

УДК 550.42:553.3.072

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ДИКТИОНЕМОВЫХ СЛАНЦАХ ПРИБАЛТИЙСКОГО ОСАДОЧНОГО ПАЛЕОБАССЕЙНА

© 2024 г. В. И. Вялов^{1, 2, *}, А. В. Наставкин^{2, **}, Г. А. Олейникова^{1, ***}, Е. П. Шишов^{1, ****},
Т. А. Дю^{2, *****}

¹ФГБУ “Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского”
Санкт-Петербург, 199106 Россия

²ФГАОУ ВО “Южный федеральный университет”, Ростов-на-Дону, 344006 Россия

*e-mail: Vladimir_Vyalov@karpinskyinstitute.ru

**e-mail: nastavkin@sfedu.ru

***e-mail: Galina_Oleynikova@karpinskyinstitute.ru

****e-mail: Evgeny_Shishov@karpinskyinstitute.ru

*****e-mail: Dyu.timr94@gmail.com

Поступила в редакцию 15.11.23 г.

После доработки 29.11.23 г.

Принята к публикации 20.12.23 г.

Приведены результаты исследования редкоземельных металлов, содержащихся в диктионемовых сланцах палеозоя Прибалтийского осадочного бассейна. На территории изученной Кайболово-Гостилицкой поисковой площади, на большом фактическом и аналитическом материале, установлены высокие, вплоть до потенциально промышленных, содержания редкоземельных элементов. Средняя концентрация РЗЭ составляет 289 г/т с максимумами до 724 г/т. РЗЭ находятся в диктионемовых сланцах в различных формах (в минеральной, органической, ионной, молекулярной, коллоидной). Преобладает вхождение РЗЭ в минеральную часть диктионемовых сланцев. В изученных диктионемовых сланцах доля тяжелых (и наиболее ценных) лантаноидов (15.6% от общего количества) в 2 раза выше, чем в рудных месторождениях. Это, и наличие крупных геологических ресурсов РЗЭ в диктионемовых сланцах Прибалтийского региона России, определяют необходимость их комплексного освоения с другими попутными компонентами.

Ключевые слова: диктионемовые сланцы, редкоземельные элементы, Прибалтийский осадочный бассейн, металлоносность

DOI: 10.31857/S0023117724030025 EDN: NCKKPL

ВВЕДЕНИЕ

В Ленинградской области, в широтном направлении, от реки Нарва на западе до района реки Сясь на востоке прослеживается примерно на 300 км Прибалтийский осадочный палеозойский бассейн черных (горючих и диктионемовых) сланцев. Диктионемовые сланцы считаются потенциальным низкосортным энергетическим топливом — их теплотворная способность 1060–1300 Ккал/кг (4.44–5.44 МДж/кг). Диктионемовые сланцы обладают большой площадью распространения и, соответственно, огромными ресурсами, которые при средней мощности пласта 2 м (до глубины 100 м) на Ижорском участке Прибалтийского бассейна составляют 5.7 млрд т [10], а на изученной нами Кайболово-Гостилицкой площади, при средней мощности пласта

3.43 м — 4.9 млрд т. При практической бесперспективности топливного использования диктионемовых сланцев, в отличие от имеющихся в регионе кукурситов, они давно предполагаются в качестве возможного источника урана, редких и рассеянных элементов [6, 10].

Редкоземельные элементы (РЗЭ) представляют особый интерес, так как все более широко, в возрастающих объемах, применяются в различных отраслях промышленности и новых технологиях. Материалы, произведенные с применением РЗЭ востребованы в передовых технологиях в приборостроении, машиностроении, электронике, оптике, являясь ключевыми компонентами технологий. Спрос на РЗЭ устойчиво растет, по ряду отдельных элементов возрастают цены и увеличивается дефицит. В России редкоземельные элементы отнесены к стратегическо-

му минеральному сырью, иттриевая группа РЗЭ по количеству и качеству балансовых запасов относится к группе дефицитных полезных ископаемых [16, 17].

