

УДК 546.881:553.982.2

Суханов А.А., Якуцени В.П.Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ФГУП «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, ins@vnigri.ru**Петрова Ю.Э.**Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, yul68279483@yandex.ru

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ МЕТАЛЛОНОСНОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕФТЕЙ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Даётся оценка перспектив и рассматриваются проблемы осуществления попутного освоения ресурсов на примере нефтяного ванадия и других металлов. Представлены результаты анализа ресурсов ванадия в наиболее крупных скоплениях металлоносных нефтей и природных битумов за рубежом и его запасов в месторождениях основных нефтегазоносных провинций России, а также объемов потерь ванадия при освоении запасов металлоносного нефтяного сырья. Проанализированы существующие зарубежные и отечественные технологии извлечения ванадия и других ценных металлов из нефтей, природных битумов и продуктов их переработки, выделены наиболее эффективные из них. Предложен комплекс основных программных мероприятий для организации в России высокорентабельного промышленного производства ванадия и ряда других ценных и редких металлов из нефтяного сырья.

Ключевые слова: углеводородное сырье, попутные компоненты, нефтяной ванадий, редкие металлы, промышленное освоение.

Одной из важных задач, постоянно возникающих при освоении как традиционных, так и нетрадиционных источников углеводородного сырья является повышение рентабельности их освоения. Применительно к нефтям и природным битумам одним из существенных факторов повышения рентабельности освоения нефтяных месторождений является комплексный характер, предполагающий получение содержащихся в них ценных попутных компонентов.

Нефти, являясь одним из наиболее значимых видов углеводородного сырья, содержат в себе большое число неуглеводородных соединений и химических элементов, весьма востребованных в различных отраслях промышленности и относящихся к категории полезных попутных компонентов. Например, в нефтях России (преимущественно в их тяжёлых, битуминозных разновидностях) обнаружено свыше 60 химических элементов, причем большая их часть представлена редкими металлами, многие из которых входят в число стратегических (табл. 1). Помимо металлов, нефти также являются потенциально

промышленно значимым источником таких видов ценного химического сырья, как сераорганические соединения и порфирины.

Перечислим факторы, определяющие значимость нефтей и природных битумов как перспективных сырьевых источников промышленного получения ряда редких, в том числе стратегических металлов.

Таблица 1

**Металлы, распространенные в нефтях и природных битумах,
отнесенные к числу редких и стратегических**

Металлы, отнесенные к числу стратегических в России	Be Li	Mo		Zr		Sc	TR (Y)	Ge	Sb		Ni Co Mn Cr	Nb	Re	U
Редкие металлы, отнесенные к числу стратегических в США			Sr		Cd			Ge		Bi	V	Nb		
Металлы, присутствующие в нефтях*	Be	Mo	Sr	Zr	Cd	Sc	Y, Eu, Yb	Ge	Sb	Bi	V Ni Co Mn Cr	Nb	Re	U

* по опубликованным данным [Белонин и др., 1999, Торикова и др., 2005].

1. Огромные объёмы ежегодно добываемой и перерабатываемой сырой нефти являются условием, определяющим возможность полномасштабного производства (в виде попутно получаемых продуктов нефтепереработки) концентратов с содержаниями редких металлов, превышающими промышленно кондиционные для традиционного рудного сырья. В самом деле, известно, что некоторые технологии, используемые в нефтепереработке, позволяют концентрировать в виде весьма компактной фазы до 90% ванадия и никеля, содержащегося в нефтях и природных битумах. При этом степень концентрирования этих металлов может достигать $1-2 \cdot 10^3$ [Соскинд, Барсуков, 1983]. Целый ряд других ценных и редких металлов в процессах нефтепереработки концентрируются в тех же фракциях, что ванадий и никель [Торикова, Кудинов, Ключарёв, 2005], поэтому, даже если содержание редких элементов в металлоносных нефтях будет на порядки ниже, чем в традиционно используемом рудном сырье, большие объёмы добычи и переработки тяжелых нефтей определяют их конкурентоспособность как источников редкометального сырья. Учитывая устойчивую мировую тенденцию к «утяжелению» и, соответственно, к повышению металлоносности добываемой нефти, сырьевая обеспеченность полномасштабного промышленного производства нефтяных редкометальных продуктов представляется вполне реальной.

