

Ключарев Д.С.<sup>1</sup>, Соесоо Алвар<sup>2</sup> (1 — ФГБУ «ИМГРЭ»,  
2 — Геологическая служба Эстонии)

### РУДНОЕ БУДУЩЕЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

*Дана краткая характеристика металлоносности горючих сланцев мира. Приведены краткое описание диктиономовых сланцев (граптолитовых аргиллитов) Прибалтийского сланцевого бассейна, содержания редкоземельных металлов и урана. Кратко описаны технологические процессы выщелачивания урана из сланцев. Проанализированы результаты экспериментальных исследований по выщелачиванию редкоземельных металлов из диктиономовых сланцев различными растворителями. Сопоставлены содержания металлов в сланцах Прибалтийского и Приволжского сланцевых бассейнов. Сделан вывод о потенциальной возможности переработки сланцев как комплексной руды. **Ключевые слова:** диктиономовые сланцы, редкоземельные металлы, уран, металлоносные сланцы, выщелачивание, комплексная руда.*

Klyucharev D.S.<sup>1</sup>, Soesoo Alvar<sup>2</sup> (1 — IMGRE, 2 — Geological survey of Estonia)

### ORE FUTURE OF COMBUSTIBLE SHALES

*A brief review of the metalliferous combustible shales of the world is shown. A description of the dictyonema shales (graptolite argillites) of the Baltic shale basin is given. The concentrations of rare-earth metals and uranium in this rocks is not so high, but the forms of accumulation of metals give a possibilities for the leaching. The main features of the technological processes of uranium leaching from shales are briefly described. The results of experimental studies on the leaching of rare-earth metals and uranium from dictyonema shales with various solvents are analyzed. The comparison of metal contents of the dictyonema shales of the Baltic basin and combustible shales of Volga shale basin is done. The conclusion about the potential processing shale like a complex uranium-rare metals ore is made. **Keywords:** dictyonema shales, rare-earth metals, uranium, metalliferous shales, leaching, complex ore.*

Углеродистые черносланцевые формации, широко распространенные на всех континентах Земли, охватывают возрастной диапазон от докембрия до кайнозоя. Повышенный интерес к горючим сланцам во многих странах связан не только с возможностью подземной добычи углеводородов — сланцевых нефти и газа, но и в связи с открытием нетрадиционных, в том числе суперкрупных и уникальных месторождений золота, урана, марганца, железа, ванадия, свинца и цинка. Руды месторождений подобного типа характеризуются сложным составом и требуют разработки специальных технологий обогащения.

Особую группу минерального сырья формируют горючие сланцы с содержанием органического вещества (керогена) 10–30 %, а в редких случаях и до 70 %. Прежде всего, горючие сланцы являются сырьем для химической и топливной промышленности, тепловой гене-

рации. В той или иной степени все горючие сланцы металлоносны (табл. 1). Помимо углеводородных соединений в горючих сланцах выявлены повышенные концентрации металлов, таких как медь, уран, ванадий, молибден, редкоземельные металлы, рений и др. [3, 8, 11].

Одними из наиболее типичных и хорошо изученных с точки зрения металлоносности являются горючие сланцы (диктиономовые сланцы — синоним граптолитовые аргиллиты) Прибалтийского сланцевого бассейна. Сланцевые толщи локализованы в юго-западном и южном обрамлении Балтийского кристаллического щита и входят в состав венд-палеозойского платформенного чехла. Горизонт диктиономовых сланцев протягивается из Норвегии, Дании в южную Швецию и из Ленинградской области Российской Федерации через Эстонию к северному побережью Польши (рис. 1).

Макроскопически диктиономовые сланцы — тонкозернистые, неметаморфизованные, обогащенные керогеном (8–20 %) слаболифитизированные глины и аргиллиты. Горизонт залегает субгоризонтально, полого погружаясь с выклиниванием в южном направлении. Также сланцевый горизонт выклинивается на восточной границе распространения сланцев. Мощность пласта диктиономовых сланцев меняется от 4,5–5 м на западе (п-ов Пакри, Эстония) до 15–20 см на востоке (Саблино, Ленинградская область) (рис. 2).

