

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОРОДАХ НИЖНЕПРОТЕРОЗОЙСКОЙ ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТО- СЛАНЦЕВОЙ ФОРМАЦИИ КРИВОРОЖСКОГО БАССЕЙНА: ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИЙ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ

В. А. Шатров

Воронежский государственный университет

На основании распределения редких земель для криворожской серии УЩ выделяется трансгрессивно-регрессивный этап осадкообразования с максимум трансгрессии, приходящимся на железорудную свиту; джеспилиты являются наиболее глубоководными образованиями серии; образование серии происходило в условиях гумидного климата, саксаганской свиты — в условиях гумидного или семи-гумидного; источник железа имеет полигенный характер: часть железа образована за счет переотложения продуктов выветривания, часть — за счет эндогенного механизма поставки (гидротермы, подводные эксгальции).

ВВЕДЕНИЕ

Джеспилитовые формации раннепротерозойского возраста, широко развитые на всех континентах, до сих пор не имеют однозначной интерпретации условий образования. Существуют различные взгляды на их генезис, часто противоречащие друг другу, определяющие их как экзогенные [16, 27, 28, 32, 33, 53, 61, 62] или эндогенные [9, 23, 25] образования. В современной литературе преобладает представление об экзогенном механизме образования джеспилитов за счет осаждения первичных железистых осадков [37, 38]. Не однозначно решается вопрос о положении железистых осадков на профиле седиментации, глубине их образования: 1) джеспилиты района Мичипикопен (провинция Онтарио, Канада), оксидные магнетит-гематитовые фации железорудной формации Бивабик-Ганфлинт (штат Миннесота, США) определяются как прибрежно-морские, наиболее мелководные образования [24, 53, 61, 62]; 2) образование магнетитовых и гематитовых фаций джеспилитов в пределах КМА предполагается в наиболее глубоководных морских обстановках профиля седиментации [27, 28, 29, 32, 33]. Нет единого мнения и по поводу источника железа, механизма его осаждения. Большинство исследователей [26, 35, 37, 38, 39, 51] предполагают образование части железа за счет переотложения вещества кор выветривания; другая часть имеет эндогенную природу, предположительно, гидротермальную. Существует представление о вулканогенно-осадочном источнике вещества для железорудных формаций [8].

ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ

Объектом изучения выступает криворожская серия Украины, развитая в пределах украинского кристаллического щита (УЩ). Стратиграфический разрез Криворожского синклинория представлен (снизу вверх) (рис. 1): 1) позднеархейский плагиогранитоидный фундамент; 2) латовский кварцевый горизонт; 3) осадочно-вулканогенная новокриворожская свита; 4) кластогенная скелеватская свита; 5) существенно хомогенная саксаганская (железорудная) свита; 6) хомогенно-кластогенная гданцевская свита; 7) кластогенная глеватская свита [4, 19, 48]. Суммарная мощность серии ориентировочно оценивается как 3000 м, возрастной интервал формирования — 2600—2000 млн лет [1]. В досаксаганском разрезе отмечаются два уровня развития остаточных метаморфизованных кор выветривания: предлатовско-предновокриворожский (на плагиогранитах архейского фундамента); предскелеватский (на плагиогранитах фундамента и метавулканитах новокриворожской свиты).

Саксаганская свита впервые выделена Я. Н. Белявцевым [3] под названием средней свиты (K_2) криворожской серии, относится к нижнепротерозойским железо-кремнисто-сланцевым формациям (ЖКСФ) [14]. Породы саксаганской свиты согласно залегают на породах скелеватской свиты, в строении свиты выделено нескольких крупных циклов, каждый из которых представлен сланцевым и железистым горизонтом. В наиболее полном разрезе в центральной части бассейна насчитывается семь железистых и семь сланцевых горизонтов общей мощностью до 1400 м, с наблю-

