.	не обн.	4	не обн.	не обн.
9.	3м/484,4	61,8	не обн.	не обн.	не обн.	1,8	след.
10.	3м/505,1	62,3	не обн.	33,6	не обн.	2,0	не обн.
11.	3м/577,5	68	не обн.	не обн.	не обн.	5	след.
12.	12м/437,4	52	40	2,0	не обн.	5,5	не обн.
13.	12м/447,7	77	не обн.	не обн.	не обн.	3,1	не обн.
14.	12м/454,3	56,3	след.	не обн.	не обн.	27	10
15.	13м/502	82	не обн.	14,8	не обн.	2,5	не обн.
16.	13м/516,4	80	1,7	не обн.	1,7	не обн.	не обн.
17.	13м/555	70	10,3	не обн.	6,7	не обн.	не обн.
18.	20м/626	70	не обн.	не обн.	19	не обн.	15
19.	854/462	66,2	15	не обн.	не обн.	4,7	след.
20.	3907/460	10,4	8,2	4,9	75	не обн.	не обн.

Примечания. * – следы, ** – не обнаружено.

4.2. Микротекстуры и парагенезисы

Бёмит наблюдается в виде идиоморфных ромбических или веретеновидных кристаллов в шамозит-каолинитовой массе, выполняя межзерновые пространства, трещины и поры. Характерны ассоциации с гиббситом. Встречаются отдельные кристаллы бёмита, заключенные внутри прожилков сидерита и кальцита.

В редких случаях в полостях мартитовых руд (размером до нескольких сантиметров), образованных при выщелачивании кварцевых прожилков, наблюдаются изометричные или слабо вытянутые поры размером 0,075–0,5 мм. Эти поры развиты в криптозернистой массе шамозит-каолинитового состава и окружены каймами игольчатого бёмита. Указанные структуры характерны для губчатых текстур бокситов и свидетельствуют о высокой степени латеритного выветривания [Price and Velbel, 2003].

Гиббсит представлен кристаллическими выделениями, образовавшимися в основной массе шамозитового, шамозит-каолинитового и каолинитового составов (рис. 4, табл. 2). Наиболее распространён гиббсит в мартитовых рудах, реже он ассоциирует

с гётитом и мартитом. В мономинеральных гётитовых прослоях гиббсит, как правило, отсутствует, хотя отдельные его выделения могут наблюдаться в гётитовой массе в непосредственной близости от мартитовых прослоев. Кристаллы гиббсита также нередки в выветрелых сланцах. По морфологическим признакам выделяются две разновидности гиббсита: идиоморфные и ксеноморфные индивиды. Идиоморфный гиббсит представлен изометричными монокристаллами хорошо выраженной гексагональной формы. Часто идиоморфные очертания таких кристаллов по периферии маскируются зёрнами мартита, которые нередко образуют каймы шириной до 0,05 мм вокруг гиббсита. Ксеноморфные индивиды содержат многочисленные микровключения (мартит, гётит). В железных рудах встречен гиббсит, выполняющий прожилки мощностью до 0,6 мм и развивающийся по выщелоченному кварцу. В более крупных прожилках (мощностью до 1,2 мм) идиоморфные кристаллы гиббсита образуют щётки, в то время как центральная часть прожилка выполнена криптозернистым шамозитом с примесью каолинита. Также наблюдаются трещинные полости, заполненные шамозит-каолинитовым агрегатом, по периферии которых развиты щётки гиббсита. На изломах гиббсита в некоторых прожилках отмечаются карбонаты.