Для диктиономовых сланцев характерны повышенные, до высоких, содержания U (180–1200 г/т), Mo (до 1000 г/т), V (до 1600 г/т), Ni, PЗМ, Ti, Re, Sc и других тяжелых металлов (табл. 2) [2, 10, 11]. Этот набор элементов является типоморфным для подобных объектов. Диктиономовые сланцы в значительной мере обогащены серой, азотом, кислородом [10]. Они не являются источником ванадия, молибдена, никеля, цинка и других металлов, представленных в месторождениях более традиционных геолого-промышленных типов.

Наибольший интерес для извлечения из диктиономовых сланцев представляет уран, который преимущественно локализуется в органическом веществе диктиономовых сланцев; содержания урана имеют выраженную обратную зависимость от степени зрелости керогена [4].

Средние содержания урана по бассейну составляют 180–200 г/т в зависимости от мощности пласта [11, 13] и содержания органического вещества. Несмотря на то что эти концентрации характерны для бедных и даже убогих урановых руд (например, уран извлекается при содержаниях 0,01–0,015 % в золотоносных конгломератах Витватерсранда, ЮАР и даже 0,006–0,008 % в фосфоритах Флориды, США) они являются рентабельными при попутном извлечении. Для извлечения урана из диктиономовых сланцев ВНИИХТом еще в 1970-х годах была разработана технология автоклавного выщелачивания, а ВИМСом — биохимического. Выполненные в тот период экономические расчеты показали, что даже без учета ценности попутно извлекаемых компонентов себестоимость урана получалась близкой к минимально допустимой.

Уран извлекался из диктиономовых сланцев на специально построенном в 1948 г. в г. Силламяэ химико-

**Таблица 1**  
**Металлы в сланцевых месторождениях мира**

Месторождение	Cu, г/т	U, г/т	Ni, г/т, %	Mo, г/т, %	Zn, г/т, %	V, г/т	Попутные компоненты
Талвиваара, Финляндия	1300	16–18	2200		4900		3 % мировых ресурсов никеля
Нарке, Швеция		160	250–315	86–302	350–430	1100–2500	
Молибден-никельсодержащие черные сланцы, Южный Китай	0,2		1–4 %	2–7 %		600	Se, U, As, Au, Pt
Чаттаногоа, США		0,0057	600–800	200–400		800–1000	Se, Au, Ag, As
Черные сланцы Канады			5 %		0,7 %	3000	Au, ПГМ, Se, As, Mo, Re
Диктионемовые сланцы, Россия, Эстония		86–181		53–406		350–724	Re, ПГМ, РЗМ

Дается по Ross Large CODES University of Tasmania, [8]

металлургическом предприятии, где в рамках советской ядерной программы велось его производство. Диктионемовые сланцы с содержанием урана 274 г/т дробились до фракции <6 мм, обжигались при 550–580 °С, что позволяло добиться разрушения кольцевых структур (порфиринов) керогена. При дальнейшей обработке щелочными агентами до 80 % урана (и других, оставшихся после обжига металлов) связывалось в хелатные комплексы в растворе, который передавался на дальнейшее обогащение. Разумеется, со временем технологии совершенствовались. На начальных этапах работы руда добывалась на месте, позднее сланцы стали смешиваться с урановыми рудами из Западной Тюрингии. Всего за период с 1948 по 1990 г. было произведено 100 000 т металлического урана [12, 15].

Следующим рудным компонентом, доступным для извлечения из диктионемовых сланцев, являются редкоземельные металлы. Содержания РЗМ в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна невысоки — 240–250 г/т — вдвое ниже минимального рентабельного для отработки [1, 5, 7]. Тем не менее, при выщелачивании урана из углеродистых сланцев в раствор будут параллельно выщелачиваться и редкоземельные металлы [13].

С целью выявления легкодоступных источников сырья в последнее десятилетие проводились экспериментальные исследования по извлечению урана, редкоземельных и других металлов из сланцев: выщелачивание кислотными и щелочными агентами с окислителем урана из диктионемовых сланцев в Польше (Подлясье) [9]; урана из черных «квасцовых» сланцев Швеции (Нарке) [14]; биологическое выщелачивание никеля, золота, РЗМ и других из черных сланцев в Финляндии (Талвиваара). Все работы показали возможность применения данной методики, а на руднике Талвиваара биологическое выщелачивание используется в настоящее

время для промышленного обогащения руд.