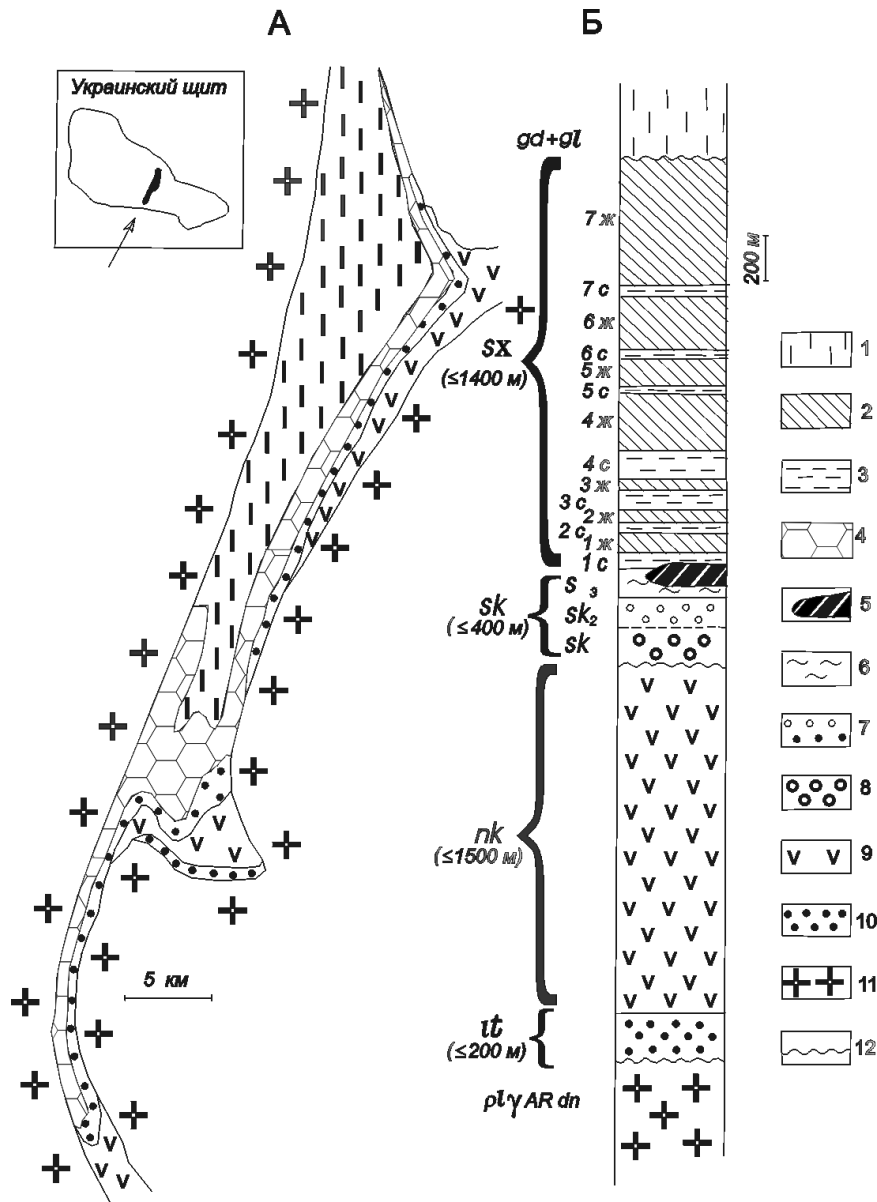


Рис. 1. Геологическая схема Криворожского бассейна (а) и сводная стратиграфическая колонка (б) саксагонской (железорудной) свиты и подстилающих ее метаосадочных и метавулканических комплексов пород [4, 19]: 1 — метатерригенные и метахемогенно-терригенные отложения гданцевской и глееватской свит (*gd + gl*) — сланцы кварц-биотитовые, углистые, метапесчаники, доломиты, метаконгломераты и др.; саксаганская свита (*sx*): 2 — железистые горизонты (железистые кварциты силикатно-магнетитовые, джеспилиты гематит-магнетитовые и др.), 3 — сланцевые горизонты (сланцы кварц-хлорит-биотитовые, безрудные кварциты и др.). 4 — ЖКСФ (железо-кремнисто-сланцевая формация) саксаганской свиты; 5 — скелеватская свита (*sk*): 5 — метаультрабазиты (сланцы тальк-хлоритовые, тальк-хлорит-карбонатные и др.), 6 — сланцы кварц-серицитовые, биотит-кварц-серицитовые и др., 7 — метапесчаники полевошпат-кварцевые и др., 8 — метаконгломераты и метагравелиты существенно олигомиктовые и др.; 9 — метавулканиды основного и среднего состава новокриворожской свиты (*nk*); 10 — метапесчаники и метагравелиты мономиктовые кварцевые латовского горизонта (свиты) (*lt*); 11 — плагиограниты архейского фундамента (*plyARdn*); 12 — линии стратиграфического несогласия

даемыми изменениями по падению и простиранию вещественного состава и мощности вплоть до полного выклинивания горизонтов. В целом саксаганская свита состоит на 70—80 % из железисто-кремнистых пород с очень высоким содержа-

нием железа (25—40 %) и кремнезема (40—60 %), при резко подчиненных содержаниях Al_2O_3 , MgO , CaO и других петрогенных окислов. Образования свиты цикличны, аутигенно-минералогическая зональность имеет следующий вид (снизу вверх

от центра сланцевого горизонта к центру железистого): филлитовидные сланцы — филлитовидные сланцы с кварцевыми прослоями — кварцбиотитовые кварцитосланцы — магнетит-карбонат-хлоритовые кварцитосланцы — хлорит-магнетит-карбонатные сланцекварциты — карбонат-магнетитовые кварциты — магнетитовые кварциты — гематит-магнетитовые джеспилиты, где кварцитосланцы, это переслаивание сланцевых, рудных, кварцитовых слоев с преобладанием сланцевых; сланцекварциты — то же с преобладанием кварцевых и рудных слоев. К вышележащему сланцевому горизонту этот ряд сменяется в обратном порядке [19]. Данная зональность образует в свите цикличность высшего порядка на которую наложены циклы более низких порядков, вплоть до тонкой слоистости, проявленной в железистых кварцитах и сланцах.

В разрезе саксагонской свиты не установлены явные признаки вулканической активности в виде продуктов извержений, следов фумарольно-сульфатной деятельности [19, 26].

Содержания редкоземельных элементов в породах криворожской серии заимствованы из работы Ю. А. Балашова (1976) (табл. 63) [1].

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ

Применение редкоземельных элементов (REE) для реконструкции условий образования осадочных образований обусловлено фракционированием лантаноидов в зоне гипергенеза, приводящим к различному соотношению легких, средних и тяжелых редких земель в различных фациальных обстановках седиментации [41, 44, 46]. На ранних стадиях метаморфизма (по ряду публикаций вплоть до амфиболитовой фации) [1, 13, 15, 18, 31, 37] для лантаноидов отмечается инертность поведения, что позволяет их использовать для реконструкций условий образования метаосадочных пород.