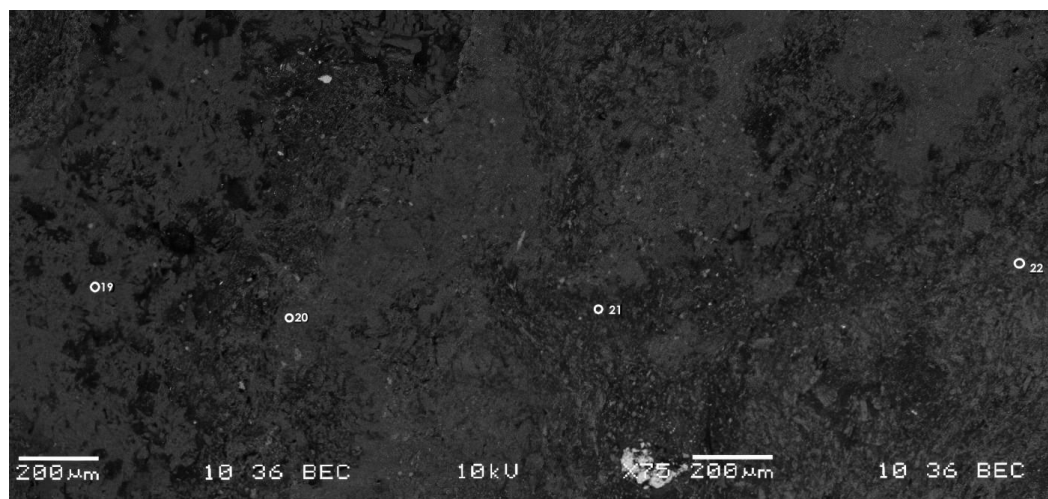


Рис. 4. BSE-панорама гиббситовой разновидности, образец 854/462, химический состав в таблице 2.

4.3. Геохимия

Содержания петрогенных оксидов в изученных образцах варьируют в широких пределах (мас. %): $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1,12\text{--}58,06$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4,55\text{--}74,12$, $\text{SiO}_2 = 0,66\text{--}14,1$. Щелочные и щелочноземельные элементы (Na_2O , K_2O , MgO , CaO), а также Р и Мп присутствуют в низких концентрациях (< 1 мас. %). Содержания TiO_2 значительны ($> 0,4$ мас. %, часто $> 1,0$ мас. %). Значения индексов CIA и MIA исключительно высоки (> 98 мас. %), за исключением одного образца, что свидетельствует о крайне интенсивном выветривании с практически полным выносом подвижных элементов (табл. 3). Анализ микроэлементов и редкоземельных элементов (РЗЭ) выявил их дифференциацию в зависимости от типа руд. Соотношение La/Y варьирует от 0,27 до 0,91 (в среднем 0,70), что указывает на кислые условия формирования.

5. Обсуждение результатов

Полученные данные позволяют реконструировать многостадийный процесс формирования бокситов на Шемраевском месторождении. Латеритизация протекала в условиях умеренного климата с интенсивным выносом кремнезема из филлитовидных сланцев курской серии, что привело к остаточному накоплению глинозёма и оксидов железа *in situ*. Наблюдаемая минералогическая зональность – залегание гиббситовых руд в верхней части разреза, а бёмитовых – в нижней, противоречит классической

Таблица 2. Содержания главных компонентов по данным локального микроанализа аншлифов (см. рис. 4)

Минерал	Элемент	Мас. %	Мас. % Сигма	Атомный %	Соед. %	Формула	Число ионов
№19, гиббсит	Al	39,08	0,40	37,57	73,83	Al ₂ O ₃	5,04
	Si	0,62	0,14	0,58	1,33	SiO ₂	0,08
	Fe	4,68	0,28	2,18	6,03	FeO	0,29
	O	36,81	0,43	59,68			8,00
	Сумма	81,19					
						Сумма катионов	5,40
№20, шамозит	Al	18,56	0,31	19,65	35,07	Al ₂ O ₃	2,57
	Si	12,28	0,29	12,49	26,27	SiO ₂	1,63
	Fe	13,11	0,40	6,71	16,87	FeO	0,88
	O	34,25	0,48	61,16			8,00
	Сумма	78,21					
						Сумма катионов	5,08
№22, гиббсит	Al	33,76	0,37	35,29	63,80	Al ₂ O ₃	4,67
	Si	3,05	0,19	3,07	6,53	SiO ₂	0,41
	Cl	0,27	0,09	0,22	—		0,03
	Fe	2,34	0,21	1,18	3,01	FeO	0,16
	O	34,18	0,42	60,25			7,97
						Сумма катионов	5,23

модели КМА и объясняется кинетическими и гидрогеологическими факторами. Верхняя, активноводообменная зона способствовала быстрому осаждению метастабильного гиббсита. Нижняя, менее дренируемая зона с застойными условиями создала предпосылки для медленной перекристаллизации гиббсита в стабильный бёмит.

