

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕТАЛЛОНОСНОСТИ ДИКТИОНЕМОВЫХ СЛАНЦЕВ
И ОБОЛОВЫХ ПЕСЧАНИКОВ ПРИБАЛТИЙСКОГО БАСЕЙНА

Диктионемовые сланцы и оболочные песчаники (фосфориты) Прибалтийского бассейна являются перспективным геолого-промышленным типом руд, содержащим концентрации редких, рассеянных, редкоземельных, радиоактивных, цветных, благородных металлов, отвечающие принятым кондициям. Предложена методика геолого-экономической оценки их прогнозных ресурсов и вычислена потенциальная стоимость ожидаемых запасов.

Ключевые слова: геолого-экономическая оценка, Прибалтийский бассейн, диктионемовые сланцы, оболочные песчаники (фосфориты).

Dictyonema shales and obolus sandstones (phosphorites) of Baltic sedimentary basin are promising geological-industrial type ores containing different concentration conditions meet the rare and scattered, rare earth, radioactive, non-ferrous, precious metals. The technique of a geological and economic estimation of their expected resources is offered and the potential cost of expected stocks is calculated.

Keywords: geological and economic estimation, Baltic sedimentary basin, dictyonema shales, obolus sandstones (phosphorites).

Черносланцевые породы и фосфориты в настоящее время рассматриваются в качестве источника стратиформного оруденения радиоактивных, редких, рассеянных элементов, а также благородных металлов [1, 2].

Прибалтийский сланцево-фосфоритовый бассейн располагается в юго-западном и южном обрамлении Балтийского кристаллического щита и входит в состав венд-палеозойского платформенного чехла. Бассейн является составной частью Прибалтийской и Ладожской моноклиналей Русской плиты. Диктионемовые (или черные) сланцы и песчаники с обломками раковин *Obolus* (эпоха раннего ордовика, тремадокский ярус, пакерортский горизонт) широко распространены в Ленинградской области. Осадки российской части бассейна в Ленинградской области в широтном направлении прослеживаются примерно на 300 км от границы с Эстонией до р. Сясь. Северная граница маркируется ордовикским глинтмом вдоль южного берега Финского залива Балтийского моря и до Ладожского озера. Диктионемовые сланцы (ДС) являются энергетическим низкосортным топливом (теплотворная способность 1060–1300 ккал/кг, выход смолы около 3%, теплота сгорания 8800–9600 ккал/кг), а также потенциальным сырьем для получения урана (бедные или убогие урановые руды), редких и рассеянных элементов [1, 2]. Оболочные пески и песчаники (ОП) уже в XIX в. использовались как сырье для производства фосфорных удобрений. Месторождения и проявления фосфоритов в Ленинградской области многочисленны (Кингисеппское и др.) [2].

Прогнозные ресурсы ДС и ОП в Ленинградской области огромны (сотни млрд т). По данным атомной спектроскопии, по пробам из скважин и обнажений в ЦЛ ВСЕГЕИ установлено, что в ДС развита промышленная, соответствующая содержаниям металлов в промышленных типах руд Госу-

дарственного баланса запасов (ГБЗ) месторождений полезных ископаемых Российской Федерации, минерализация **Re, Rb, Cs, МПГ, W, Zn, Cu**; подтверждено промышленное оруденение **V, Ti, Mo, U**. Имеются повышенные содержания **РЗМ, Sc** и др. В ОП установлены промышленные концентрации **РЗМ, МПГ, W**, высокие содержания **Sr** и др. металлов.

Нами рассматривалась металлоносность ДС и ОП на поисковой площади в 900 км² (район Кайболово – Копорье – Гостилицы), где пласты ДС и ОП имеют среднюю мощность по 2,5 м.

В пласте ДС выделены два участка (1 и 2) повышенных концентраций полезных компонентов с максимальной мощностью пласта. Участок 1 имеет площадь 200 км² и среднюю мощность продуктивного пласта 4,8 м, участок 2 – 320 км² и 3,6 м. В пласте ОП также выделяется участок повышенных концентраций металлов (участок 2) площадью 320 км² и средней мощностью 2,3 м.