В работе применяется разделение лантаноидов на легкие — LREE (La-Pr), средние — MREE (Nd-Dy) и тяжелые HREE (Ho-Lu, Y). Иттрий на основании близости геохимических свойств, валентности и ионного радиуса рассматривается совместно с тяжелыми редкими землями. Для реконструкции условий образования применяется ряд критериев.

Треугольная диаграмма LREE-MREE-(HREE+Y) [42, 43], позволяющая проводить сравнение глубоководности (удаленности от береговой суши) условий образования метаосадочных пород, выде-

лять роанзоранговые циклы седиментации.

$\sum Ce / \sum Y$, где $\sum Ce$: (La-Eu), $\sum Y$: (Gd-Lu, Y), выступает индикатором климата: $\sum Ce / \sum Y < 2,5$ — аридный; 2,5-4,0 — семиаридно-семигумидный; $> 4,0$ — гумидный [47].

Ce / Ce^* , где $Ce / Ce^* = Ce_N / (La_N + Pr_N) / 2$ (нормировано к глинам платформ по Ю.А. Балашову (1976) [1]), выступает индикатором седиментационных обстановок: $Ce / Ce^* \sim 0,25-0,3$ — близспрединговая, в 300—400 км от срединно-океанических хребтов (COX); $\sim 0,55-0,6$ — обстановка глубоководных котловин, на удалении 2500-3000 км от COX; $\sim 0,9-1,3$ — окраинно-континентальная [57, 58].

Eu / Eu^* , где $Eu / Eu^* = Eu_N / (Sm_N + Gd_N) / 2$ (нормировано к хондриту [59]), выступает индикатором влияния глубинного вещества на осадкообразование, проявленного различными процессами: флюиды; гидротермы, обломки вулканитов, базитов, гипербазитов [1, 22, 40, 41, 49]. Среднее значение Eu / Eu^* для осадочных пород фанерозоя — 0,61—0,72 [2], для хондритов — 1,0 [1], близкое значения для постархейских осадочных пород ($Eu / Eu^* = 0,65$) дают Тейлор и Мак-Леннан (1988) [34].

Ce / La , выступает индикатором соотношения влияния гидрогенного и гидротермального процессов на формирование осадочных образований в пределах Мирового океана: для современных гидрогенных Fe-Mn стяжений $Ce / La > 2$, для гидротермальных < 2 [5, 6, 12].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В составе криворожской серии рассмотрены три свиты: верхняя (K_3), соответствующая гданцевской и глееватской свитам; средняя железорудная (K_2), представленная саксаганской свитой; нижняя (K_1), соответствующая скелеватской свите. Ю. А. Балашовым [1] отмечено ряд особенностей поведения лантаноидов для пород серии: 1) джеспилиты характеризуются низкими значениями $\sum (REE+Y)$, средние для железистых горизонтов 21,6 г/т; 2) близкий характер распределения редких земель для различных литологических типов (гравелиты, метапесчаники, конгломераты, сланцы), что предполагает образование первичных терригенных осадков в геосинклинальных условиях с высокими скоростями осадконакопления; 3) терригенные породы нижней и верхней свит обогащены цериевыми лантаноидами (средние $\sum Ce / \sum Y$ — 4,1 и 3,5 соответственно), средней свиты — иттриевыми (средние $\sum Ce / \sum Y$ — 2,6); 4) повышенное значение Eu / Eu^* в средней железорудной свите, по сравне-

нию с нижней и верхней свитами, обусловлено преимущественно железорудными прослоями, а не сланцами и роговиками.

При рассмотрении лантаноидов не рассмотрены фациальные, климатические условия седиментации криворожской серии, нет четкой концепции источника поступления железа в бассейн осадконакопления.

Для уточнения условий образования криворожской серии рассмотрены фигуративные точки содержания редких земель в породах гданцевской, глееватской, саксаганской, скелеватской свит на диаграмме LREE—MREE—(HREEx10) (рис. 2), прове-

дена геологическая интерпретация коэффициентов: Ce/La , Ce/Ce^* , $\sum Ce/\sum Y$.

На диаграмме LREE—MREE—(HREEx10) для пород серии отчетливо прослеживается фациальный ряд седиментации (от наиболее глубоководных к мелководным образованиям): рудные (магнетитовые) роговики и джеспилиты → карбонатные породы → карбонатно-магнетитовые, силикатно (амфиболит, хлорит)-магнетитовые и безрудные роговики → сланцы → обломочные породы (метапечаники, гравелиты, метагравелиты). Среди сланцев также отмечается зональность (от наиболее глубоководных к мелководным): карбо-