2. Принципиальная возможность встраивания в технологические схемы крупномасштабной нефтепереработки процессов попутного получения концентратов, содержащих редкие металлы. Осуществление указанного встраивания должно привести к тому, что рентабельность получения редких металлов из углеводородного сырья окажется значительно выше, чем при технологиях получения редких металлов из традиционного рудного сырья.

3. Возможность получения в процессе нефтепереработки промышленно кондиционных концентратов, содержащих одновременно целый ряд редких металлов. По данным М.В. Ториковой [Торикова, Кудинов, Ключарёв, 2005], максимальные концентрации элементов распределяются по различным фракциям нефтеперегонки следующим образом: газойль (350 °С) – Si, P; газойль (420 °С) – Hf, W, Ru, Pd, Cd, Pb, Ga; мазут – Ba, Sr, Ce, Pr, Nd, Yb, U, Hg, Ge, As; гудрон – Co, Mo, Se, Te, Ga, Ag, Re; битум – Rb, Be, B, Mg, Al, Sc, Y, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zr, Nb, Rh, Cu, Zn, Sb.

Это означает, что существует принципиальная возможность осуществления оптимизации традиционного процесса нефтепереработки, обеспечивающей получение концентратов, с кондиционными содержаниями наборов тех или иных редких металлов (в зависимости от их содержания в исходной нефти) без ухудшения экономических показателей производства целевых нефтепродуктов. Очевидно, что такие полиметаллические концентраты, полученные из нефтяного сырья, будут представлять повышенный интерес для редкометальной промышленности по сравнению с традиционным рудным сырьём. Возможность их крупномасштабного получения может стать, помимо прочего, стимулом для развития более эффективных и экономичных технологий производства редких металлов.

В настоящее время полномасштабное промышленное получение ценных и редких металлов из нефтей осуществляется только для ванадия. Это связано, в первую очередь, с его наибольшей по сравнению с другими металлами распространённостью в нефтях. Кроме того, ванадий относится к числу наиболее важных стратегических материалов, что, в основном, обусловлено его применением в производстве сталей и цветных сплавов, где он является незаменимым легирующим элементом.

За рубежом из нефтяного сырья получают около 8-10% от объёма общемирового производства ванадия [Gouzhy, 2006; Raja, 2007], а в отдельных странах это процент доходит до 20% (США). В России промышленное производство ванадия из нефтяного сырья до сих пор не налажено. Несмотря на то, что в мировой практике нефтепереработки имеются технологии, позволяющие осуществлять попутное получение концентратов с высокими

содержаниями ценных металлов, в нефтеперерабатывающей промышленности России пока что отсутствуют действующие технологические схемы, обеспечивающие указанную комплексную переработку металлоносных нефтей и природных битумов.

Ресурсы нефтяного ванадия за рубежом

Как было отмечено выше, из всех полезных попутных компонентов, присутствующих в нефтях, ванадий - единственный, для которого нефти являются в зарубежных странах крупномасштабным источником промышленного получения, сравнимого по объёмам с производством из рудного сырья. Для того чтобы дать оценку ресурсов ванадия в нефтяном сырье зарубежных стран, рассмотрим структуру мировых запасов тех его категорий, которые отличаются наибольшей металлоносностью - так называемых нетрадиционных нефтей (табл. 2, 3). За рубежом к этим категориям нефтяного сырья относят:

- сверхтяжёлые нефти;
- природные битумы.