Рассчитаны средние содержания полезных компонентов в ДС и ОП в целом для всей изучаемой площади, а также отдельно для участков внутри этой площади.

Результаты геолого-экономической стоимостной оценки промышленной минерализации ДС и ОП на редкие, редкоземельные, благородные, радиоактивные, цветные металлы приведены в табл. 1, 2.

Целый ряд металлов в ДС и ОП, образуя промышленные концентрации, находится обычно на уровне бедных или убогих руд (но рений – руды от богатых до рядовых).

Если показатели анализов не совпадали с принятыми показателями ГБЗ, они пересчитывались. Например, средние содержания по ванадию имелись непосредственно по металлу. В ГБЗ учитываются содержания и запасы V₂O₅. Исходя из атомных весов элементов среднее содержание ванадия в ДС на участке 1, равное 712,4 г/т, пересчитано в со-

Геолого-экономическая стоимостная оценка промышленной минерализации ДС на спектр металлов

Показатели продуктивного пласта ДС Кайболово-Гостилицкой площади	Ед. изм.	Значения показателей		
		уч. 1	уч. 2	вся площадь
Средние содержания рения	г/т	0,15	0,12	0,14
Прогнозные ресурсы рения кат. P ₃	т	288	276	630
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов рения кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки рения	доли ед.	0,25	0,25	0,25
Извл. пром. запасы рения	т	14,4	13,8	31,5
Цена рения	руб./г	96	96	96
Потенц. стоим. извл. пром. запасов рения	млн руб.	1382,4	1324,8	3024
Средние содержания V ₂ O ₅ в пересчете с содержания V	г/т	1272	1327	1441
Прогнозные ресурсы V ₂ O ₅ кат. P ₃	т	2 442 240	3 057 408	6 484 500
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов V ₂ O ₅ кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки V ₂ O ₅	доли ед.	0,6	0,6	0,6
Извл. пром. запасы V ₂ O ₅	т	293 068,8	366 889	778 140
Цена V ₂ O ₅	руб./г	0,34	0,34	0,34
Потенц. стоим. извл. пром. запасов V ₂ O ₅	млн руб.	99 643,39	124 742,2	264 567,6
Средние содержания галлия	г/т	15	11	12
Прогнозные ресурсы галлия кат. P ₃	т	28 800	25 344	54 000
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов галлия кат. P ₃ в пром. запасы P ₃	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки галлия	доли ед.	0,8	0,8	0,8
Извл. пром. запасы галлия	т	4608	4055,04	8640
Цена галлия	руб./г	10	10	10
Потенц. стоим. извл. пром. запасов галлия	млн руб.	46 080	40 550,4	86 400
Средние содержания Cs ₂ O в пересчете с содержания Cs	г/т	4,2	3,3	3,5
Прогнозные ресурсы Cs ₂ O кат. P ₃	т	8064	7603	15 750
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов Cs ₂ O кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки Cs ₂ O	доли ед.	0,5	0,5	0,5
Извл. пром. запасы Cs ₂ O	т	806,4	760,3	1575
Цена Cs ₂ O	руб./г	7	7	7
Потенц. стоим. извл. пром. запасов Cs ₂ O	млн руб.	5644,8	5322,1	11025
Средние содержания урана	г/т	158	170	227,3
Прогнозные ресурсы урана кат. P ₃	т	303 360	391 680	1 022 850
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов урана кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки урана	доли ед.	0,8	0,8	0,8
Извл. пром. запасы урана	т	48 537,6	62 668,8	16 3656
Цена урана	руб./г	3,9	3,9	3,9
Потенц. стоим. извл. пром. запасов урана	млн руб.	189 296,6	244 408,3	638 258,4
Средние содержания скандия	г/т	9,8	7,85	8,14
Прогнозные ресурсы скандия кат. P ₃	т	18 816	18 086	36 630
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов скандия кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки скандия	доли ед.	0,35	0,35	0,35
Извл. пром. запасы скандия	т	1317,12	1266,02	2564,1
Цена скандия	руб./г	25	25	25
Потенц. стоим. извл. пром. запасов скандия	млн руб.	32 928	31 650,5	64 102,5
Средние содержания МПГ	г/т	0,034	0,022	0,025
Прогнозные ресурсы МПГ кат. P ₃	т	65,3	50,7	112,5
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов МПГ кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки МПГ	доли ед.	0,8	0,8	0,8
Извл. пром. запасы МПГ	т	10,45	8,11	18
Цена МПГ	руб./г	1090	1090	1090
Потенц. стоим. извл. пром. запасов МПГ	млн руб.	11 388,32	8842,08	19620
Средние содержания молибдена	г/т	156,2	170,8	183,1
Прогнозные ресурсы молибдена кат. P ₃	т	299 904	393 523	823 950
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов молибдена кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки молибдена	доли ед.	0,6	0,6	0,6
Извл. пром. запасы молибдена	т	35 988,48	47 222,76	98 874
Цена молибдена	руб./г	1,2	1,2	1,2
Потенц. стоим. извл. пром. запасов молибдена	млн руб.	43 186,18	56 667,31	118 648,8
Средние содержания TR ₂ O ₃	г/т	265,7	279,8	288,6
Прогнозные ресурсы TR ₂ O ₃ кат. P ₃	т	510 144	644 659	1 298 700