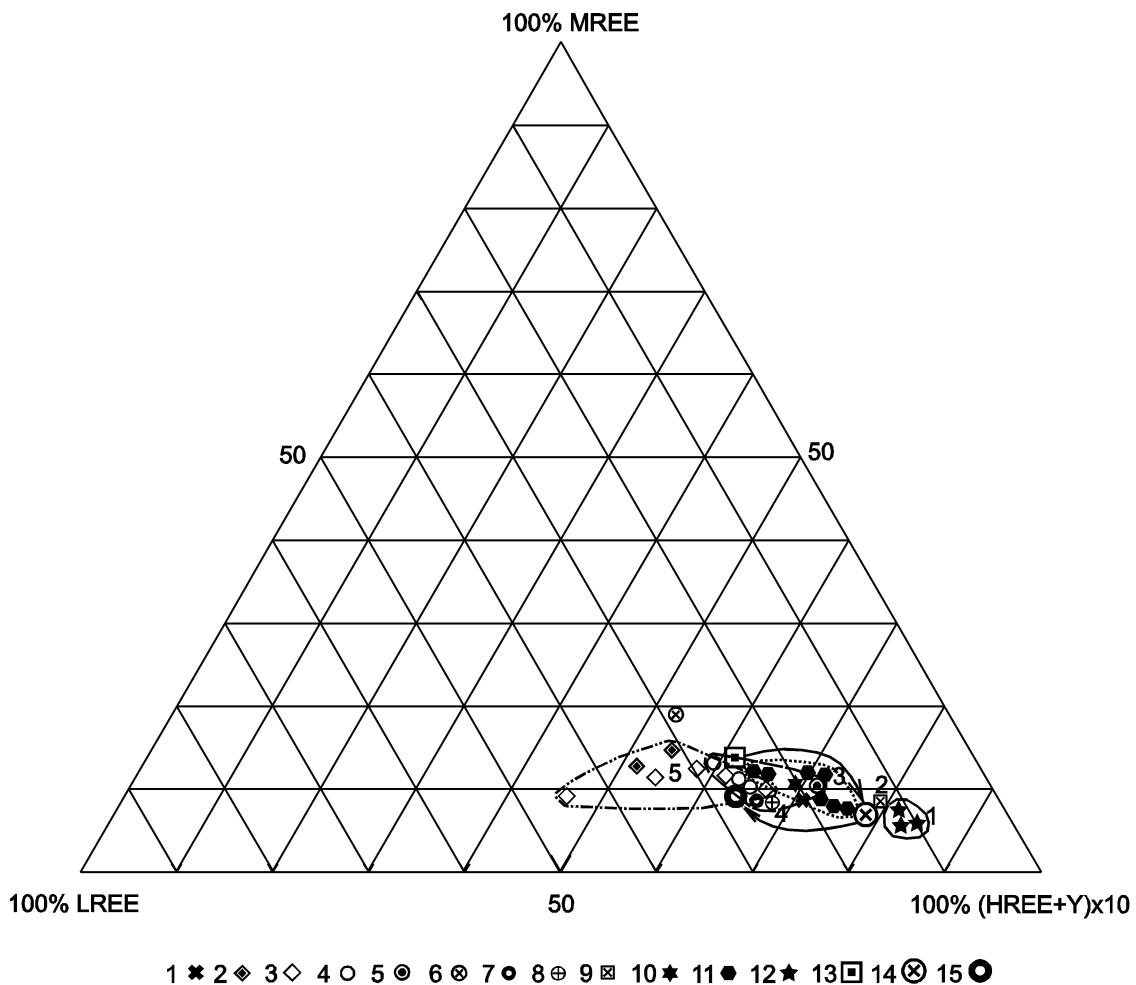


Рис. 2. Диаграмма LREE—MREE—(HREEx10) для пород криворожской серии. Условные обозначения: 1 — конгломераты; 2 — гравелиты, метагравелиты; 3 — метапесчаники; сланцы: 4 — кварцево-биотитовые, биотито-хлоритовые, 5 — карбонатно-сланцево-графитовые, 6 — кварцево-серицит-хлоритовые, 7 — кварцево-хлоритовые, 8 — филлиты; 9 — доломитизированные известняки; 10 — роговики безрудные и малорудные; 11 — карбонатно-магнетитовые, силикатно(амфиболит, хлорит)-магнетитовые роговики; 12 — рудные (магнетитовые) роговики и джеспилиты; 13 — среднее для нижней свиты; 14 — среднее для средней (железорудной свиты); 15 — среднее для верхней свиты. Стрелками показан трансгрессивно-регрессивный цикл развития криворожского палеобассейна. Цифрами отмечены поля развития: 1 — рудные (магнетитовые) роговики и джеспилиты; 2 — карбонатные породы; 3 — карбонатно-магнетитовые, силикатно (амфиболит, хлорит)-магнетитовые и безрудные роговики; 4 — сланцы различного состава; 5 — обломочные породы (метапечаники, гравелиты, метагравелиты)

натно-слюдисто-графитовые → кварцево-хлоритовые, кварцево-биотитовые, биотито-хлоритовые → кварц-серицит-хлоритовые. Положение конгломератов верхней свиты на диаграмме не имеет определенной интерпретации, их образование могло происходить за счет внутриформационных размывов при обмелении бассейна седиментации. Хорошо выражен трансгрессивно-регрессивный цикл развития бассейна (на диаграмме показан стрелками) с максимумом трансгрессии, приходящимся на саксаганскую свиту.

Анализ значений Ce/La в породах серии показывает (табл. 1): среднее Ce/La для верхней свиты — 1,9 (вариации 1,77-2,4), для верхней части разреза свиты характерно увеличение Ce/La (среднее 2,11), по сравнению с нижней частью (среднее 1,83). Среднее Ce/La для железорудной свиты — 1,89, при более низком среднем для железистых горизонтов (1,85), более высоком для сланцевых (1,91). Среднее для нижней свиты — 2,03. Возрастание роли эндогенного вещества на осадкообразование наиболее проявлено при образовании железорудной свиты, достигает максимума на момент отложения железистых осадков. Данное предположение полностью согласуется с изменением Eu/Eu^* , имеющим максимально высокое значение в железистых горизонтах.