Ранее были сообщения, что РЗЭ в диктионемовых сланцах отмечались в промышленных концентрациях [1]. В этой связи, авторами сначала была предпринята попытка изучения РЗЭ в диктионемовых сланцах на ограниченном фактическом материале [8]. Было установлено среднее содержание РЗЭ + Y в среднем 245 г/т, в своих максимальных концентрациях (до 317 г/т) не достигающее оценочных значений в 340 г/т по [7, 9]. С целью решения вопроса о наличии минимально-промышленных концентраций РЗЭ в диктионемовых сланцах проведено настоящее исследование на большом аналитическом материале (673 анализа методом масс-спектрометрии), изучены особенности распределения редкоземельных элементов на Кайболово-Гостилицкой площади и в разрезе пласта диктионемовых сланцев, исследованы формы нахождения РЗЭ в диктионемовых сланцах.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использован каменный материал, полученный при бурении 96 поисковых скважин, в пределах Кайболово-Гостилицкой площади Ленинградской области в 2012–2014 гг. Аналитические определения концентраций РЗЭ в диктионемовых сланцах (всего 673 бороздовых и штучных пробы из керна скважин) проводились в Центральной лаборатории Института Карпинского (аналитики Кудряшов В.Л., Шишлов В.А.) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) по методикам предприятия, включающим оптимальный для РЗЭ способ разложения исходной пробы – сплавление с флюсом с последующим растворением в кислотах [13]. Для изучения нахождения РЗЭ в ОВ черных сланцев произведено выделение гуминовых кислот (их содержание в среднем 15%), карбоновых кислот, в т.ч. фульвокислот, и других экстрагентов различными растворителями (перекисью водорода, бензолом) по методикам [3, 11] из пробы сланца с низкой концентрацией РЗЭ (аналитик А.А. Гонцов, ВНИГРИуголь). Также применялся нанотехнологический способ извлечения [14] редкоземельных металлов из двух проб сланцев, анализ нанофракций методом масс-спектрометрии на содержания

РЗЭ. Вещественно-петрографический состав диктионемовых сланцев изучался на микроскопе *Leica DMLP*, а также на растровом электронном микроскопе *VEGA II LMU* (фирмы “*Tescan*”) с энергодисперсионным микроанализом *INCA ENERGY 450/XT* (фирмы “*OXFORD Instruments*”) в Центре исследований минерального сырья и состояния окружающей среды Южного федерального университета, а также в ЦЛ Института Карпинского, где произведено дополнительное изучение минеральных примесей диктионемовых сланцев. Препараты для петрографического изучения (шлифы, аншлиф-штуфы), были изготовлены в углепетрографической лаборатории Института Карпинского. Обработка полученной аналитической информации производилась при помощи корреляционного анализа (ранговой корреляции Спирмена) содержаний элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам анализа 673 проб диктионемовых сланцев методом *ICP-MS*, содержание суммы лантаноидов и иттрия в диктионемовых сланцах колеблется от 95 до 724 г/т, т.е. в 2 раза и более выше оценочных кондиций (340 г/т по [6, 9]), а среднее суммарное содержание РЗЭ для всей Кайболово-Гостилицкой площади составляет 289 г/т. По этим данным построена схема распределения РЗЭ по площади развития пласта на изученной территории (рис. 2).

РЗЭ на площади развития пласта диктионемовых сланцев распространены относительно равномерно, выделяются крупные участки с содержанием РЗЭ от 250 до 300 г/т, линзовидной формы и один – более 300 г/т.

Схема распределения сравнительно однородных концентраций РЗЭ в разрезе пласта диктионемовых сланцев и распределение РЗЭ в ниже залегающих оболовых песчаниках представлена на рис. 3. Там же показано, для сравнения, распределение РЗЭ в ниже залегающих оболовых песчаниках.

Относительное количество тяжелых лантаноидов, или иттриевых (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) в общей концентрации всех лантаноидов составляет 15.6% (рассчитано по [8]). Важно отметить, что в диктионемовых сланцах доля тяжелых (и наиболее ценных) лантаноидов значительно больше, чем в мировых рудных запасах РЗЭ, где на долю тяжелых РЗЭ приходится всего около 7% [12].

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ РЗЭ
В ДИКТИОНЕМОВЫХ СЛАНЦАХ

Особенности вещественно-петрографического, минералогического состава сланцев достаточно хорошо изучены [4, 5, 8 и др.]. Диктионемовые сланцы состоят из минеральной части (85–90%) и из органического вещества (ОВ) граптолитов и низших водорослей (до 15%). На рис. 1, а, б представлены наши последние исследования особенностей петрографического состава диктионемовых сланцев: остатки граптолитов (зоохитинит), встречающиеся по всему разрезу пласта и фосфатные конкреции. На рис. 1, в, г показаны основные компоненты минеральной части диктионемовых сланцев: кварц, кальцит, апатит, пирит. По результатам последних исследований в ЦЛ Института Карпинского (2023 г.) в составе диктионемовых сланцев подтверждается наличие минералов редкоземельных элементов — монацита и апатита (рис. 1, д, е) с примесями РЗЭ (табл. 1).