Показатели продуктивного пласта ДС Кайболово-Гостилицкой площади	Ед. изм.	Значения показателей		
		уч. 1	уч. 2	вся площадь
Ки TR ₂ O ₃	доли ед.	0,6	0,6	0,6
Извл. пром. запасы TR ₂ O ₃	т	61 217,28	77 359,08	155 844
Цена TR ₂ O ₃	руб./г	3	3	3
Потенц. стоим. извл. пром. запасов TR ₂ O ₃	млн руб.	183 651,8	232 077,2	467 532
Средние содержания Rb ₂ O	г/т	102,2	84,7	90,4
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов Rb ₂ O кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки Rb ₂ O	доли ед.	0,5	0,5	0,5
Извл. пром. запасы Rb ₂ O	т	19 622,4	19 514,9	40 680
Цена Rb ₂ O	руб./г	40	40	40
Потенц. стоим. извл. пром. запасов Rb ₂ O	млн руб.	784 896	780 596	1 627 200
Средние содержания меди	г/т	115,8	113,5	115,3
Прогнозные ресурсы меди кат. P ₃	т	222 336	261 504	518 850
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов меди кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки меди	доли ед.	0,74	0,74	0,74
Извл. пром. запасы меди	т	32 905,73	38 702,59	76 789,8
Цена меди	руб./г	0,2	0,2	0,2
Потенц. стоим. извл. пром. запасов меди	млн руб.	6581,15	7740,52	15 357,96
Средние содержания цинка	г/т	430,7	762	762,6
Прогнозные ресурсы цинка кат. P ₃	т	826 944	1 755 648	3 431 700
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов цинка кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки цинка	доли ед.	0,6	0,6	0,6
Извл. пром. запасы цинка	т	99 233,28	210 677,8	411 804
Цена цинка	руб./г	0,06	0,06	0,06
Потенц. стоим. извл. пром. запасов цинка	млн руб.	5953,997	12 640,67	24 708,24
Средние содержания WO ₃	г/т	18,3	49,9	45,6
Прогнозные ресурсы WO ₃ кат. P ₃	т	35 136	114 970	205 200
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов WO ₃ кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки WO ₃	доли ед.	0,66	0,66	0,66
Извл. пром. запасы WO ₃	т	4637,95	15 176,04	27 086,4
Цена WO ₃	руб./г	0,7	0,7	0,7
Потенц. стоим. извл. пром. запасов WO ₃	млн руб.	3246,566	10623,23	18960,48
Средние содержания TiO ₂	г/т	5900	5400	5678
Прогнозные ресурсы TiO ₂ кат. P ₃	т	11 328 000	12 441 600	25 551 000
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов TiO ₂ кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2	0,2
Ки TiO ₂	доли ед.	0,64	0,64	0,64
Извл. пром. запасы TiO ₂	т	1 449 984	1 592 525	3 270 528
Цена TiO ₂	руб./г	0,1	0,1	0,1
Потенц. стоим. извл. пром. запасов TiO ₂	млн руб.	144 998,4	159 252,5	327 052,8
Общая потенц. стоимость пром. запасов всех ПИ	млн руб.	1 558 878	1 708 697	3 686 458
Доля в общей потенц. стоимости всех ПИ				
рения	%	0,089	0,078	0,082
ванадия	%	6,392	7,30	7,177
галлия	%	2,956	2,373	2,344
цезия	%	0,362	0,311	0,299
урана	%	12,143	14,304	17,314
скандия	%	2,112	1,852	1,739
МПГ	%	0,731	0,5175	0,532
молибдена	%	2,770	3,316	3,219
РЗЭ	%	11,781	13,582	12,682
рубидия	%	50,35	45,684	44,14
меди	%	0,422	0,453	0,417
цинка	%	0,382	0,74	0,670
вольфрама	%	0,208	0,622	0,514
титана	%	9,301	9,320	8,872
Примерная доля пром. запасов рассмотренных ПИ в стоим. первого товарного продукта	доли ед.	0,4	0,4	0,4
Товарная (продажная) стоим. прогнозных ресурсов кат. P ₃ рассмотренных ПИ	млн руб.	623 551,1	683 478,9	1 474 583