Таблица 1

Геохимические коэффициенты на основании лантаноидов для пород криворожской серии

свита	Ce/La	Ce/Ce^*	$\sum Ce/\sum Y$
	средние значения		
верхняя (K_3)	1,9	1,07	3,5
средняя железорудная (K_2)	1,89	1,57	2,6
нижняя (K_1)	2,03	1,57	4,1

Характер изменения величины Ce/Ce^* в породах криворожской серии следующий [45]: среднее для верхней свиты 1,07, при увеличении Ce/Ce^* для верхней части разреза (1,15) по отношению к нижней (0,98); среднее для железорудной свиты 1,57, при уменьшении Ce/Ce^* для железистых горизонтов (среднее 1,1) и увеличении для сланцевых (среднее 1,33); среднее для нижней свиты 1,57 (филлиты — 1,13; обломочные породы: метапесчаники, метагравелиты — 1,81). С учетом вариаций Ce/Ce^* в современных обстановках осадконакопления, формирование первичных осадков криворожской серии происходило в условиях эпи- или периконтинентального бассейна, характеризующегося более глубоководными условиями образования железистых горизонтов по

отношению к сланцевым для железорудной свиты; глинистых осадков по отношению к обломочным для нижней свиты; для верхней свиты осадкообразование нижней части разреза происходило в более глубоководных обстановках осадконакопления по отношению к верхней части. Таким образом, при формировании криворожской серии отмечается отсутствие достаточно удаленных от береговой суши обстановок седиментации; хорошо проявлена тенденция изменения Ce/Ce^* в породах и положения фигуративных точек на диаграмме LREE—MREE—(HREE×10), что подтверждает правильность выводов об условиях осадкообразования криворожской серии.

Средние значения $\sum Ce/\sum Y$ для криворожской серии приведены в таблице 1. Для верхней свиты среднее $\sum Ce/\sum Y$ — 3,5, при уменьшении значения в карбонатах (1,7) и увеличении в метапесчаниках (5,6), что может быть связано как с изменением климата (соотношение терригенной и карбонатной составляющих осадка при аридизации), так и изменением также характерны близкие средние $\sum Ce/\sum Y$ для метапесчаников (4,6) и сланцев (4,1). Для железорудной свиты среднее $\sum Ce/\sum Y$ — 2,6, при близких значениях для железистых (2,5) и сланцевых (2,6) горизонтов. Близость $\sum Ce/\sum Y$ в различных по условиям образования отложениях (хемогенные и терригенные) однозначно определяется удаленностью обстановок осадкообразования от береговой суши, характеризующихся незначительным влиянием климатической зональности. Среднее для пород нижней свиты $\sum Ce/\sum Y$ — 4,1, при этом более высокие значения характерны для более мелководных образований (метапесчаники, метагравелиты). На основании данного критерия климатические условия седиментации криворожской серии (с учетом большей глубины и удаленности от береговой суши первичной обстановки накопления пород железорудной свиты по отношению к подстилающим и перекрывающим отложениям (рис. 2)) определяются как гумидные или близкие к ним семигумидные.

Криворожская и курская серии нижнего протерозоя характеризуются близким характером распределения лантаноидов, на диаграмме LREE—MREE—(HREE×10) для курской серии ряда месторождений КМА наблюдаются аналогичные фациальные ряды (от более глубоководных к более мелководным по условиям образования): рудные кварциты → малорудные и безрудные кварциты → сланцы (биотитовые → мусковит-биотитовые → мусковитовые), метапесчаные породы на профиле не имеет четкого положения [46].

Высокая положительная европиевая аномалия, присутствующая во всех железорудных формациях докембрия [1, 51, 52, 54, 55], современных осадочно-гидротермальных металлоносных отложениях [5, 10] в настоящее время считается одним из главных критерием поступления эндогенного железа при образовании первичных железистых осадков. Поступление эндогенного вещества в формирующиеся осадки предполагается в виде гидротерм [26, 50], в то же время явных следов гидротермальной деятельности в джеспилитовых формациях не обнаружено [19, 28, 37].

Геохимические особенности (высокое значение Eu/Eu^* , низкое (<2) Ce/La) в джеспилитах криворожской серии однозначно подтверждают смешанный источник поступления железа в бассейны седиментации. Поступление железа и кремния в бассейн седиментации могло осуществляться за счет процессов флюидомассопереноса, обусловленных достаточно высокой проницаемостью коры в протерозое. Существующие условия в докембрии, такие как высокая проницаемость коры и ее незначительная толщина [60]; высокий прогрев коры [56]; приоритет вертикальной дифференциации мантии над горизонтальной, ее значительно большее влияние на эндогенные процессы: магматизм, гидротермальная деятельность [30], могли приводить к образованию флюидопроводимых систем, по которым мигрировали флюиды-газогидротермы, выступающие поставщиками эндогенного вещества с преобладающими в составе флюидов железом и кремнием. Согласно подсчетам А. Рингвуда (1972) [30] мантия содержит до 6,5 % железа, из которых почти 95 % находятся в гидротермально миграционно способной двухвалентной форме.