Существенным недостатком большинства перечисленных методов извлечения металлов из горючих сланцев является необходимость применения нагрева в широком диапазоне от 80 °С [9] до 700 и даже 800 °С [8]. И если в отмеченном температурном диапазоне при достаточных содержаниях в раствор переводятся U, Mo, V, гораздо сложнее Re, то органическая часть теряется безвозвратно — «Получение металлов и жидкого топли-

ва из одного и того же сланца в одном процессе — несовместимо» [8]. Все отмеченные методы характеризует довольно высокая стоимость и крайняя неэкологичность процесса. Также неприемлемыми являются потери органической составляющей сланцев, являющейся носителем ряда металлов.

С целью разрешения этого противоречия был проведен ряд лабораторных экспериментов по выщелачиванию сланцев дистиллированной и морской водой, кислотными и щелочными агентами при нормальных температурных режимах.

В контрольных образцах сланцев, отобранных в течение ряда лет, методом ICP MS были определены исходные содержания РЗМ и урана как в обнажениях, так и из скважин (табл. 3). Для оценки объема выноса РЗМ и урана из сланцев атмосферными водами также были отобраны пробы воды, которые отбирались на опорном разрезе диктионемовых сланцев — п-ове Пайкерорт под уступами сланцевого пласта.

Как можно заметить, средние содержания РЗМ по представленным выборкам находятся в одном диапазоне, содержания урана же резко различны. Это объясняется тем, что носителями редкоземельных металлов помимо органического вещества являются суль-



**Рис. 1. Распространение диктионемовых сланцев в южной части Прибалтийского сланцевого бассейна**

**Таблица 2**  
**Металлы в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна**

Месторождение	Содержания элементов, г/т						
	Mo	V	U	Ni	Zn	Re	РЗМ
Силамяе*	980	901	257	152	3475		
Тоолсе*	406	1040	162	300	1500	0,134	
Маарду*	81	498	31	40	84	0,080	
Кайболово-Гостилицы	183,11	807,53	181,6	133,18	762,59	0,14	244,61

\* – Дается по [8]

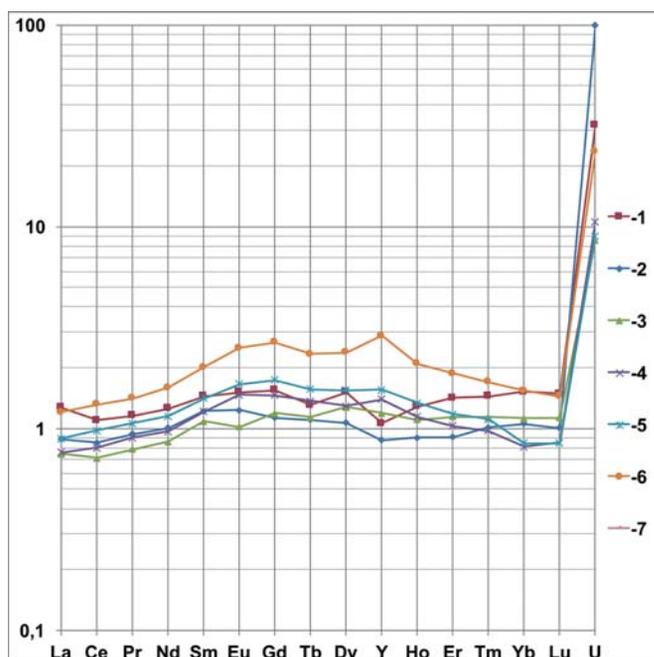


**Рис. 2. Обнажение диктионемовых сланцев восточной части Прибалтийского сланцевого бассейна (Саблино)**

фидные, глинистые минералы и, в меньшей степени, минералы редкоземельных металлов — апатит, монацит и др. [1, 2, 5]. Сульфидные минералы — пирит, марказит — обеднены ураном, который, преимущественно, связан с керогеном сланцев [4]. Из-за высокой химической активности урана в зоне аэрации пласта уран легко образует растворимые элементоорганические комплексы, теряет связь с керогеном и выносится с атмосферными водами (табл. 3, рис. 3).