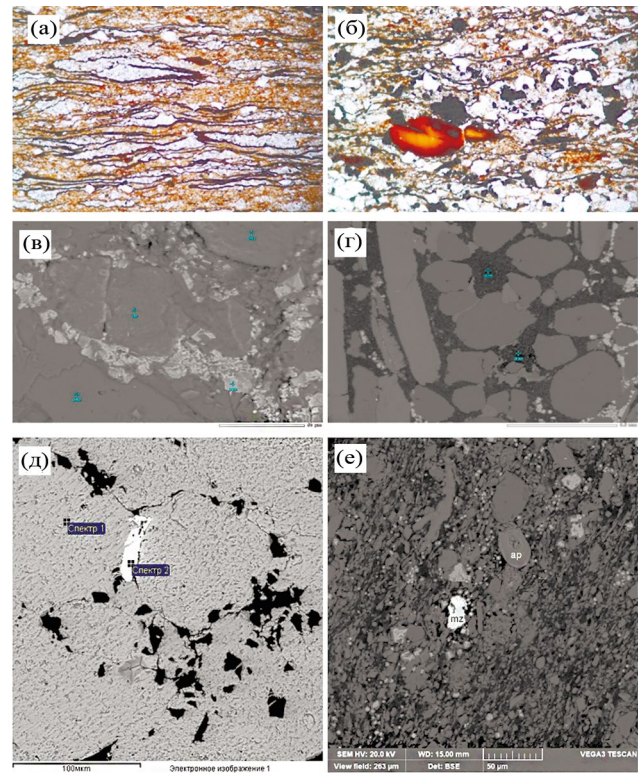


Рис. 1. Петрографический состав диктионемовых сланцев: а — теки граптолитов, огибают алевроитовые гнезда. Николи II, увеличение 200; б — фосфатные конкреции. Николи II, увеличение 200; в — фторапатит (вверху справа), пирит (светло-серый), кальцит (внизу); г — апатит (серое), кварц (темно-серое), пирит (светло-серое), органическое вещество (черное); д — монацит (белое) в натечно-зональном пирите из диктионемовых сланцев; е — апатит (ap) и монацит (mz).

Таблица 1. Содержания РЗЭ и U в аксессуарах диктионемовых сланцев (см. рис. 1, е) по данным микрозондирования

Монацит	Вес. %	Апатит	Вес. %
O	27.6	O	38.0
Al	0.3	F	3.9
P	13.4	Na	0.8
La	13.8	P	15.5
Ce	31.1	S	1.1
Pr	2.9	Ca	39.4
Nd	9.9	Fe	0.3
Gd	0.8	Ce	0.5
U	0.2	U	0.5
Всего	100	Всего	100

Из данных табл. 1 следует, что в апатите из РЗЭ в заметном количестве устанавливается только Се (0.53%). В аксессуарном (принесенном из области сноса) монаците спектр РЗЭ значительно шире — не только преобладающий Се (31.1%), но и La, Pr, Nd, Gd.

Редкоземельные элементы имеют высокую положительную корреляционную связь с фосфором (коэффициент корреляции 0.76). Действительно, РЗЭ в сланцах локализованы в разновидностях фосфорита. В диктионемовых сланцах фосфорит обнаруживается двух типов: карбонат-фтор-apatит обломков раковин (Са, F, Р), и апатит в виде мелких кристаллов, диагностированный нами при электронно-микроскопических исследованиях (рис. 1), а также представленный в [8]. Корреляционная связь РЗЭ с марганцем (0.77) и железом (0.63) по всей видимости отражает осаждение с Mn-Fe-гидроксидными фазами преобладающего в составе РЗЭ церия. В табл. 2 приведены кларковые концентрации РЗЭ — по отношению к кларку РЗЭ в верхней континентальной коре по [18]. Характер отношений и кларковых концентраций указывает на осадконакопление в пассивной окраинно-континентальной обстановке, на наличие в областях питания древнего бассейна кислых магматических образований и гипергенную природу концентраций РЗЭ в изученных сланцах.

Таким образом, вклад в общее содержание РЗЭ в диктионемовых сланцах вносят собственно редкоземельные минералы — монацит, а также разновидности фосфатов.