Геолого-экономическая стоимостная оценка промышленной минерализации ОП на ряд металлов

Показатели продуктивного пласта фосфоритов Кайболово-Гостилицкой площади	Ед. изм.	Значения показателей	
		уч. 2	вся площадь
Средние содержания рения	г/т	0,02	0,02
Прогнозные ресурсы рения кат. P ₃	т	36,8	112,5
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов рения кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2
Ки рения	доли ед.	0,25	0,25
Извл. пром. запасы рения	т	1,84	5,625
Цена рения	руб./г	96	96
Потенц. стоим. извл. пром. запасов рения	млн руб.	176,64	540
Средние содержания урана	г/т	104,6	31,1
Прогнозные ресурсы урана кат. P ₃	т	192 464	174 938
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов урана кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2
Ки урана	доли ед.	0,8	0,8
Извл. пром. запасы урана	т	30 794,24	27 990,08
Цена урана	руб./г	3,9	3,9
Потенц. стоим. извл. пром. запасов урана	млн руб.	120 097,5	109 161,3
Средние содержания WO ₃	г/т	17,4	42,7
Прогнозные ресурсы WO ₃ кат. P ₃	т	97 875	240 188
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов WO ₃ кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2
Ки WO ₃	доли ед.	0,66	0,66
Извл. пром. запасы WO ₃	т	12 919,5	31 704,82
Цена WO ₃	руб./г	0,7	0,7
Потенц. стоим. извл. пром. запасов WO ₃	млн руб.	9043,65	22 193,37
Средние содержания МПГ	г/т	0,013	0,013
Прогнозные ресурсы МПГ кат. P ₃	т	24	73
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов МПГ кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2
Ки МПГ	доли ед.	0,8	0,8
Извл. пром. запасы МПГ	т	3,84	11,68
Цена МПГ	руб./г	1090	1090
Потенц. стоим. извл. пром. запасов МПГ	млн руб.	4185,6	12 731,2
Средние содержания TR ₂ O ₃	г/т	716,3	425,6
Прогнозные ресурсы TR ₂ O ₃ кат. P ₃	т	1317992	2394000
Принимаемый Кп прогнозных ресурсов TR ₂ O ₃ кат. P ₃ в пром. запасы	доли ед.	0,2	0,2
Ки TR ₂ O ₃	доли ед.	0,6	0,6
Извл. пром. запасы TR ₂ O ₃	т	158159	287280
Цена TR ₂ O ₃	руб./г	3	3
Потенц. стоим. извл. пром. запасов TR ₂ O ₃	млн руб.	474 477,1	861 840
Общая потенциальная стоимость промышленных запасов всех ПИ	млн руб.	607 980,5	1 006 466
Доля в общей потенц. стоимости всех ПИ			
рения	%	0,029 054	0,0537
урана	%	19,75352	10,846
вольфрама	%	1,487	2,2051
МПГ	%	0,688	1,2649
PЗЭ	%	78,042	85,630
Примерная доля пром. запасов рассмотренных ПИ в стоим. первого товарного продукта	доли ед.	0,4	0,4
Товарная (продажная) стоим. прогнозных ресурсов кат. P ₃ рассмотренных ПИ	млн руб.	243 192,2	402 586,4

держание пятиоксида ванадия: атомный вес ванадия 51, кислорода 16, молекулы V₂O₅ 182, концентрация пятиоксида ванадия в ДС 1272 г/т.