Для экспериментальных исследований были отобраны с российской части бассейна слабоизмененные образцы диктионемовых сланцев из скважин Кайболово-Гостилицкой площади, характеризующиеся типовыми содержаниями суммы РЗМ — 256,77 г/т и урана — 181,6 г/т; образцы эстонской части характеризуются пониженными содержаниями РЗМ — 173,68 г/т,

уран для этих сланцев не определялся. Несмотря на схожесть поставленных задач, экспериментальные исследования проводились по-разному. Так, диктионемовые сланцы из скважин российской части бассейна были обработаны по аналогии с пробоподготовкой для получения почвенных вытяжек. Выщелачивание истертых навесок проводилось в следующих средах: кислая среда — 5М азотная кислота, 1М азотная кислота; щелочная среда — ацетатно-аммонийный буферный раствор; дистиллированная вода. Определение содержаний выполнялось ме-



**Рис. 3. Нормированное на верхнюю континентальную кору распределение РЗМ и урана в диктионемовых сланцах южной части Прибалтийского сланцевого бассейна. Места пробоотбора: 1 — Пакри, 2 — Сака, 3 — Пайкерорт (2011), 4 — Пайкерорт (2014), 5 — Пайкерорт (2015), 6 — Саблино, 7 — Кайболово-Гостилицы**

**Таблица 3**  
**Содержания РЗМ и урана в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна и атмосферной воде (г/т)**

№	Место отбора	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	U	Кол-во образцов
1	Пакри	38,15	70,21	8,20	32,68	6,48	1,33	5,88	0,84	5,28	23,35	1,02	3,26	0,48	3,34	0,48	85,47	21
2	Сака	26,63	54,53	6,67	26,13	5,49	1,08	4,29	0,71	3,74	19,26	0,72	2,08	0,33	2,33	0,32	267,27	9
3	Пайкерорт (2011)	22,48	45,84	5,61	22,32	4,89	0,90	4,51	0,73	4,48	26,26	0,88	2,63	0,37	2,48	0,36	23,08	5
4	Пайкерорт (2014)	22,81	51,25	6,40	25,18	5,47	1,29	5,55	0,88	4,52	30,72	0,91	2,37	0,32	1,79	0,27	28,38	11
5	Пайкерорт (2015)	26,73	62,53	7,54	29,93	6,35	1,46	6,62	1,00	5,41	34,25	1,07	2,70	0,37	1,87	0,27	24,23	6
6	Саблино	36,23	84,37	9,99	41,40	9,05	2,21	10,18	1,50	8,34	63,20	1,67	4,32	0,56	3,39	0,46	63,49	3
7	Кайболово-Гостилицы	31,47	47,07	9,30	38,71	8,56	1,75	7,54	1,21	7,28	42,04	1,47	3,86	0,56	3,26	0,46	181,60	10

Таблица 4

Результаты экспериментальных исследований по выщелачиванию РЗМ и урана из диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна (г/т)