Таблица 2

Сведения о наиболее крупных ресурсах сверхтяжёлой нефти различных стран

Страна	Число месторождений	Открытые начальные геологические запасы, млн. бар./млн. м ³	Прогнозные дополнительные начальные геологические запасы, млн. бар./млн. м ³	Суммарные начальные геологические запасы, млн. бар./млн. м ³	Начальные извлекаемые запасы, млн. бар./млн. м ³
Египет	1	500/79,5		500/79,5	50/8
Мексика	2	60/9,5		60/9,5	6/1
Тринидад и Тобаго	2	300/47,7		300/47,7	
США	54	2 609/414,8	26/4	2 635/419	235/37,4
Колумбия	2	380/60		380/60	38/6
Куба	1	477/76		477/76	48/8
Эквадор	3	919/146		919/146	92/15
Венесуэла	33	2 256 159/ 358690	189 520/ 30130	2 445 679/ 388820	72 556/ 11535
Азербайджан	1	8 841/1406		8 841/1406	884/141
Китай	12	8 877/1411		8 877/1411	888/141
Италия	31	2 693/428		2 693/428	269/43
Россия	6	177/28		177/28	6/1
Великобритания	2	11 850/1884		11 850/1884	1 085/172

Таблица 3

Основные сведения о наиболее крупных ресурсах природных битумов различных стран

Страна	Число месторождений	Открытые начальные геологические запасы, млн. бар./млн. м ³	Прогнозные дополнительные начальные геологические запасы, млн. бар./млн. м ³	Суммарные начальные геологические запасы, млн. бар./млн. м ³	Начальные извлекаемые запасы, млн. бар./млн. м ³
Канада	227	1693 843/269291	703 221/111800	2 397 064/381091	178 580/28391
США	201	37 142/5905	16 338/2597	53 479/8502	24/3,8
Ангола	3	4 648/739		4 648/739	465/74
Мадагаскар	1	2 211/352		2 211/352	221/35
Нигерия	1	5 744/913	32 580/5180	38 324/6093	574/91
Китай	4	1 593/253	-	1 593/253	1/0,16
Индонезия	1	4 456/708	-	4 456/708	446/71
Казахстан	52	420 690/66882	-	420 690/66882	42 009/6679
Италия	14	2 100/334	-	2 100/334	210/33
Россия	39	295 409/46965	51 345/8163	346 754/55128	28 380/4512

Дадим определения этих терминов в соответствии с тем, как они используются за рубежом (например, Международным Энергетическим Агентством) при оценке запасов этих видов углеводородного сырья.

Сверхтяжёлые нефти - нефти, чье значение плотности по шкале API составляет менее 10 градусов (свыше 1000 г/см³), и при этом значение пластовой вязкости не превышает 10 000 сантипуазов (мПа·с).

Природный битум здесь определён как нефть, чья плотность, также как и в предыдущем случае, менее 10° API (свыше 1000 г/см³), но значение пластовой вязкости превышает 10 000 сантипуазов (мПа·с).

Из приведённых в табл. 2 и 3 данных следует, что наибольшая доля в мировых запасах нетрадиционных нефтей приходится на месторождения Северной и Южной Америки:

- сверхтяжёлые нефти – 73%;
- природные битумы – 89%.

Если при этом учесть, что на эти месторождения приходится преобладающая часть нефтей с повышенными содержаниями ванадия, представляется целесообразным проводить оценку запасов ванадия в тяжёлом углеводородном сырье зарубежных стран на основе анализа запасов тяжёлых нефтей и природных битумов месторождений Северной и Южной Америки. Поскольку самыми значительными запасами нетрадиционных нефтей на Американском континенте располагают Венесуэла и Канада, то эти две страны располагают и наиболее значительными запасами нефтяного ванадия. Перейдём к оценке запасов ванадия в месторождениях тяжёлого углеводородного сырья этих двух стран.

В Канаде месторождения тяжёлых нефтей и природных битумов сосредоточены в провинции Альберта, где основными районами нефтедобычи являются:

- Атабаска – около 60% суммарных запасов;
- Колд-Лейк – около 22% суммарных запасов;
- Пис-Ривер – около 18% суммарных запасов.