После стадии латеритизации регион испытал эпейрогенические движения (медленные вековые поднятия и опускания), обусловленные тектоникой складчатых зон горных хребтов. Эти процессы вызвали колебания уровня грунтовых вод, что привело к осаждению тонкого горизонта каолинита в подошвенной части наиболее пористых пород.

На генетической диаграмме Al₂O₃-SiO₂-Fe₂O₃ установлено, что большинство исследованных образцов соответствуют по составу ферритам, и в меньшей степени – бокситам (рис. 5а). Несмотря на преобладание ферритов, в разрезе присутствуют прослои типичных бокситов. Согласно треугольной диаграмме, отражающей степень латеритизации, образцы характеризуются интенсивным латеритным выветриванием. Образец феррита (1м/495,9) демонстрирует максимальную степень латеритизации (рис. 5б). Таким образом, по минералого-геохимическим характеристикам породы Шемраевского проявления классифицируются преимущественно как латериты, с одним образцом полноценного боксита. В целом, бокситоносные образования месторождения могут быть отнесены к ферриаллитовой коре выветривания [Бенеславский, 1974; Бурмин, 1984].

Поведение РЗЭ в латеритных железных рудах контролируется физико-химическими параметрами среды (Eh, pH) на стадии гипергенеза [Patino et al., 2003]. Мобилизация и осаждение РЗЭ происходят преимущественно в условиях экстремальных значений pH – низких или высоких. В данном исследовании кислые условия формирования алюминийсодержащих железных руд подтверждаются коэффициентами La/Y. На диаграмме La/Y – ΣREE (рис. 5в) образцы шемраевских руд демонстрируют значения La/Y в интервале 0,27–0,91 (в среднем 0,70), что согласуется с моделью воздействия кислых растворов в процессе минералообразования.

Таблица 3. Содержания петрогенных (мас. %), редких, редкоземельных элементов (г/т) в бёмитовых и гиббситовых разновидностях

	Предел обнаружения	1м/499,3	1м/495,9	12м/454,3	20м/626	3907/460
SiO ₂ (вес.%)	0,01	8,23	1,9	13,8	14,1	0,66
Al ₂ O ₃	0,01	4,67	1,12	22,3	18,1	58,06
Fe ₂ O ₃	0,01	62,66	74,12	46,5	57,3	4,55
CaO	0,01	1,13	1,9	0,25	0,18	0,2
Na ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
MgO	0,01	0,55	0,17	0,04	0,25	0,03
K ₂ O	0,01	0,09	0,32	0,016	0,19	0,01
TiO ₂	0,01	1,59	0,41	4,2	0,98	7,41
MnO	0,01	0,97	0,92	0,01	0,32	0,01
P ₂ O ₅	0,01	1,36	1,23	не опр.	0,9	0,05
П.п.п.	0,01	18,84	17,55	13,3	6,66	28,25
Сумма	–	100,11	99,65	100,43	99,34	99,19
СИА	–	79,02	33,43	98,78	97,89	99,62
МІА	–	58,04	–	97,55	95,78	99,25
U	0,05	13,9	10,4	4,4	6,2	5,3
Th	0,05	2,5	0,6	18,9	16,7	16,3
Ba	0,5	205	288	29	32	30
Hf	0,2	3,7	0,8	11	15	7,9
Cr	10	285	258	195	306	233
Co	0,5	24,7	34,8	7,6	5	4,5
Nb	0,2	3,6	1,1	22,4	19	26,6
Cs	0,01	0,52	0,83	0,67	0,89	0,58
Rb	0,2	1,6	3,6	2,4	2,3	0,6
V	5	184	84	1006	1046	520
Ga	0,1	5,2	3	42,7	49,8	40
Sr	0,1	172	268	25	17	30
Y	0,5	13,8	11,8	9	15,7	13,8
Ta	0,1	0,3	0,1	1,9	1,6	1,9
Zr	2	41	10	401	490	288
Pb	5	117	111	98	102	76
Ni	5	70	88	65	59	39
La	0,5	11	7	8	14	3
Ce	0,5	95	74	48	32	8
Pr	0,03	2,7	2,7	1,9	2,8	0,6
Nd	0,1	12,6	13,2	7,2	10,7	2,3
Sm	0,03	3,4	4,8	2,66	3,51	0,86
Eu	0,03	7,75	7,85	0,91	1,08	0,58
Gd	0,05	6,02	9,1	0,91	1,32	0,31
Tb	0,01	0,94	1,4	0,23	0,26	0,07
Dy	0,05	5,71	7,92	1,38	1,89	0,36
Ho	0,01	1,03	1,47	0,4	0,36	0,08
Er	0,03	2,25	2,7	0,91	1	0,23
Tm	0,01	0,28	0,31	0,18	0,18	0,05
Yb	0,03	1,4	1,46	1,2	1,19	0,29
Lu	0,01	0,24	0,22	0,21	0,19	0,05
Σ REE (La–Lu)	–	150,58	135,52	74,16	71,26	18,15
La/Y	–	0,80	0,62	0,88	0,91	0,27
R	–	3,5	3,1	2,5	2,1	3,2