№		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	U
1	Исходное среднее	31,47	52,48	9,30	38,71	8,56	1,75	7,54	1,21	7,28	42,04	1,47	3,86	0,56	3,26	0,46	181,60
2	Среднее по 5М р-р	17,05	47,07	6,77	29,77	7,02	1,51	6,66	1,05	5,57	33,33	1,06	2,70	0,34	1,80	0,24	149,82
3	Среднее по 1М р-р	14,59	46,85	6,36	27,84	6,64	1,46	6,39	1,03	5,33	30,94	1,03	2,58	0,32	1,70	0,22	118,33
4	Среднее по ац-Амм	4,61	20,57	3,86	20,03	5,43	1,24	6,05	0,96	5,24	33,98	1,06	2,66	0,33	1,75	0,24	74,80
5	Среднее, дист. вода	0,64	3,17	0,58	2,68	0,56	0,13	0,70	0,12	0,63	4,61	0,13	0,31	0,04	0,16	0,02	3,78
	% от исходного для 5М	54,19	89,68	72,84	76,91	82,03	86,29	88,28	86,95	76,58	79,27	72,39	69,99	60,13	55,11	51,63	82,50
	% от исходного для 1М	46,37	89,27	68,39	71,92	77,60	83,34	84,76	85,57	73,22	73,58	70,23	67,00	56,86	52,10	48,16	65,16
	% от исходного для А-А	14,65	43,70	41,48	51,74	63,46	70,69	80,18	79,21	72,03	80,81	72,32	69,02	58,78	53,78	52,60	41,19
6	Исходное, Эстония	36,27	68,89	7,93	31,56	6,50	1,39	5,51	0,92	5,63		1,13	3,43	0,51	3,48	0,53	
7	Эксперимент, Эстония среднее	0,59	2,91	0,50	2,28	0,54	0,12	0,53	0,08	0,53		0,10	0,28	0,03	0,19	0,03	
	Макс. % от исходного, Эстония	4,76	10,86	16,35	18,95	22,77	23,00	25,16	24,00	24,48		21,98	18,83	14,31	11,28	9,51	
8	Вода атмосферная	0,11	0,15	0,03	0,07	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,13	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	4,57

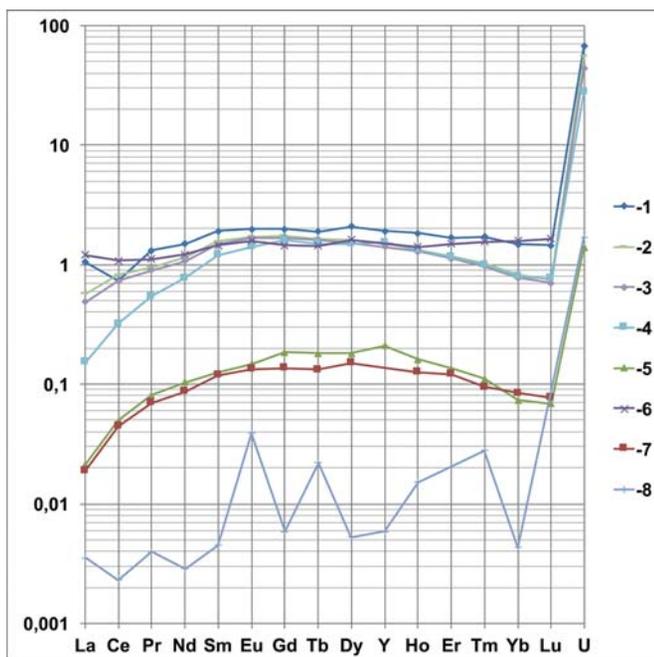


Рис. 4. Нормированное на верхнюю континентальную кору распределение РЗМ и урана по результатам экспериментальных исследований по выщелачиванию РЗМ и урана из диктионемовых сланцев. Результаты экспериментов: 1 — исходное среднее Кайболово-Гостилицы, 2 — среднее по 5М раствору  $\text{HNO}_3$ , 3 — среднее по 1М раствору  $\text{HNO}_3$ , 4 — среднее по ацетат-аммонийному щелочному буферу, 5 — среднее по дистиллированной воде, 6 — исходное среднее по образцу, Эстония, 7 — среднее по эксперименту, Эстония, 8 — среднее по атмосферной воде

тодом ICP MS. Для эстонской части выщелачивание проводилось морской водой с внесением поправки на содержание металлов в исходной воде. Эксперимент проводился по времени выщелачивания. Определение содержания металлов в ходе эксперимента также выполнялось методом ICP MS. Для эксперимента были использованы 9 случайно выбранных образцов из российской части сланцевого бассейна, для эстонской — малообъемная проба была разделена на 16 частей.

Работы показали, что в ходе двухчасового цикла выщелачивания российских образцов уран и редкоземельные металлы хорошо переводятся в раствор кислотными и щелочными агентами (табл. 4). Металлы выщелачиваются и дистиллированной водой, но в меньшем объеме. Эксперименты с эстонскими сланцами показали, что морская вода также является возможным выщелачивающим агентом. Максимальные концентрации РЗМ и урана были достигнуты на пятый день эксперимента, после чего концентрации металлов в растворе стали снижаться (табл. 4).