Точно так же пересчитывались содержания металлов на содержание окислов и по некоторым другим компонентам (вольфрам, цезий и др.). После этого рассчитывались прогнозные ресурсы. Удельный вес ДС пласта принимался равным 2, ОП – 2,5 т/м³.

Необходимо было определить «вес» перспективных пластов и участков в тоннах. Для этого площадь соответствующего участка (S) перемножалась на его среднюю мощность (M) и на удельный вес (D) породы – сланца или песчаника. Таким образом, вес пласта (Q) определялся как $Q = S \times M \times D$. Для ДС всей изучаемой площади он оказался равным

4500, участка 1 – 1920, участка 2 – 2304, для пласта фосфоритов в пределах всей площади – 5625, участка 2 – 1840 млн т.

Прогнозные ресурсы металлов различных компонентов (P) в граммах, переводимых затем в тонны, рассчитывались как произведение их средних концентраций (C), выраженных в г/т, на вес соответствующего блока пород в тоннах (Q): $P = C \times Q$. Прогнозные ресурсы таких больших объемов пород, как пласты ДС и фосфоритов, в целом и участков в них, отнесены к ресурсам кат. P₃. Коэффициент перевода прогнозных ресурсов в промышленные запасы принят равным 0,2.

Помимо количества прогнозных ресурсов тех или иных ценных металлов, рассчитывалась их потенциальная стоимость, вероятное (гарантированное)

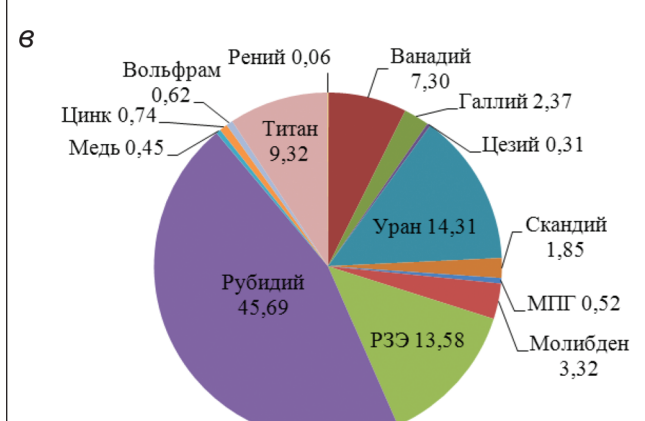
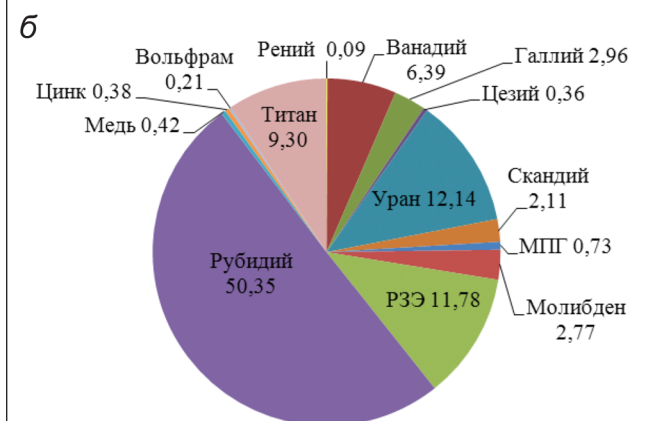
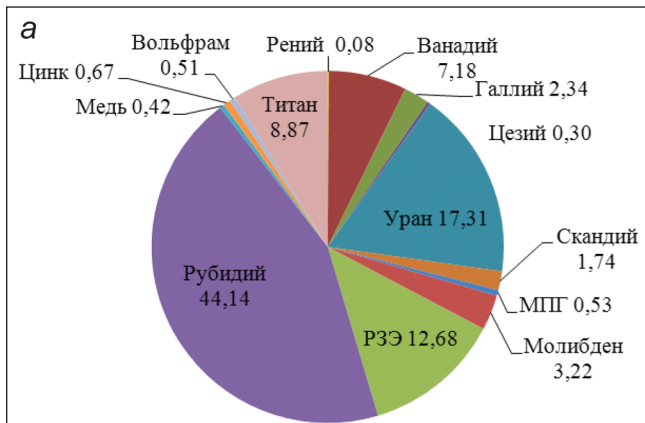