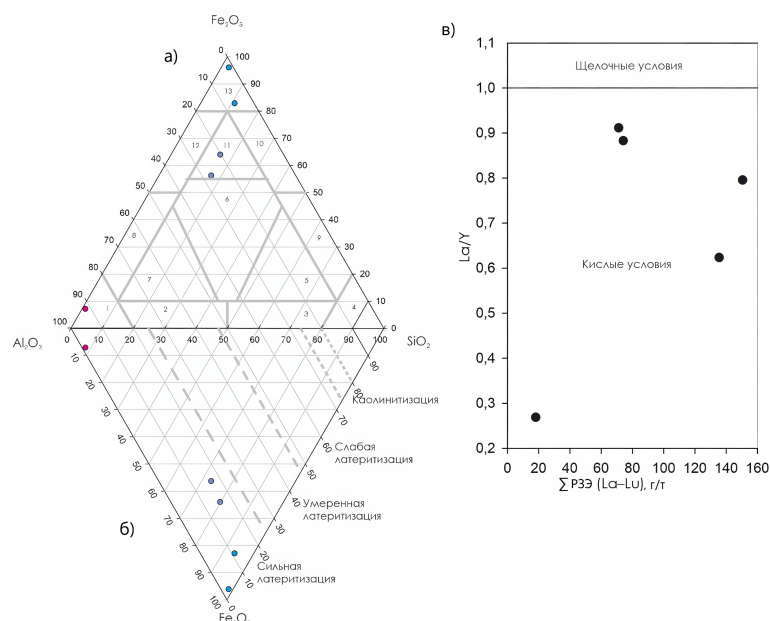


Рис. 5. Генетические диаграммы: а) треугольная диаграмма Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂ минералогической классификации [Aleva, 1994]; б) треугольная диаграмма Al₂O₃-SiO₂-Fe₂O₃ степени латеритизации [Schellmann, 1982]; в) диаграмма зависимости La/Y от PЗЭ по кислотности условий накопления PЗЭ. Подписи к полям: 1 – бокситы; 2 – каолиновые бокситы; 3 – бокситовый каолинит; 4 – каолинит; 5 – каолины; 6 – латериты; 7 – бокситы; 8 – ферри-бокситы; 9 – ферри-каолинит; 10 – каолиновый феррит; 11 – феррит; 12 – бокситовый феррит; 13 – феррит.

В настоящем исследовании для определения протолита ферритов и бокситов применен сравнительный анализ химического состава на основе коэффициентов накопления микроэлементов, включая Cr и Ni. Коэффициенты накопления (R) для элементов Mn, Th, Ba, Cr, Nb, V, Pb и Ni рассчитывались по формуле [Shaw, 1964]:

$$R = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i}{K_l} \right),$$

где R – коэффициент накопления элемента, i – рассматриваемый элемент, n – количество используемых элементов, K_i – средняя концентрация элемента i в рудах, K_l – средняя концентрация элемента i в литосфере [Rudnick and Gao, 2003].

Поскольку абсолютные значения R не позволяют однозначно определить литологию протолита, проведена их нормализация к хрому (Cr) [Özli, 1983]. На диаграмме зависимости нормализованных коэффициентов R от Cr образцы шемраевских бокситов попадают в поле аргиллитизированных пород среднего магматического состава (рис. 6). Это положение подтверждается диаграммой соотношения $\log(\text{Cr})/\log(\text{Ni})$ [Schroll and Sauer, 1968], где точки также группируются в области, соответствующей аргиллитизированным породам (рис. 7), что указывает на близость состава протолита бокситов к измененным средним магматическим породам.