В центральных частях морских бассейнов, характеризующихся большей глубоководностью и более утоненной корой с близким расположением к поверхности мантии, активность процессов флюидомассопереноса была повышена, по сравнению с прибрежными зонами, поставка вещества могла происходить посредством газовых и газовой-водных эксгалляций на морском дне, например в виде арально-линейного механизма [20]. Флюидный (газовый, газовой-водный) тип поставки определял практическую неизменность первичных осадков, что обусловлено как длительностью процесса, приводящего к постепенному повышению концентрации железа и кремния в придонной части, так и относительной глубоководностью, которая затрудняла интенсивное изменение пород, способствовала накоплению элементов. Увеличение глубины палео-

бассейнов сопровождалось возрастанием проницаемости коры по мере ее утонения, уменьшением поступления терригенного материала с суши увеличением доли эндогенного вещества в наиболее глубоководных частях бассейнов, в частности железа и кремния, которые начинали выступать как значимая часть в составе железистых осадков. Другая часть железа и кремния продолжала поступать за счет переотложения вещества кор выветривания. Высокие концентрации железа и кремния на границе вода-дно способствовали образованию и осаждению первичного кремнево-железистого геля, дальнейшее преобразование которого приводило к образованию железистых осадков.

Необходимо подчеркнуть широкое развитие эксгалляционной деятельности и в современных обстановках седиментации, хотя масштабность процессов несоизмерима с докембрием. Для кайнозойского литогенеза Байкальской рифтовой зоны отмечается воздействие низкотемпературного гидротермального метасоматоза, обусловленного воздействием флюидо-газовых систем на осадки, что приводило как к их изменению, так и образованию новых аутигенных минералов (кальцита, доломита, сульфидов) [17]. Изучение распределения редких земель в фосфатах глубоководных фаций (глубоководные океанические бассейны рифтогенных континентальных окраин) [7] позволяет предположить влияние на фосфатообразование наряду с биогенными и эксгаллятивными процессами, приводящих к образованию углеродисто-фосфатных осадков со специфическим составом лантаноидов. Длительность формирования этих отложений является определяющей при развитии бактериально-диагенетических процессов, приводящих к многократному концентрированию рудных компонентов в процессе захоронения углеродистых осадков [36]. Влияние эксгаллятивных факторов на геохимический состав отмечается в океанических осадках подводных хребтов, областях накопления металлоносных осадков [10, 11, 21]. Общим для эксгалляционных процессов фанерозоя и протерозоя является их сопряженность с областями высокой проницаемостью коры, для протерозоя это наиболее глубоководные части морских бассейнов седиментации, для фанерозоя — рифтовые системы.

ВЫВОДЫ

Для криворожской серии отчетливо проявлен трансгрессивно-регрессивный этап осадкообразования, с максимумом трансгрессии приходящимся на железорудную свиту; джеспилиты саксаганской

свиты являются наиболее глубоководными образованиями на первоначальном профиле седиментации; образование серии в целом происходило в условиях гумидного климата, саксаганской свиты — в условиях гумидного или близкого к нему семигумидного; источник железа при формировании железо-кремнисто-сланцевой формации имеет полигенный характер: часть железа образована за счет переотложения продуктов выветривания, часть — за счет эндогенного механизма поставки (гидротермы, подводные эксгальции).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов / Ю. А. Балашов. — М.: Наука, 1976. — 268 с.
2. *Балашов Ю.А.* Изотопно-геохимическая эволюция мантии и коры Земли / Ю. А. Балашов. — М.: Наука, 1985. — 224 с.
3. *Белявцев Я.Н.* Стратиграфия и тектоника Криворожского бассейна / Я. Н. Белявцев // Сов. Геология. — № 11. — 1946. — С.3—24.
4. *Белявцев Я.Н.* Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна / Я. Н. Белявцев, Р. А. Белявцев. — Киев: Наук. думка, 1981. — 48 с.
5. *Бутузова Г.Ю.* Гидротермально-осадочное рудообразование в рифтовой зоне Красного моря / Г. Ю. Бутузова. — М.: ГЕОС, 1998. — 312 с. — (Тр. ГИН РАН; Вып. 508).
6. *Волков И.И.* Редкоземельные элементы в гидротермальных накоплениях железа и марганца в океане / И. И. Волков, А. В. Дубинин // Литология и полезные ископаемые. — № 6. — 1987. — С. 40—56.
7. *Горбачев О.В.* Углеродистые отложения древних континентальных окраин (геохимические особенности, формационные типы, эволюция) / О. В. Горбачев, Н. А. Созинов // Формации осадочных бассейнов. — М.: Наука, 1986. — С. 203—212.
8. *Горьковец В.Я.* Геология железисто-кремнистых формаций и эволюция железнакопления в раннем докембрии Балтийского щита / В. Я. Горьковец // Автор. дисс. на соиск. уч. ст. докт. геол.-мин. наук. — Воронеж, 1992. — 37 с.
9. *Горяинов П.М.* Новое направление дискуссии о происхождении железистых формаций? / П. М. Горяинов // Вестник Воронежского университета. Серия геологическая. — № 6. — 1998. — С. 16—29.
10. *Гурвич Е.И.* Металлоносные осадки Мирового океана / Е. И. Гурвич. — М.: Научный Мир, 1998. — 340 с.
11. *Дубинин А.В.* Редкоземельные элементы в металлоносных осадках Восточно-Тихоокеанского поднятия / А. В. Дубинин, И. И. Волков // Геохимия. — № 5. — 1986. — С. 645—662.
12. *Дубинин А.В.* Механизм накопления редкоземельных элементов на гидроксидах железа в океане / А. В. Дубинин, И. И. Волков // Геохимия. — № 8. — 1989. — С. 1089—1100.
13. *Ефремова С.В.* Петрохимические методы исследования горных пород / С. В. Ефремова, К. Г. Стафеев. — М., Наука, 1985. — 511 с.
14. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Типы формаций. — Киев: Наук. думка, 1988. — 192 с.
15. Изучение опорных геохимических разрезов. Методические рекомендации. — Л.: 1986. — 57 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. ордена Ленина науч.-исслед. Геол. ин-т им. А.П.Карпинского. Акад.наук СССР. Петрохим. Комис. Межвед.ком. при ОГГГ АН СССР).
16. *Илларионов А.А.* Петрография и минералогия железистых кварцитов Михайловского месторождения Курской магнитной аномалии / А. А. Илларионов. — М.: Наука, 1965. — 164 с.
17. *Кашик С.А.* Эволюция кайнозойского литогенеза в Байкальской рифтовой зоне в Прибайкалье. Генетический формационный анализ осадочных комплексов фанерозоя и докембрия / С. А. Кашик, Т. К. Ломоносова // Материалы 3-го Всероссийского литологического совещания, Москва. — М.: Изд-во Моск. ун-та. 2003. — С. 90—93.
18. *Конди К.* Архейские зеленокаменные пояса / К. Конди. — М.: Мир, 1983. — 390 с.
19. *Кулик Д.А.* Баланс вещества в осадочном цикле железнакопления в Криворожском бассейне / Д. А. Кулик, В. В. Покалюк // Литология и полезные ископаемые. — № 2. — 1990. — С. 36—49.
20. *Летников Ф.А.* Флюидный режим литосферы / Ф. А. Летников // Современная динамика литосферы континентов. Методы изучения / В. С. Хромовских, В. П. Солоненко, Ю. А. Щукин — М.: Недра, 1989. — С. 21—25.
21. *Лисицын А.П.* Металлоносные осадки Индийского океана / А. П. Лисицын, Ю. А. Богданов, В. В. Гордеев и др. — М.: Наука, 1987. — 168 с.
22. *Лисицын А.П.* Современные гидротермальные системы Мирового океана / А. П. Лисицын // Смирновский сборник. — М. 2000. — С. 32—76.
23. *Литовченко Н.И.* К проблеме происхождения железистых кварцитов / Н. И. Литовченко // Отечественная геология. — № 6. — 2001. — С. 70—76.
24. *Менард Дж.* Геохимия осадочных рудных месторождений / Дж. Менард. — М.: Мир, 1985. — 358 с.
25. *Михайлов Д.А.* Метасоматическое происхождение железистых кварцитов докембрия / Д. А. Михайлов. — Л.: Наука, 1983. — 168 с.
26. *Оникиенко Л.Д.* Газотермальные и гидротермально-осадочные метаморфизованные железные руды железисто-кремнистых формаций докембрия / Л. Д. Оникиенко // Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. докт. геол.-мин. наук. — Москва, 2001. — 19 с.
27. *Плаксенко Н.А.* О некоторых особенностях строения толщ метаморфических пород докембрия КМА, причинах их возникновения и стратиграфическом значении / А. Н. Плаксенко // Изв. АН СССР. Сер. геол. — № 3. — 1959. — С. 60—81.
28. *Плаксенко Н.А.* Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии /

Н. А. Плаксенко. — Воронеж, Изд-во ВГУ, 1966. — 264 с.

29. *Плаксенко Н.А.* Железисто-кремнистые формации докембрия Курской магнитной аномалии / Н. А. Плаксенко, И. К. Коваль, И. Н. Щеголев // Геология и генезис докембрийских железисто-кремнистых и марганцевых формаций мира. — Киев: Наукова Думка, 1972. — С. 76—85.

30. *Рингвуд А.Э.* Состав и эволюция верхней мантии / А. Э. Рингвуд // Земная кора и верхняя мантия. — М.: Мир, 1972. — С. 7—28.

31. *Ронов А.Б.* Проблемы эволюции химического состава осадочных пород и региональный метаморфизм / А. Б. Ронов, А. А. Мигдисов, С. Б. Ловач-Жученко // Геохимия. — № 2. — 1977. — С. 163—186.

32. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза / Н. М. Страхов. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — Т. II. — 534 с.

33. *Страхов Н.М.* Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли / Н.М. Страхов — М.: ГОНТИ, 1963. — 534 с.

34. *Тейлор С.Р.* Континентальная кора: ее состав и эволюция / С. Р. Тейлор, С. М. Мак-Леннан — М.: Мир, 1988. — 384 с.

35. *Холленд Х.* Химическая эволюция океанов и атмосферы / Х. Холленд. — М., Мир, 1989. — 552 с.

36. *Холодов В.Н.* Количественные палеогеографические реконструкции диагенетических преобразований в осадочных породах / В. Н. Холодов, Ю. О. Гаврилов, Р. И. Недумов // Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд. — М.: Наука, 1983. — С. 207—216.

37. *Холодов В.Н.* Проблемы геохимии железа и фосфора в докембрии / В. Н. Холодов, Г. Ю. Бутузова // Литология и полезные ископаемые. — № 4. — 2001. — С. 339—352.

38. *Холодов В.Н.* Проблемы сидеритообразования и железорудные эпохи. Сообщение 1. Типы сидеритсодержащих железорудных месторождений / В. Н. Холодов, Г. Ю. Бутузова // Литология и полезные ископаемые. — № 5. — 2004. — С. 451—473.

39. *Холодов В.Н.* Проблемы сидеритообразования и железорудные эпохи. Сообщение 2. Общие вопросы фанерозойского и докембрийского железорудного процесса / В. Н. Холодов, Г. Ю. Бутузова // Литология и полезные ископаемые. — № 6. — 2004. — С. 563—584.