Результаты экспериментов по выщелачиванию РЗМ водой, полученные для эстонских и российских образцов, показали хорошую сходимость, из чего можно сделать предположение о сопоставимом объеме урана, выщелоченного из эстонских образцов. Характер перехода металлов в раствор сходен для всех типов растворителей. Сравнение особенностей перехода металлов в раствор в ходе экспериментов с пробами (промывающей сланцы атмосферной воды) показывает,

что на открытой поверхности пласта сланцев постоянно идет выщелачивание РЗМ и урана. При этом выход металла зависит от активности самого металла и носителя металла в сланце. Так, РЗМ имеют несколько принципиально различных носителей, за счет чего кривая нормированных содержаний имеет выраженный пилообразный характер; более химически активный уран преимущественно связан с керогеном сланцев и легче переходит в раствор. Эти особенности хорошо видны и на «четных-нечетных» позициях РЗМ, и на характере выноса урана.

Экспериментально показанная возможность выщелачивания металлов водой из диктионемовых сланцев позволяет прогнозировать сохранение органической части сланцев для дальнейшего использования в качестве химического или энергетического сырья.

С целью оценки экономики процесса извлечения металлов из диктионемовых сланцев специалистами ФГБУ «ИМГРЭ» была построена качественная экономическая модель, учитывающая помимо извлекаемых металлов тепловую составляющую. При принятой в модели годовой производительности рудника по сланцам в 100 тыс. т и их последующей обработке, годовой выпуск товарной продукции может составить: 12 кг рения, 15,9 т РЗО и 14,23 т урана (табл. 5). В качестве ориентиров приняты цены на соответствующие металлы на 2015 г.

**Таблица 5**  
**Экономическая модель переработки диктионемовых сланцев**

Показатели	Ед. изм.	Модель
Содержание редких металлов, извлекаемых в раствор		
Re	г/т	0,130
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	г/т	167,35
U	г/т	149,82
Годовая производительность по добыче сланцев	млн. т	0,100
Теплота сгорания сланцев	мдж/кг	5,5
Годовое количество редких металлов в растворе		
Re	т	0,013
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	т	16,74
U	т	14,98
Принятое извлечение редких металлов из раствора в товарные продукты	%	95,0
Годовое количество товарной продукции		
Re	кг	12
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	т	15,90
U	т	14,23
Тепловая энергия	гКал	132 000
Доля потенциальной стоимости тепловой энергии в общей потенциальной стоимости извлекаемых запасов	%	72
Доля потенциальной стоимости металлов в общей потенциальной стоимости извлекаемых запасов месторождения	%	28
Re	%	0,5
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	19
U	%	8,5

Несмотря на то что доля энергетической составляющей достигает 72 % в потенциальной стоимости сланцев, построенная модель показала, что диктионемовые сланцы могут быть перспективны в качестве комплексного сырья, являясь редкоземельно-урановой рудой с попутным рением. Вклад редкоземельных металлов в потенциальную стоимость объекта составляет от 8,7 до 19 %, урана — от 4 до 8,5 %, а доля рения при этом крайне незначительна и составляет 0,3–0,5 %.

Сходными свойствами и концентрациями элементов, прежде всего рения, характеризуются и сланцевые месторождения Приволжского сланцевого бассейна (табл. 6) [6]. Содержание металлов, прежде всего редкоземельных, для обеих групп месторождений сопоставимы. Это позволяет предполагать сходные формы нахождения, характер распределения в пластах и возможные особенности поведения в процессах переработки. Месторождения Приволжского сланцевого бассейна так же, как и Прибалтийского доступны для открытой и подземной отработки.

Месторождения горючих сланцев характеризуются повышенными концентрациями редких и редкоземельных металлов, нередко они в разы и десятки раз превышают кларковые значения, но можно ли назвать сами сланцы рудой?