Диаграмма дискриминации $\log(\text{Cr})/\log(\text{Ni})$ [Schroll and Sauer, 1968] указывает на генетическую связь бокситов Шемраевского месторождения с метаморфическими породами. Результаты расчётов изменения массы и распределение точек в полях диаграммы $\log(\text{Cr})/\log(\text{Ni})$ -TiO₂ свидетельствуют о формировании бокситов преимущественно за счёт филлитовидных сланцев, производных от магматических пород среднего состава (рис. 7). Данный вывод подтверждается диаграммой $\log(\text{Cr})/R$ [Nyamsari et al., 2020; Özli, 1983], демонстрирующей принадлежность исходного субстрата к магматическому источнику среднего состава.

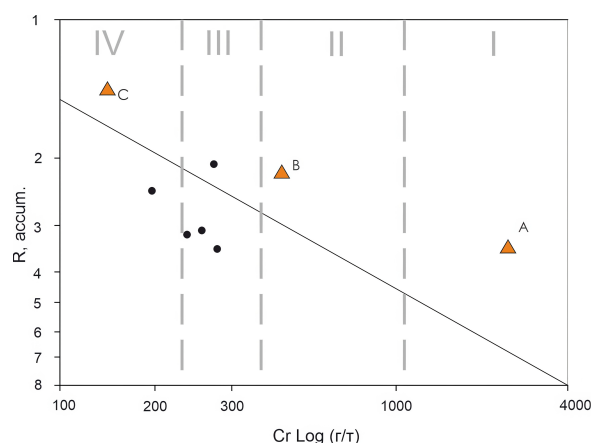


Рис. 6. Диаграмма зависимости Cr от R и области влияния различных исходных пород [Nyam-sari et al., 2020; Özlü, 1983]. А, В и С представляют амфиболиты, базальты и граниты как материнские при латеритизации, соответственно. Цифры I, II, III и IV обозначают область влияния ультраосновных, базитовых, промежуточных (или глинистых) и кислых исходных пород, соответственно.

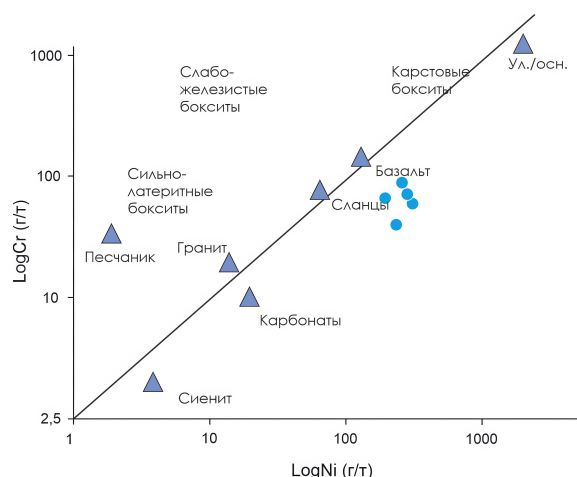


Рис. 7. Диаграмма соотношения концентрации Cr и Ni в бокситовых месторождениях латеритного и карстового типов с различными протолитами [Schroll and Sauer, 1968].

6. Заключение и выводы

Таким образом, бокситоносные залежи Шемраевского месторождения можно отнести к ферриаллитовой коре выветривания. Установленная минеральная зональность, когда бёмитовые породы залегают под гиббситовыми, противоречит общепринятой модели стадийности латеритного процесса на КМА.

Подтверждено, что филлитовидные сланцы курской серии являются продуктивным протолитом для формирования горизонтов, обогащенных глинозёмом. Геохимические данные (коэффициенты накопления R, диаграммы $\log(\text{Cr})/\log(\text{Ni})$, $\log(\text{Cr})/R$) однозначно подтверждают их метаморфическое происхождение и роль в рудообразовании.