Согласно данным Международного Энергетического Агентства, извлекаемые запасы природных битумов Канады составляют около 29 млрд. м³.

Для оценки запасов ванадия были вычислены средние содержания ванадия в тяжёлом углеводородном сырье, добываемом в трёх вышеперечисленных основных районах нефтедобычи. При этом были использованы данные *Canadian Association of Petroleum Producers*¹. В результате получены значения содержания ванадия в нефтях и усреднённые по указанным трём основным районам нефтедобычи, и на этой основе проведена оценка запасов ванадия в тяжелых нефтях этих районов. Результаты оценки приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Запасы ванадия (извлекаемые) в металлоносных тяжелых нефтях
и природных битумах Канады**

Район добычи	Содержание ванадия, г/т	Запасы ванадия, тыс. т.
Атабаска	132,5	2226
Колд-Лейк	153,0	942
Пис-Ривер	159,1	801,9
Всего		3969,9

При этом количество ванадия, содержащегося в добываемых ежедневно металлоносных тяжелых нефтях и природных битумах Канады, составляет более 45 т. За год это составит свыше 15500 т.

В Венесуэле наиболее значительные запасы металлоносных тяжелых нефтей сосредоточены в её восточной части – в так называемом «Поясе Ориноко».

Запасы тяжелых нефтей распределены по четырём районам: Machete, Zuata, Намаса и Серго Negro. В табл. 5 представлены данные о величине запасов и темпах добычи тяжелых нефтей в этих районах, взятые из работы Manik Talwani [Manik Talwani, 2008]. В соответствии с данными этой работы, значение содержания ванадия, усреднённое по нефтям указанных районов, составляет 400 г/т.

¹ по материалам <http://www.crudemonitor.ca/index.html> (дата обращения: 29.06.2008).

Таблица 5

**Величина запасов тяжелых нефтей и нефтяного ванадия
в основных нефтедобывающих районах «Пояса Ориноко»**

Район	Геологические запасы, млрд. м ³	Извлекаемые запасы тяжелых нефтей, млрд. м ³	Суточная добыча тяжелых нефтей, м ³ /сут.	Извлекаемые запасы ванадия, тыс. т	Количество ванадия в суточном объеме добычи нефти, т
Machete	39,9	9,0		3 600	
Zuata	78,1	17,7	55687	7 080	22,3
Hamaca	33,4	7,6	15625	3 040	6,2
Cerro Negro	33,3	7,5	18750	3 000	7,5
Всего	184,7	41,8	90062	16720	36,0

Таким образом, извлекаемые запасы ванадия в нефтях Венесуэлы составляют 16720 тыс. т. При этом в ежесуточно добываемой нефти содержится примерно 36 т ванадия. В годовом объеме добываемой нефти содержится свыше 12 тыс. т ванадия.

В совокупности запасы ванадия в месторождениях металлоносных нефтей и природных битумов Канады и Венесуэлы составляют около 20689 тыс. т. Количество ванадия, содержащегося в нефтяном сырье, ежегодно добываемом на этих месторождениях составляет около 27,5 тыс. т.

Для сравнения, по данным US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2012, извлекаемые запасы ванадия в рудном сырье в настоящее время составляют 14 млн. т. При этом годовое производство ванадия из рудного сырья составило в 2011 г 60 тыс. т. Т.е. содержание ванадия в ежегодно добываемом только в Канаде и Венесуэле тяжёлом углеводородном сырье соответствует примерно 45% от объема его общемирового годового производства из рудного сырья.

Что касается ванадия, ежегодно производимого за рубежом из нефтяного сырья, то его доля по разным данным составляет всего 9-16% от общемирового производства из рудного сырья.

Металлоносность нефтей России

Из имеющихся к настоящему моменту систематических работ по металлоносности нефтей следует отметить созданную в ФГУП «ВНИГРИ» карту попутных полезных компонентов нефтей и битумов масштаба 1:5000000 [Белонин и др., 1999]. На карте показаны средние содержания металлов, доминирующих той или иной нефтегазоносной области.