Вопрос, входят ли РЗЭ в органическое вещество диктионемовых сланцев, решался экспери-

Таблица 2. Средние содержания редкоземельных элементов в ДС, и их отношение к кларкам РЗЭ в верхней континентальной коре

Элемент	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
Среднее содержание в ДС, г/т	31.6	73.5	9.4	39.6	8.50	1.96	8.6	1.36
Содержание в верхней континентальной коре по [15], г/т	30.0	64.0	7.1	26.0	4.5	0.88	3.8	0.64
КК	1.1	1.1	1.3	1.5	1.9	2.2	2.3	2.1
Элемент	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣРЗЭ
Среднее содержание в ДС, г/т	8.3	1.72	4.8	0.7	4.3	0.54	50.2	245
Содержание в верхней континентальной коре по [15], г/т	3.5	0.80	2.3	0.3	2.2	0.32	22.0	164
КК	2.4	2.2	2.1	2.3	2.0	1.7	2.3	1.5

Таблица 3. Концентрации элементов во фракциях диктионемовых сланцев, г/т (в скобках, рядом с индексом элемента — концентрация в рядовой пробе сланца с низкой концентрацией РЗЭ, подвергнутой экстракции)

	La (19)	Ce (25.4)	Pr (2.58)	Nd (8.74)	Sm (1.4)	Eu (0.44)	Gd (1.08)
B-1	6.42	8.38	0.80	2.64	0.46	0.11	0.43
B-2	13.65	22.60	2.42	8.70	1.51	0.32	1.48
B-3	18.55	24.95	2.44	8.15	1.32	0.34	1.23
B-4	20.95	27.50	2.72	9.60	1.57	0.41	1.58
B-5	23.40	30.65	3.05	10.12	1.79	0.42	1.63
B-6	4.67	9.28	1.04	4.02	0.73	0.16	0.80
Предел обнаружения	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.005	0.01
	Tb (0.17)	Dy (0.87)	Ho (0.18)	Er (0.61)	Tm (0.11)	Yb (1.03)	Lu (0.16)
B-1	0.05	0.30	0.06	0.20	0.04	0.32	0.05
B-2	0.19	1.16	0.24	0.76	0.12	0.93	0.15
B-3	0.15	0.80	0.19	0.53	0.10	0.95	0.14
B-4	0.19	0.90	0.18	0.57	0.10	0.94	0.15
B-5	0.19	1.00	0.21	0.59	0.11	0.98	0.15
B-6	0.10	0.50	0.09	0.23	0.03	0.21	0.03
Предел обнаружения	0.01	0.01	0.01	0.01	0.005	0.01	0.002

B-1 — гуминовые кислоты; B-2 — остаток после обработки HNO_3 ; B-3 — остаток после обработки перекисью водорода; B-4 — остаток после экстракции бензолом; B-5 — остаток после удаления гуминовых веществ; B-6 — водорастворимые карбоновые кислоты, в т.ч. фульвокислоты (собранные на активированном угле).

ментальным путем, экстрагированием диктионемовых сланцев различными растворителями (обработка HNO_3 , перекисью водорода, бензолом) с выделением гуминовых кислот (в среднем 15%). Затем экстрагенты были проанализированы методом масс-спектрометрии (табл. 3). В гуминовых кислотах, а также в карбоновых, в т.ч. фульвокислотах, устанавливается заметное (около 5–10% от общего количества, для данной пробы) содержание РЗЭ. Это показывает, что органическое вещество диктионемовых сланцев концентрировало РЗЭ, даже в пробе сланца с низким общим содержанием РЗЭ (менее 65 г/т, без иттрия).

Применен также нанотехнологический способ извлечения редкоземельных металлов из диктионемовых сланцев по методике [14]. При этом извлекается нанодисперсия (1–1200 нм), частицы которой находятся в породе в ионной,

молекулярной и коллоидной формах, относительно прочно связаны с минеральной матрицей и являются наиболее подвижными и легко извлекаемыми водой при определенных условиях. В табл. 4 приведены результаты исследований — содержание нанодисперсий в %, результаты масс-спектрометрии РЗЭ в исходных пробах и в выделенных из них нанодисперсиях, а также относительное количество (в %) РЗЭ, перешедшее в нанодисперсию.