Горная энциклопедия под редакцией Е.А. Козловского (1984–1991 гг.) под рудой подразумевает: «природное минеральное сырье, содержащее металлы или их соединения в количестве и в виде, пригодном для их промышленного использования... При наличии в рудах попутных ценных компонентов (металлов, неметаллов), извлечение которых экономически выгодно, руды... считаются комплексными...».

Исходя из этого определения для горючих сланцев определяющим полезным компонентом, согласно построенной модели, является уран. Следовательно, долговременные цены на уран, а проще говоря спад добычи «дешевого» урана будет определять перспективность освоения сланцев. Так, диктионемовые сланцы могут начать осваиваться как рудное сырье

**Таблица 6**  
**Содержания металлов в горючих сланцах Приволжского и Прибалтийского сланцевых бассейнов**

Элемент	Прибалтийский сланцевый бассейн	Приволжский сланцевый бассейн
Ванадий	30	110
Германий	1,2	1,0–1,9
Иттрий	8	5,8–30
Лантан	30	46
Медь	6	8–10
Молибден	12,5	2–60
Никель	6	10–45
Титан	900	500–3400
Хром	23	10–40
Цирконий	30	50–55
Рений	0,017–0,39	0,013–0,08

при достижении ценового порогового значения свыше 80 долл. США за фунт  $U_3O_8$ . Позиции остальных металлов в настоящее время не столь значимы, но при освоении сланцевых месторождений будут вносить свой вклад в общий баланс.

Горючие сланцы являются топливным и химическим сырьем. Разработка «щадящих» технологий для извлечения металлов позволит сохранить и энергетическую составляющую, дающую в настоящее время более 70 % потенциальной извлекаемой ценности. Для сланцевых месторождений необходима разработка новых решений по добыче самих сланцев и технологиям обогащения, приводящих к снижению затрат на разработку и обогащение, а также максимальному использованию сланцев как комплексного сырья.

Но уже сейчас можно утверждать, что горючие сланцы, в частности, граптолитовые аргиллиты Прибалтийского, сланцы Приволжского и других сланцевых бассейнов, являются бедной, сложной, комплексной рудой, за которой, возможно, не столь уж далекое будущее.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вялов, В.И. Рудогенез диктионемовых сланцев и оболочковых песчаников Прибалтийского бассейна / В.И. Вялов, А.И. Ларичев, А.С. Бахронова // Региональная геология и металлогения. — 2013. — № 55. — С. 87–98.
2. Металлоносность диктионемовых сланцев Балтийского бассейна / В.И. Вялов и др. // Литология и геология горючих ископаемых: Межвуз. науч. темат. сб. — Вып. IV (20). — Екатеринбург: Уральский гос. горный ун-т, 2010. — С. 193–199.
3. Наумов, Б.Е. Рений и другие редкие и рассеянные металлы в горючих сланцах Прибалтики и в медномolibденовых рудах Средней Азии как ценный природный ресурс / Б.Е. Наумов // Тр. Института экономики и управления. — Вып. 4. — Таллин: СИЭУ, 2006. — С. 125–145.
4. Применение физических методов для характеристики органического вещества диктионемовых сланцев Ленинградской области / А.А. Суханов и др. // Вестник СПбГУ. — 2014. — Сер. 4. — Вып. 1 — С. 32–36.
5. Редкоземельные металлы в диктионемовых сланцах и оболочковых песчаниках Прибалтийского бассейна / В.И. Вялов и др. // Руды и металлы. — 2014. — № 1. — С. 30–35.
6. Рений в отложениях волжского яруса центральной части Волжского сланцевого бассейна / А.Г. Самойлов и др. // Изв. Сарат. ун-та. Новая серия. Серия Науки о Земле. — 2017. — Т. 17. — Вып. 1. — С. 58–61.
7. Bao, Zhiwei. Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China / Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua // Ore Geology Reviews. 33: 519–535. June. 2008.
8. Estonian graptolitic argillites — ancient ores or future fuels? / Lippmaa E. et al. // Oil Shale. — 2009. — Vol. 26. — No. 4. — P. 530–539.
9. Extraction of uranium from low-grade Polish ores: dictyonemic shales and sandstones / Frackiewicz K. et al // Nukleonika. — 2012. — № 58(4). — P. 451–459.
10. Geochemical heterogeneity of Estonian graptolite argillite / Voolma Margus et al. // Oil Shale. — 2013. — Vol. 30. — No. 3. — P. 377–401.
11. Hade, Sigrid. Estonian graptolite argillites revisited: a future resource? / Hade Sigrid, Soesoo Alvar // Oil Shale. — 2014. — № 31(1) — P. 4–18.
12. Lippmaa, E. Resources, production and processing of Baltoscandian multimetal black shales / Lippmaa E., Maremaa E., Pihlak A.-E. // Oil Shale. — 2011. — Vol. 28. — No. 1. — P. 68–77.
13. Schnell, H. Uranium from unconventional sources. Technical Meeting On Uranium from Unconventional Resources / Schnell H. // 4–6 November 2009, IAEA Headquarters, Vienna, Austria.
14. Schovsbo, N.H. Uranium enrichment shorewards in black shales: A case study from the Scandinavian Alum Shale / Schovsbo N.H. // Stockholm: GFF. — 2002. — Vol. 124 (Pt. 2, June). — P. 107–115.
15. Vrijen, J. Situation concerning uranium mine and mill tailings in an enlarged EU. Final Report / Vrijen J. et al. // June 30. — 2006. — 116 p.