Нефтегазоносными провинциями, где в нефтях и битумах доминирует ванадий или ванадий и никель, являются: Волго-Уральская, Тимано-Печорская, Прикаспийская. Содержание V и Ni в большинстве нефтей изменяется соответственно от 1-5 до 120-130 г/т и от 0,5 до 50 г/т. В наиболее обогащённых металлами тяжелых сернистых нефтях и мальтах концентрация ванадия достигает 550-1400 г/т, никеля – до 120-195 г/т. Нефтегазоносные области центральной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции имеют в нефтях меньшую концентрацию V и Ni (в среднем, соответственно, до 50 г/т и до 10 г/т), чем в Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинциях, но набор микроэлементов в них более широк и многообразен. В частности, в нефтях Среднеобской и Надым-Пурской нефтегазоносных областях содержится расширенная гамма элементов: Co, Ti, Mo, Sn, Cr, Mn, Se, Sb, As, Cs, Au, Hg, Sc, La, Eu и др. Для нефтегазоносных областей Восточной Сибири (Непско-Ботуобинская, Анабарская, Западно-Вилуйская и др.) характерны концентрации ванадия не более 15-70 г/т, никеля – до 7-20 г/т. В нефтегазоносных провинциях, в составе нефтей и битумов которых преобладает цинк (северные и южные нефтегазоносные области Западной Сибири, Лено-Вилуйская газонефтеносная область Восточной Сибири), отмечается обедненность нефтей и битумов по суммарному содержанию металлов и по концентрации отдельных элементов: Zn - от 0,2 -15 г/т, Ni – от 0,1 до 3-5 г/т, V – до 1-4 г/т.

Таким образом, эта карта дает возможность оценивать запасы V и Ni для ряда месторождений. Она позволяет судить о качественном многообразии микроэлементов, присутствующих в нефтях различных нефтегазоносных провинций. Кроме того, она позволяет сделать важный вывод о том, что обогащенные ванадием нефти и битумы содержат обширную гамму сопутствующих микроэлементов, из которых, в первую очередь, следует отметить Mo, Re, Co, Cr, As, Sb, Sr, Rb и др.

Однако оценка запасов всего спектра этих элементов в металлоносных нефтях РФ на основе данных, использованных при создании указанной карты, не представляется возможной по двум основным причинам. Первая – отсутствие промышленных кондиций на металлы, содержащиеся в нефтях. Исключением является ванадий, для которого промышленные кондиции были разработаны в 1990-х гг. На анализе его запасов в нефтях РФ и на проблемах его освоения мы остановимся ниже. Другой причиной является ограниченность количественных данных о содержании всего набора микроэлементов в изученных нефтях, не позволяющая провести оценку их запасов в соответствии с существующими стандартами.

Запасы нефтяного ванадия в России

Расчеты минимально-промышленных значений содержания ванадия и экспертная оценка его запасов в нефтях разведанных месторождений на территории России были впервые осуществлены во ВНИГРИ в ходе работ, проводимых совместно с ЛГИ им. Г.В. Плеханова в 1983 г.². Расчёты основывались на технологии получения легированного ванадием сплава с концентрацией ванадия не менее 0,01 вес. %, при плавке металлизированных окатышей с применением ванадийсодержащего нефтяного кокса. В результате проведённых расчётов было показано, что попутное извлечение ванадия из нефтяного кокса пирометаллургическим способом рентабельно при содержании пятиоксида ванадия в исходной нефти не менее 150-180 г/т.

Запасы пятиоксида ванадия в месторождениях промышленно металлоносных нефтей европейской части России, подсчитанные на основе этих кондиций в 1983 г., составили 390,7 тыс. т, в т.ч. в наиболее крупных - 304,7 тыс. т. В дальнейшем, с улучшением показателей вышеуказанной технологии, рентабельное получение нефтяного ванадия стало возможной при содержании пятиоксида ванадия в исходном сырье 120 г/т.