Результаты показывают, что небольшая часть РЗЭ (первые проценты) находится в веществе диктионемовых сланцев в ионной, молекулярной и коллоидной формах, т.е. относительно прочно связана с минеральной матрицей. Присматривается особенность: легких лантаноидов в нанодисперсии меньше всего (поскольку они находятся в минеральной форме — в монаците — см. табл. 1). Далее, для средних лантаноидов,

Таблица 4. Результаты анализа методом масс-спектрометрии: рядовых проб/нанодифракций, г/т, в скобках – относительное количество РЗЭ, перешедшее в нанодифракцию

N	Выход нано- фракции, %	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
ДГ-02	2.74	35.4/15.9 (1.2%)	83.2/72.4 (2.4%)	10.8/14.44 (3.9%)	45.2/67.3 (4.1%)	9.3/19.1 (5.6%)	1.76/4.2 (6.5%)	9.44/24.7 (7.2%)
ДС-59	2.08	35.5/58.7 (3.4%)	85.9/135.4 (3.3%)	10.8/20.5 (3.9%)	45.9/82.9 (3.8%)	10.2/22.7 (4.6%)	2.2/5.2 (4.9%)	11.0/32.8 (6.2%)
N	Выход нано- фракции, %	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ДГ-02	2.74	1.4/3.7 (7.2%)	8.7/20.3 (6.4%)	1.6/3.8 (6.8%)	4.3/9.5 (6.0%)	0.61/1.04 (4.7%)	3.63/5.6 (4.2%)	0.49/0.71 (4.0%)
ДС-59	2.08	1.6/4.6 (6.0%)	10.1/26.9 (5.6%)	1.9/5.4 (6.1%)	5.0/14.4 (6.0%)	0.7/1.5 (4.6%)	4.5/9.1 (4.2%)	0.6/1.2 (4.0%)