40. *Шатров В.А.* Особенности поведения европия в экзогенных условиях (чехол Воронежской антеклизы) / В. А. Шатров // Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы. Материалы Международной конференции (В двух томах), Воронежский госуниверситет. — Воронеж, 2002. — С. 324—327.

41. *Шатров В.А.* Новые данные по распределению элементов-примесей в диагенетических образованиях Воронежской антеклизы / В. А. Шатров, В. М. Ненахов, В. И. Сиротин и др. // Геохимия. — № 4. — 2002. — С. 450—458.

42. *Шатров В.А.* Реконструкция обстановок осадконакопления метаосадочных пород нижнего протерозоя на основе редкоземельных элементов (на примере Восточно-Европейской платформы) / В. А. Шатров // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. — № 1. — 2004. — С. 38—42.

43. *Шатров В.А.* Редкоземельные элементы как индикаторы условий образования метаосадочных пород нижнего протерозоя / В. А. Шатров // Доклады Академии Наук. — Т. 397. — № 3. — 2004. — С. 396—399.

44. *Шатров В.А.* Реконструкция обстановок осадкообразования отложений девона геохимическими методами (на примере опорных разрезов Воронежской антеклизы) / В. А. Шатров, В. И. Сиротин, Г. В. Войцеховский, А. Н. Зеленская // Геохимия. — № 8. — 2005. — С. 856—864.

45. *Шатров В.А.* Редкие земли — индикаторы фациальных обстановок образования железистых кварцитов раннего протерозоя (на примере железорудных месторождений КМА и УКЦ) / В. А. Шатров, В. И. Сиротин, Ю. Ю. Бугельский и др. // VII Международная конференция «Новые идеи в науках о земле»: Материалы докладов. Т. 1. — М.: КДУ, 2005 — С. 160.

46. *Шатров В.А.* Фациальные обстановки образования железистых кварцитов КМА: геохимические реконструкции / В. А. Шатров, В. И. Сиротин, Ю. Ю. Бугельский и др. — Известия Высших учебных заведений. Геология и разведка. — № 5. — 2005. — С. 18—21.

47. *Шатров В.А.* Индикационные возможности микроэлементов для реконструкций обстановок образования меловых толщ (на примере Воронежской антеклизы) / В. А. Шатров, Г. В. Войцеховский // Третье Всероссийское совещание «Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии», Саратов, 26—30 сентября, 2006. Тезисы докладов. — Саратов, 2006. — С. 152—153.

48. *Щербак Н.П.* Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита / Н. П. Щербак, К. Е. Есипчук, Б. З. Березин и др. — Киев: Наук. думка, 1985. — 168 с.

49. *Щипакина И.Г.* Распределение редкоземельных элементов в метатерригенных породах кейвской серии Кольского полуострова / И. Г. Щипакина // Геохимия. — № 11. — 1994. — С. 149—155.

50. *Albert Ch.* Rare earth elements and neodymium isotopic compositions of the banded iron-formations and associated shales from Hamersley, Western Australia / Ch. Albert, H. McCulloch // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1993. — V. 57. — P. 187—204.

51. *Bau M.* Rare element systematics of the chemically precipitated in early Precambrian iron formations and evolution of the terrestrial atmosphere-hydrosphere-lithosphere system / M. Bau, P. Müller // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1993. — V. 57. — P. 2239—2249.

52. *Fryer B.J.* Rare earth evidence in iron-formation for changing Precambrian oxidation states / B. J. Fryer // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1977. — V. 41. — P. 361—367.

53. *Goodwin A.M.* Archean iron-formation and tectonic basins of the Canadian Shield / A. M. Goodwin // Econ.

Geology. 1973. — V. 68. — № 7. — P. 915—933.

54. *Graf J.L.* Rare earth elements in iron formations and seawater / J. L. Graf // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1978. — V. 42. — P. 1845—1850.

55. *Danielson A.* The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of oceanic crust / A. Danielson, P. Müller, P. Dulski // *Chem. Geol.* 1992. — V. 97. — P. 89.

56. *Nisber E.G.* The young Earth / E. G. Nisber. Eds Allen, Unwin. Boston: Mass, 1987. — 402 p.

57. *Murray R.W.* Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale / R. W. Murray, M. R. Buchholtz ten Brink, D. L. Jones et al. // *Geology.* 1990. — V. 18. — P. 268—271.

58. *Murray R.W.* Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behaviour of Ce/Ce*: results from ODP Leg 127 / R. W. Murray, M. R. Buchholtz ten Brink,

P. R. Brumsack et al. // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1991. — V. 55. — P. 2453—2466.

59. *Sun S.S.* Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S. S. Sun, W. F. McDonough // *Magmatism in the Oceanic Basin* / A. D. Saunders and M. J. Norry, eds. / *Geol. Soc. Sp. Publ.* 1989. — V. 42. — P. 313—345.

60. *Taylor S.R.* The continental crust: its composition and evolution / S. R. Taylor, S. M. McLennan. — Boston: Balckwell, 1985. — 312 p.

61. *James H.L.* Sedimentary facies of iron formation / H. L. James // *Econ. Geoljgy.* 1954. — V. 49. — № 3. — P. 235—393.

62. *James H.L.* Distribution of banded iron formation in space and time / H. L. James // *Iron formation: facts and problems.* Amsterdam. Oxford, N.Y., Tokio: Elsevier, 1983. — P. 470—491.