Рис. 1. Структура потенциальной стоимости запасов ДС, %
а – на всей поисковой площади, *б* – на участке 1, *в* – на участке 2

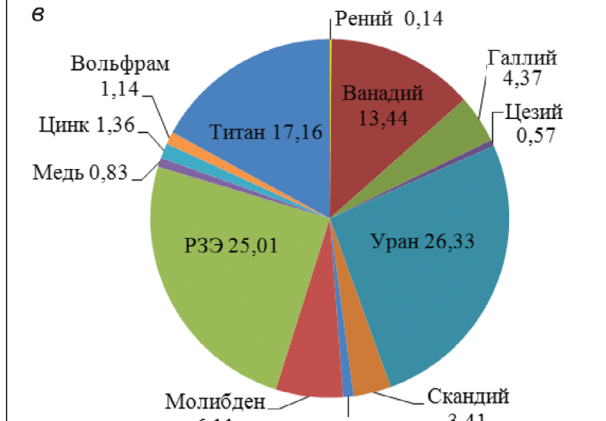
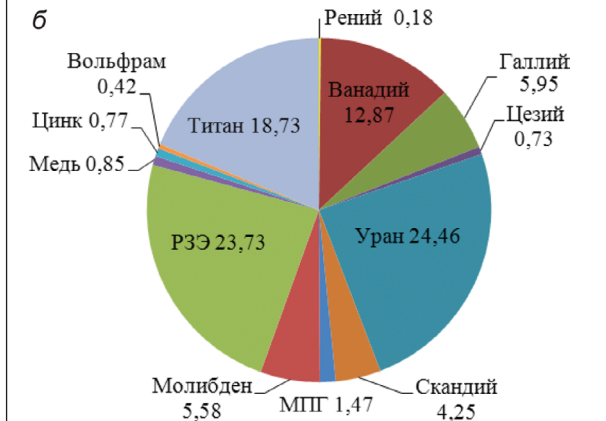
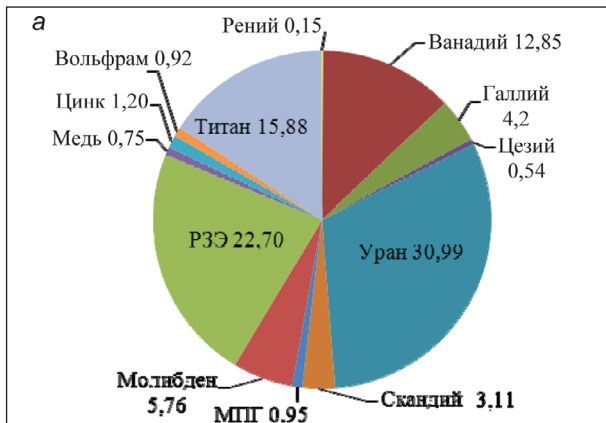


Рис. 3. Структура потенциальной стоимости запасов ДС (без учета Rb), %
а – на всей поисковой площади, *б* – на участке 1, *в* – на участке 2