© Ключарев Д.С., Соесоо Алвар, 2019

Ключарев Дмитрий Сергеевич // sacsaul@gmail.com  
Соесоо Алвар // alvar.soesoo@gmail.com

Михайлюк А.В.<sup>1</sup>, Левченко Е.Н.<sup>2</sup>, Левченко М.Л.<sup>2</sup> (1 — ООО «НРЖ Руссланд», 2 — ФГБУ «ИМГРЭ»)

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛАУКОНИТА ПРИ РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И ВОДНОЙ СРЕДЫ

*Опасными загрязнителями био- и гидросферы являются тяжелые металлы, попадающие в окружающую среду в результате производственной деятельности человека. Такие элементы, как ртуть, свинец, кадмий, медь имеют свойство закрепляться в отдельных звеньях биологического круговорота, аккумулироваться в биомассе микроорганизмов и растений и по трофическим цепям попадать в организмы животных и человека. В настоящее время одним из эффективных методов очистки почв от такого рода загрязнений является применение сорбционных технологий с использованием природных или синтетических сорбентов. Высокие сорбционные свойства имеет глауконит, который переводит в недоступное для растений состояние соли тяжелых металлов и радионуклиды, содержащиеся в почве. **Ключевые слова:** методы очистки почв, глауконит, сорбенты, гидросфера.*

Mikhaylyuk A.V.<sup>1</sup>, Levchenko E.N.<sup>2</sup>, Levchenko M.L.<sup>2</sup> (1 — NRG RUSSLAND, 2 — IMGRE)

#### THE USE OF GLAUCONITE IN THE SOLUTION OF PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AND RESTORATION OF NATURAL PROPERTIES SOIL AND WATER ENVIRONMENT

*Dangerous pollutants of the bio-and hydrosphere are heavy metals that enter the environment as a result of human production activities. Elements, such as mercury, lead, cadmium, copper tend to gain a foothold in the individual links of the biological cycle, it can accumulate in the biomass of microorganisms and plants and in the food chains to get into the organisms of animals and humans. At present, one of the effective methods of soil purification from this kind of pollution is the use of sorption technologies using natural or synthetic sorbents. High sorption properties is glauconite, which takes the reach of plant status salts of heavy metals and radionuclides containing as contained in the soil. **Keywords:** methods of soil purification, glauconite, sorbents, hydrosphere.*

Экологическая обстановка в России и в мире с каждым годом ухудшается, особенно в больших городах и промышленных районах, где расположены промышленные предприятия. Загрязнение почв и водных источников отвалами, выбросами этих предприятий, нефтепродуктами, ртутью, радиоактивными и другими отходами непрерывно расширяется.

Наибольшую опасность для окружающей среды представляют жидкие отходы, так как миграция из них вредных веществ-загрязнителей может происходить наиболее интенсивно, поскольку они могут пребывать в молекулярно- и ионно-растворимом состоянии. За-