Выявление зон КВ бокситами в Белгородском районе КМА существенно расширяет границы бокситоносной провинции за пределы известных месторождений (например, Висловского). Это указывает на наличие латерально выдержанных рудоперспективных зон в корах выветривания палеопротерозойских пород курской серии. Рекомендуется провести реконструкцию геодинамического развития и прогноз геологической позиции филлитовидных сланцев Курской серии – это может способствовать открытию новых, ранее неизвестных месторождений бокситов на юге КМА.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания ИГЕМ РАН «Кристаллохимические особенности, химический состав минералов и их ассоциаций как генетические индикаторы эндогенных и экзогенных процессов» № 124022400142-2, аналитические исследования проведены в ЦКП «ИГЕМ АНАЛИТИКА».

Список литературы

- Бенеславский С. И. Минералогия бокситов. — М. : Недра, 1974. — 168 с.
- Бортников Н. С., Волков А. В., Галямов А. Л. и др. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития // Геология рудных месторождений. — 2016. — Т. 58, № 2. — С. 97–119. — <https://doi.org/10.7868/S0016777016020027>.
- Бурмин Ю. А. Геология металлоносных кор выветривания. — М. : Недра, 1984. — 237 с.
- Никитина А. П. и Алексеева З. И. Висловское и Ольховатское месторождения латеритных бокситов стадийного формирования (Воронежская антеклиза) // Генетическая классификация и типы бокситовых месторождений СССР. — М. : Наука, 1974. — С. 22–45.
- Никулин И. И. Богатые железные руды Курской магнитной аномалии. — М. : КДУ, 2024. — 408 с.
- Никулин И. И., Старостин В. И. и Самсонов А. А. Месторождения довизейских бокситов и железо-алюминиевых руд КМА и перспективы их освоения // Геология рудных месторождений. — 2021. — Т. 63, № 4. — С. 382–396. — <https://doi.org/10.31857/S0016777021040055>.
- Савко К. А. и Поскрякова М. В. Минералогия, фазовые равновесия и условия метаморфизма пород Шемраевского железорудного месторождения Курской магнитной аномалии // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. — 2004. — № 1. — С. 68–84.
- Сиротин В. И. Минералогические типы и условия образования белгородских бокситов // Генезис бокситов. — М. : Наука, 1966. — С. 130–141.
- Aleva G. J. J. Laterites. Concepts, Geology, Morphology and Chemistry. — Wageningen : ISRIC, 1994. — 169 p.
- Braun J., Mercier J., Guillocheau F., et al. A simple model for regolith formation by chemical weathering // Journal of Geophysical Research: Earth Surface. — 2016. — Vol. 121, no. 11. — P. 2140–2171. — <https://doi.org/10.1002/2016jf003914>.
- Liu J., Xiong K., Zhang H., et al. The effect of alumina as an interfacial layer on the reactivity of Al/PTFE energetic composites // Journal of Materials Research and Technology. — 2023. — Vol. 24. — P. 3033–3047. — <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.223>.
- Nesbitt H. W. and Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. — 1982. — Vol. 299. — P. 715–717. — <https://doi.org/10.1038/299715a0>.
- Nyamsari D. G., Yalcin M. G. and Wolfson I. Alteration, chemical processes, and parent rocks of Haléo-Danielle Plateau bauxite, Adamawa-Cameroon // Lithology and Mineral Resources. — 2020. — Vol. 55, no. 3. — P. 231–243. — <https://doi.org/10.1134/S0024490220030049>.
- Özlü N. Trace-element content of ?Karst Bauxites? and their parent rocks in the mediterranean belt // Mineralium Deposita. — 1983. — Vol. 18, no. 3. — P. 469–476. — <https://doi.org/10.1007/bf00204491>.
- Patino L. C., Velbel M. A., Price J. R., et al. Trace element mobility during spheroidal weathering of basalts and andesites in Hawaii and Guatemala // Chemical Geology. — 2003. — Vol. 202, no. 3/4. — P. 343–364. — <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2003.01.002>.
- Price J. R. and Velbel M. A. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks // Chemical Geology. — 2003. — Vol. 202, no. 3/4. — P. 397–416. — <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2002.11.001>.
- Rudnick R. L. and Gao S. Composition of the Continental Crust // Treatise on Geochemistry. — Elsevier, 2003. — P. 1–64. — <https://doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4>.
- Schellmann W. Eine neue Lateritdefinition // Geologisches Jahrbuch (Reihe D). — 1982. — Vol. 58. — P. 31–47.
- Schroll E. and Sauer D. Beitrag zur Geochemie von Titan, Chrom, Nickel, Cobalt, Vanadium und Molibdan in Bauxitischen gesternen und problem der stofflichen herkunft des Aluminiums // Travaux du ICSOBA. — 1968. — Vol. 5. — P. 83–96.
- Shaw D. M. Interprétation Géochemique des Éléments en Traces dans les Roches Cristallines. — Paris : Masson, 1964. — 241 p.