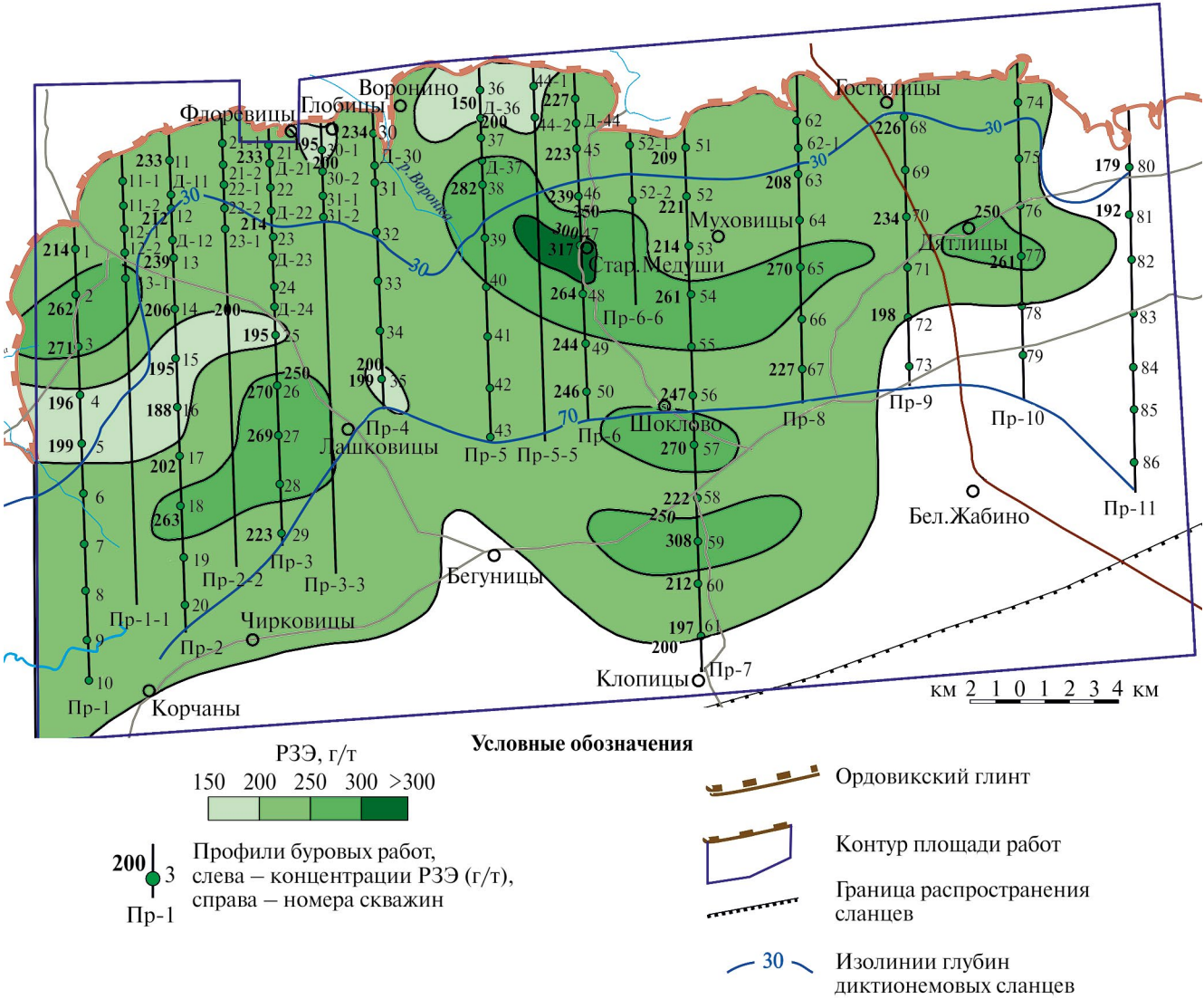


Рис. 2. Распределение средних концентраций РЗЭ по скважинам в пласте диктионемовых сланцев в пределах Кайболово-Гостилицкой площади.

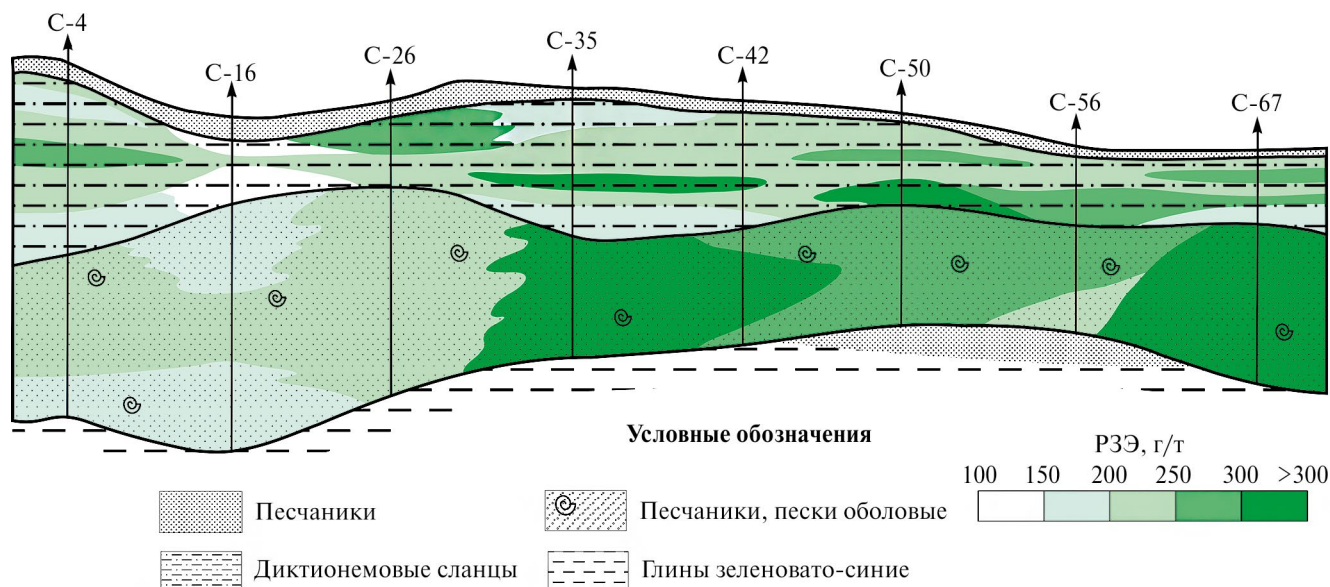


Рис. 3. Распределение РЗЭ в разрезе пласта диктионемовых сланцев и оболочевых песчаников по профилю скважин С-4–С-67. Масштаб горизонтальный 1 : 100 000, вертикальный для сланцев и песчаников 1 : 100, для надсланцевой толщи – 1 : 1000.

происходит ухудшение (в 1.5–2 раза) связей с минеральной матрицей; затем для самых тяжелых лантаноидов эти связи улучшаются, но они все же несколько слабее, чем для La и Ce. Отметим, что концентрации РЗЭ в нанотрациях, в основном, значительно превышают содержания в рядовых пробах. Для пробы “ДС-59” сумма РЗЭ 421 г/т выше оценочных концентраций (340 г/т) даже без учета иттрия.