В настоящее время оценка запасов попутных полезных компонентов в нефтях осуществляется исходя из принятых значений их минимальных промышленных концентраций в данном виде сырья [Методические рекомендации..., 2006]. Для ванадия – это значение составляет 120 г/т в пересчёте на пятиокись (V_2O_5). Этот показатель и был взят за основу для выполненных нами расчетов запасов пятиоксида ванадия в тяжёлых нефтях плотностью более 901 кг/м^3 основных нефтегазоносных провинциях России. В результате суммарные запасы последнего на 2012 г. составили 159,3 тыс. т, в т.ч. в наиболее крупных – 111,1 тыс. т (табл. 6), т.е. они уменьшились за 29 лет более чем в два раза.

Такое сокращение запасов объясняется тем, что большая часть месторождений, чьи запасы ванадия учитывались в расчетах как в 1983 г., так и 2012 г. – это активно разрабатываемые месторождения Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносные провинции (Ромашкинское, Ново-Елховское, Усинское и др.). Добыча в них ведется из пластов, содержащих запасы нефти с высокими концентрациями пятиоксида ванадия, без извлечения последнего. Поэтому ежегодные потери V_2O_5 даже при современном уровне добычи тяжёлых нефтей составляют свыше 3 тыс. т (табл. 6) или в пересчете на чистый ванадий – 1,69 тыс. т, что составляет около 12% от ванадия, произведенного в России за это же период из рудного сырья. Это количество сопоставимо с объёмами внутреннего

² См. статью Суханов А.А., Петрова Ю.Э. Ресурсная база попутных компонентов тяжёлых нефтей России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2008. – Т. 3. - №2. - http://www.ngtp.ru/rub/9/23_2008.pdf

потребления ванадия в США, которое составляет 4-5 тыс. т/год [U.S. Geological Survey, 2008].

Таблица 6

Оценка запасов пятиокиси ванадия в месторождениях тяжелых нефтей РФ
(содержание пятиокиси ванадия в нефтях от и более 120 г/т)

Нефтегазоносная провинция, месторождение	Извлекаемые запасы пятиокиси ванадия на 01.01.2012, тыс. т	Потери пятиокиси ванадия при добыче нефти в 2011 г., т
Волго-Уральская нефтегазоносная провинция		
Всего (29 месторождений)	114,4	2327,4
<i>в т.ч. месторождения с извлекаемыми запасами пятиокиси ванадия более 5 тыс. т</i>	77,5	941,6
Ромашкинское	20,0	301,9
Ново-Елховское	13,9	435,3
Степноозерское	10,1	330,2
Аканское	7,1	85,4
Нурлатское	7,5	85,7
Зимницкое	13,5	3,1
Чубойское	5,4	0,0
Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция		
Всего (8 месторождений)	39,5	262,3
<i>в т.ч. месторождения с извлекаемыми запасами пятиокиси ванадия более 5 тыс. т</i>	27,2	221,9
Усинское	7,2	210,6
Ярегское	9,4	0,8
Торавейское	10,6	10,5
Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция		
Всего (1 месторождение)	5,5	436,6
<i>в т.ч. месторождения с извлекаемыми запасами пятиокиси ванадия более 5 тыс. т</i>	5,5	436,6
Усть-Балыкское	5,5	436,6
ИТОГО (38 месторождений)	159,3	3026,3
<i>в т.ч. месторождения с извлекаемыми запасами пятиокиси ванадия более 5 тыс. т</i>	111,1	1600,1

На самом деле, потери нефтяного ванадия гораздо более масштабны, поскольку в приведённой в табл. 6 оценке учитывались запасы месторождений только с промышленно кондиционными концентрациями от 120 г/т (по пятиокиси ванадия).