- Tardy Y. and Nahon D. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe (super 3+) -kaolinite in bauxites and ferricretes; an approach to the mechanism of concretion formation // American Journal of Science. — 1985. — Vol. 285, no. 10. — P. 865–903. — <https://doi.org/10.2475/ajs.285.10.865>.
- Yesavage Y., Fantle M. S., Vervoort J., et al. Fe cycling in the Shale Hills Critical Zone Observatory, Pennsylvania: An analysis of biogeochemical weathering and Fe isotope fractionation // Geochimica et Cosmochimica Acta. — 2012. — Vol. 99. — P. 18–38. — <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.09.029>.

OCCURRENCE OF BAUXITE AT THE SHEMRII DEPOSIT OF THE BELGOROD HIGH-GRADE IRON ORE REGION (KURSK MAGNETIC ANOMALY)

I. I. Nikulin^{**,1} , N. M. Boeva¹ 

¹Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

****Correspondence to:** Ivan Ivanovich Nikulin, iinikulin@gmail.com

Abstract: The paper presents the results of the first comprehensive studies of the geological and geochemical features of bauxite formation in the crust of the weathering rocks of the Proterozoic Kursk series within the Shemraevsky deposit of rich iron ores. The use of a complex of modern methods (X-ray phase analysis, X-ray fluorescence analysis, ICP-MS mass spectrometry, petrographic and mineralogical studies) made it possible to establish that bauxite formation occurred in phyllite shales under conditions of moderate lateritization, accompanied by intensive removal of silica. A comparative analysis of geochemical data and the construction of discriminatory diagrams revealed the multi-stage nature of the bauxite formation process. The accumulation of alumina was carried out *in situ*, due to the high permeability of the transformed rocks of the Kursk series and the effects of meteoric waters. An inverse correlation has been established between the content of clay minerals and the intensity of lateritization, which indicates their formation at various time stages. The revealed manifestation is classified as a ferriallite weathering crust. The discovery of bauxite-bearing manifestations in this part of the Kursk Magnetic anomaly (KMA) indicates a high potential for the identification of new bauxite deposits in the south of the KMA.

Keywords: boehmite, gibbsite, weathering crust, Kursk series, Shemraevskoye deposit, Belgorod ore region, lateritization, ferriallite crust

RESEARCH ARTICLE

Received: September 3, 2025

Accepted: November 5, 2025

Published: July 22, 2026



© 2026. The Authors.

Citation: Nikulin I. I., and Boeva N. M. (2026), Occurrence of Bauxite at the Shemrai Deposit of the Belgorod High-grade Iron ore Region (Kursk Magnetic Anomaly), *Russian Journal of Earth Sciences*, 26, ES3004, <https://doi.org/10.2205/2026ES001079>, EDN: ITRKFH

References

- Aleva G. J. J. Laterites. Concepts, Geology, Morphology and Chemistry. — Wageningen : ISRIC, 1994. — 169 p.
- Beneslavsky S. I. Mineralogy of bauxites. — M. : Nedra, 1974. — 168 p. — (In Russian).
- Bortnikov N. S., Volkov A. V., Galyamov A. L., et al. Mineral resources of high-tech metals in Russia: State of the art and outlook // *Geology of Ore Deposits*. — 2016. — Vol. 58, no. 2. — P. 83–103. — <https://doi.org/10.1134/s1075701516020021>.
- Braun J., Mercier J., Guillocheau F., et al. A simple model for regolith formation by chemical weathering // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. — 2016. — Vol. 121, no. 11. — P. 2140–2171. — <https://doi.org/10.1002/2016jf003914>.
- Burmin Yu. A. Geology of metal-bearing weathering crusts. — M. : Nedra, 1984. — 237 p. — (In Russian).
- Liu J., Xiong K., Zhang H., et al. The effect of alumina as an interfacial layer on the reactivity of Al/PTFE energetic composites // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2023. — Vol. 24. — P. 3033–3047. — <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.223>.