Таким образом, РЗЭ находятся в диктионемовых сланцах в различных формах: в минеральной, органической, ионной, молекулярной и коллоидной. Но РЗЭ акцессорного монацита, встречающегося в единичных случаях, вряд ли могут вносить заметную долю в их общую концентрацию в диктионемовых сланцах. Вклад РЗЭ апатитов, образованных по обломкам раковин *Obolus* более весомый вследствие их значительно большего количества в петрографическом составе сланцев, чем монацита, но в них обнаруживается в заметном количестве только Се (табл. 1). Часто диагностируемый мелкокристаллический апатит [8] может нести в себе значительную часть РЗЭ минеральной части сланцев. Фосфатное замещение и раскристаллизация склерозии ([8], рис. 1, в, г) с активным образованием мелких кристаллов апатита происходило в процессе диагенеза. Сланцеобразование осуществлялось в пассивной окраинно-континентальной обстановке области с

высокой биологической продуктивностью фитопланктона, ведущей к накоплению обогащенных подвижным фосфором биогенных осадков и формированию в них диагенетических фосфатных образований [8]. Этот процесс захватывал РЗЭ из водных растворов. Положительная корреляционная связь редкоземельных элементов с кальцием, натрием, магнием (табл. 2) свидетельствует о накоплении РЗЭ в щелочной или слабощелочной обстановке. А наличие РЗЭ в органическом веществе, гуминовых, карбоновых кислот, фульвокислотах свидетельствует о диагенетических процессах органоминерального взаимодействия РЗЭ с ОВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна, на территории изученной Кайболово-Гостилицкой поисковой площади, на большом фактическом материале подтверждено повышенное, в отдельных случаях вплоть до потенциально промышленного, содержание редкоземельных элементов (в одном из промышленных типов руд РЗЭ – лейкоксен-кварцевых нефтеносных песчаниках среднее содержание $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ в руде 0.04%, на $\Sigma \text{РЗЭ}$ – 340 г/т [9]). Среднее содержание РЗЭ в диктионемовых сланцах на указанной площади составляет 289 г/т, максимальные концентрации достигают 724 г/т.

РЗЭ на площади развития пласта диктионемовых сланцев распространены относительно равномерно, выделяются крупные площадные участки с содержанием РЗЭ от 250 до 300 и более г/т.

РЗЭ находятся в диктионемовых сланцах в различных формах (в минеральной, органической, ионной, молекулярной и коллоидной). Видимо, преобладает вхождение РЗЭ в минеральную часть диктионемовых сланцев. Установлена заметная роль органического вещества сланцев в концентрации РЗЭ.

В диктионемовых сланцах структура тяжелых (и наиболее ценных) лантаноидов (15.6% в общем количестве) значительно лучше, чем в рудных месторождениях (7%). Это, а также наличие крупных геологических ресурсов РЗЭ (прогнозные ресурсы на Кайболово-Гостилицкой площади по категории РЗ 1299 тыс. т., потенциально промышленные запасы РЗЭ 155.8 тыс. т), их высокая стоимость (467.5 млрд. руб.) определяют наличие крупной нетрадиционной минерально-сырьевой базы РЗЭ в Прибалтийском регионе России и необходимость ее комплексного освоения, которое может быть рентабельным в совокупности с ураном и другими ценными металлами [2] — технологии комплексной переработки углерод-кремнеземистых черносланцевых руд с извлечением РЗЭ и ряда других ценных металлов имеются [15 и др.].