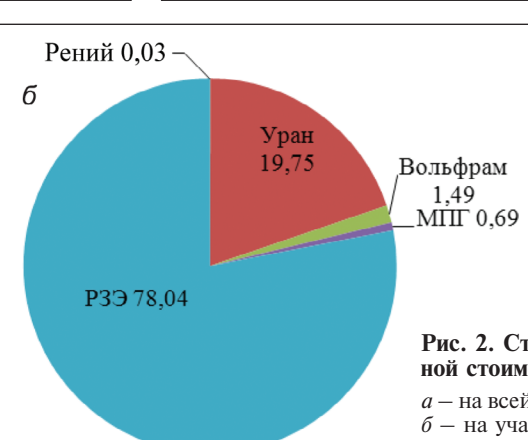
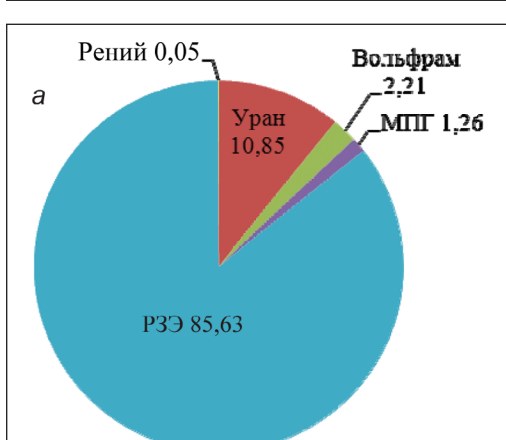


Рис. 2. Структура потенциальной стоимости запасов ОП, %
а – на всей поисковой площади, *б* – на участке 2

наименьшее количество ожидаемых промышленных запасов в случае освоения этих площадей и некоторые другие показатели (табл. 1, 2).

Что касается размеров ожидаемых месторождений, исходя из количества их извлекаемых запасов, то крупными они являются для рения, ванадия, галлия, цезия, урана, скандия (на всех участках), молибдена (в ДС), редкоземельных металлов (в ОП), средними для редкоземельных металлов, рубидия, цинка (в ДС), платиноидов (на всех участках), мелкими для вольфрама (на всех участках), титана (в ДС) и очень мелкими для меди (в ДС).

Основную долю в стоимости ожидаемых извлекаемых запасов играют для ДС рубидий (порядка половины стоимости), уран, редкоземельные металлы, титан, ванадий, молибден, галлий (в порядке уменьшения доли), а для ОП редкоземельные металлы (более трех четвертей стоимости) и уран (рис. 1, 2).

Общая потенциальная стоимость ожидаемых извлекаемых запасов полезных компонентов ДС Кайболово-Гостилицкой площади в целом равна 3,7, участка 1 – 1,56, участка 2 – 1,7 трлн руб. Потенциальная стоимость ожидаемых извлекаемых запасов ПИ пласта ОП составляет 1, а локального участка – 0,6 трлн руб.

Геолого-экономическая оценка металлонности ДС проводилась как с учетом, так и без учета рубидия. Во втором случае основная доля стоимости

запасов приходится на редкоземельные металлы и уран, а также на титан, ванадий, галлий, молибден и др. (рис. 3).

Общая потенциальная стоимость ожидаемых извлекаемых запасов металлов в этом случае будет равна для ДС Кайболово-Гостилицкой площади в целом 2, для участка 1 – 0,8, для участка 2 – 0,9, всей толщи ДС+ОП – 3 трлн руб.

Как видно, ДС и ОП являются ценнейшим комплексным сырьем на спектр разнообразных дефицитных металлов, причем источник такого сырья (Прибалтийский осадочный бассейн) располагается в благоприятных инфраструктурных условиях (Ленинградская область). Порядок цифр стоимостной оценки этих металлов (первые трлн руб. только на одной поисковой площади протяженного Прибалтийского бассейна) показывает, что Россия имеет огромное богатство недр в непосредственной близости к крупнейшему промышленному центру, каким является Санкт-Петербург.

1. Вялов В.И., Миронов Ю.Б., Неженский И.А. О металлонности диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2010. № 5. – С. 19–23.

2. Киселев И.И., Проскураков В.В., Саванин В.В. Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. – СПб., 2002. – 236 с.

Балахонова Алина Сергеевна – аспирант, науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Balakhonova_Alina@vsegei.ru>.

Вялов Владимир Ильич – доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ. <Vladimir_Vyalov@vsegei.ru>.

Неженский Игорь Анатольевич – доктор геол.-минер. наук, гл. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ.

<Igor_Nezhensky@vsegei.ru>.

Семенов Евгений Владимирович – аспирант, ВСЕГЕИ, геолог, ПЭРМПИ. <semenovv4@gmail.com>.

Мирхалеvская Наталья Валериевна – вед. инженер, ВСЕГЕИ. <Natalia_Mirkhalevska@vsegei.ru>.