- Nesbitt H. W. and Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. — 1982. — Vol. 299. — P. 715–717. — <https://doi.org/10.1038/299715a0>.
- Nikitina A. P. and Alekseeva Z. I. Vislovskoe and Olkhovatka deposits of lateritic bauxites of staged formation (Voronezh antecline) // Genetic classification and types of bauxite deposits of the USSR. — M. : Nauka, 1974. — P. 22–45. — (In Russian).
- Nikulin I. I. Rich iron ores of the Kursk Magnetic Anomaly. — M. : KDU, 2024. — 408 p. — (In Russian).
- Nikulin I. I., Starostin V. I. and Samsonov A. A. Pre-Visean Bauxites and Iron-Aluminum Ores Deposit of the KMA and Prospects for Development // *Geology of Ore Deposits*. — 2021. — Vol. 63, no. 4. — P. 368–381. — <https://doi.org/10.1134/s107570152104005x>.
- Nyamsari D. G., Yalcin M. G. and Wolfson I. Alteration, chemical processes, and parent rocks of Haléo-Danielle Plateau bauxite, Adamawa-Cameroon // *Lithology and Mineral Resources*. — 2020. — Vol. 55, no. 3. — P. 231–243. — <https://doi.org/10.1134/S0024490220030049>.
- Özlü N. Trace-element content of ?Karst Bauxites? and their parent rocks in the mediterranean belt // *Mineralium Deposita*. — 1983. — Vol. 18, no. 3. — P. 469–476. — <https://doi.org/10.1007/bf00204491>.
- Patino L. C., Velbel M. A., Price J. R., et al. Trace element mobility during spheroidal weathering of basalts and andesites in Hawaii and Guatemala // *Chemical Geology*. — 2003. — Vol. 202, no. 3/4. — P. 343–364. — <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2003.01.002>.
- Price J. R. and Velbel M. A. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks // *Chemical Geology*. — 2003. — Vol. 202, no. 3/4. — P. 397–416. — <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2002.11.001>.
- Rudnick R. L. and Gao S. Composition of the Continental Crust // *Treatise on Geochemistry*. — Elsevier, 2003. — P. 1–64. — <https://doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4>.
- Savko K. A. and Poskryakova M. V. Mineralogy, phase relations, and metamorphic conditions of banded iron formation (BIF) rocks of the Shemrayevskoye deposits, Kursk Magnetic Anomaly // *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. — 2004. — No. 1. — P. 68–84. — (In Russian).
- Schellmann W. Eine neue Lateritdefinition // *Geologisches Jahrbuch (Reihe D)*. — 1982. — Vol. 58. — P. 31–47.
- Schroll E. and Sauer D. Beitrag zur Geochemie von Titan, Chrom, Nickel, Cobalt, Vanadium und Molybden in Bauxitischen Gesteinen und problem der stofflichen herkunft des Aluminiums // *Travaux du ICSOBA*. — 1968. — Vol. 5. — P. 83–96.
- Shaw D. M. Interprétation Géochemique des Éléments en Traces dans les Roches Cristallines. — Paris : Masson, 1964. — 241 p.
- Sirotnin V. I. Mineralogical types and formation conditions of Belgorod bauxites // *Genesis of bauxites*. — M. : Nauka, 1966. — P. 130–141. — (In Russian).
- Tardy Y. and Nahon D. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe (super 3+) -kaolinite in bauxites and ferricretes; an approach to the mechanism of concretion formation // *American Journal of Science*. — 1985. — Vol. 285, no. 10. — P. 865–903. — <https://doi.org/10.2475/ajs.285.10.865>.
- Yesavage Y., Fantle M. S., Vervoort J., et al. Fe cycling in the Shale Hills Critical Zone Observatory, Pennsylvania: An analysis of biogeochemical weathering and Fe isotope fractionation // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. — 2012. — Vol. 99. — P. 18–38. — <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.09.029>.