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00427, <https://rscf.ru/project/23-27-00427/>.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтгаузен М.Н.* // Горючие сланцы. 1992. № 9. С. 194 [Oil Shale, 1992, vol. 9, no.3, p.194].
2. *Балахонова А.С., Вялов В.И., Неженский И.А., Семенов Е.В., Мирхалевская Н.В.* // Региональная геология и металлогения. 2013. № 56. С. 88.
3. *Бамбалов Н.Н.* // ХТТ. 2020. № 5. С. 31. <https://doi.org/10.31857/S0023117720050023> [Solid Fuel Chemistry, 2020, vol. 54, no.5, p. 280. <https://doi.org/10.31857/S0023117720050023>]
4. *Вялов В.И., Балахонова А.С., Гамов М.И., Попов Ю.В., Наставкин А.В.* // Руды и металлы. 2013. № 6. С. 14.
5. *Вялов В.И., Ларичев А.И., Балахонова А.С.* // Региональная геология и металлогения. 2013. № 55. С. 87.
6. *Вялов В.И., Миронов Ю.Б., Неженский И.А.* // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2010. № 5. С. 19.
7. *Вялов В.И., Наставкин А.В.* // ХТТ. 2019. № 5. С. 63. <https://doi.org/10.3103/S0361521919050112> [Solid Fuel Chemistry, 2019, vol. 53, no.5, p. 314. <https://doi.org/10.3103/S0361521919050112>]
8. *Вялов В.И., Панова Е.Г., Семенов Е.В., Гамов М.И., Попов Ю.В., Ключарев Д.С.* // Руды и металлы. 2014. № 1. С. 30.
9. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Выпуск 26. Редкоземельные металлы. ФГБУ “Росгеолфонд”. М., 2019. С. 5.
10. *Киселев И.И., Проскуряков В.В., Саванин В.В.* Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. Санкт-Петербург. 2002. 236 с.
11. *Москаленко Т.В., Михеев В.А., Ворсина Е.В.* // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 2. С. 435.
12. Обзор рынка редкоземельных элементов (металлов) в СНГ и мире. ООО “ИГ “ИНФОМАЙН”, 11-е издание. М. 2018. Полная версия — 166 с. на сайте <http://www.infomine.ru/research/38/48>. Демонстрационная версия — 29 с., с. 16.
13. *Олейникова Г.А., Кудряшов В.Л., Вялов В.И., Фадин Я.Ю.* // ХТТ. 2015. С. 51. <https://doi.org/10.3103/S0361521915020093> [Solid Fuel Chemistry, 2015, vol. 49, no.2, p. 109. <https://doi.org/10.3103/S0361521915020093>]
14. *Олейникова Г.А., Панова Е.Г., Вялов В.И., Кудряшов В.Л., Сербина М.Н., Фадин Я.Ю.* Нанотехнологический способ извлечения рения из пород и руд черносланцевых формаций и продуктов их переработки. Патент РФ № 2455237. Оpubл. 10.07.2012.
15. *Сарычев Г.А., Денисенко А.П., Зацепина М.С., Денгинова С.Ю., Татаринов А.С., Смирнов К.М., Пеганов В.А.* Способ комплексной переработки углерод-кремнеземистых черносланцевых руд. Патент РФ № 2477327. Оpubл. 10.03. 2013.
16. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2473-р от 30 августа 2022 г. Перечень основных видов стратегического минерального сырья. М., 2022.
17. Распоряжение Правительства РФ от 22.12.2018 №2914-р “Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года” // Собрание законодательства РФ. 31.12.2018. № 53 (часть II). с. 8762.
18. *Taylor S.R., McLennan S.M.* // Rev. Geophys. 1995. V. 33. № 2. P. 241. <https://doi.org/10.1029/95RG00262>.

Rare-Earth Elements in Dictyonema Shales of the Baltic Sedimentary Paleobasin**V. I. Vyalov^{1, 2, *}, A. V. Nastavkin^{2, **}, G. A. Oleynikova^{1, ***}, E. P. Shishov^{1, ****}, T. A. Dy^{2, *****}**

¹*Federal State Budgetary Enterprise "Karpinsky Russian Geological Research Institute",
Saint-Petersburg, 199106 Russia*

²*Southern Federal University (SFedU), Rostov-on-Don, 344006 Russia*

**e-mail: Vladimir_Vyalov@karpinskyinstitute.ru*

***e-mail: nastavkin@sfedu.ru*

****e-mail: Galina_Oleynikova@karpinskyinstitute.ru*

*****e-mail: Evgeny_Shishov@karpinskyinstitute.ru*

******e-mail: Dyu.timr94@gmail.com*

The results of a study of rare-earth metals in dictyonema shales of the Paleozoic Baltic sedimentary basin, have been given. On the territory of the studied Kaibolovo-Gostilitsy prospecting area, high up to potentially industrial contents of rare-earth elements were confirmed on a large factual and analytical material. The average REE concentration is 289 g/t with maximum up to 724 g/t. REE are found in dictyonema shales in various forms (mineral, organic, ionic, molecular, colloidal). Apparently, the occurrence of REE in the mineral part of dictyonema shales prevails. The proportion of heavy (and most valuable) lanthanides (15.6% in the relative total amount) in the studied dictyonema shales is twice the ore deposits range. This, and the presence of large geological resources of the REE in the dictyonema shales of the Baltic region of Russia, determine the need for their integrated development with other associated components.

Keywords: *dictyonema shales, rare-earth elements, Baltic sedimentary basin, containing a metallic elements*