В то же время, с учётом технического прогресса за последние четверть века, представляется совершенно очевидной необходимость пересмотра значения промышленно кондиционного содержания ванадия в нефтях в сторону существенного понижения. Согласно оценкам, выполненным на основе анализа существующих технологий нефтепереработки, чёрной и цветной металлургии, концентрация ванадия в нефти на уровне

30 г/т может обеспечить промышленное получение ванадиевой продукции, по рентабельности сопоставимое с её промышленным получением из рудного сырья.

Учитывая суммарные объёмы ежегодно добываемой в России нефти, нельзя забывать, большое количество ванадия теряется в процессе разработки также средних и легких нефтей. В связи с этим, в работе [13] была выполнена оценка объемов пятиоксида ванадия и его потери в тяжелых нефтях с концентрациями V_2O_5 ниже 120 г/т и в нефтях плотностью менее 0,901 г/см³ с различными концентрациями V_2O_5 , но не менее 30 г/т (табл. 7).

Из данных, приведённых в табл. 7, видно, что такое снижение промышленно кондиционных содержаний ванадия в нефтях приведёт к сравнительно незначительному увеличению его запасов (примерно на 13%) в большинстве нефтегазоносных провинциях России, за исключением Западно-Сибирской, где его запасы увеличатся в 2,7 раза.

Учет потерь ванадия при отработке тяжёлых нефтей с содержанием V_2O_5 от 30 до 120 г/т в настоящий момент не представляется возможным, т.к. такие нефти, в большинстве случаев, содержатся в неразрабатываемых пластах.

Из табл. 7 следует, что разработка средних и лёгких по плотности нефтей также приводит к значительным потерям ванадия:

- для нефтей с кондиционными содержаниями V_2O_5 – 2,27 тыс. т в год;
- для нефтей с содержаниями V_2O_5 от 30 до 120 г/т – 1,07 тыс. т в год.

При этом суммарные объёмы этих потерь даже превосходят потери ванадия при разработке тяжёлых нефтей.

Следовательно, в качестве потенциально промышленно металлоносных следует рассматривать не только тяжёлые нефти, но также и нефти с плотностью менее 0,901 г/см³.

Таким образом, Россия располагает весьма значительными запасами ванадия в месторождениях тяжёлых нефтей с промышленно кондиционными содержаниями этого ценного попутного компонента. Также значительны запасы ванадия в месторождениях нефти, где его содержание ниже промышленно кондиционных значений. Зарубежный опыт свидетельствует о том, что получение ванадия из нефтяного сырья является экономически более эффективным по сравнению с его получением из рудного сырья. Тем не менее, из-за отсутствия системы комплексного освоения нефтей в России, ежегодные потери только «кондиционного» нефтяного ванадия составляют довольно существенную долю от объёмов его производства из рудного сырья.

Таблица 7

Оценка запасов пятиокиси ванадия в металллоносных нефтях России и её потерь при разработке месторождений

Нефтегазоносная провинция, содержание пятиокиси ванадия, г/т	Нефти с плотностью от и более 0,9 г/см ³			Нефти с плотностью менее 0,9 г/см ³		
	Количество месторождени й	Извлекаемые запасы пятиокиси ванадия на 01.01.2008, тыс. т	Потери пятиокиси ванадия при добыче нефти в 2007 г., т	Количество месторождений	Извлекаемые запасы пятиокиси ванадия на 01.01.2008, тыс. т	Потери пятиокиси ванадия при добыче нефти в 2007 г., т
Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция	14	47,5	294,0	5	4,3	82,0
в т.ч. более 120	8	40,5	262,3	3	1,1	18,5
30-120	6	7,0	31,7	2	3,2	63,5
Волго-Уральская нефтегазоносная провинция	29	123,7	2327,4	4	8,0	656,7
в т.ч. более 120	29	123,7	2327,4	2	7,2	637,6
30-120	-	-	-	1	0,8	19,1
Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция	2	26,9	436,6	5	76,3	2607,3
в т.ч. более 120	1	7,2	436,6	2	61,9	1616,3
30-120	1	19,7	-	3	14,4	991,0
Всего	45	198,1	3058,0	14	88,6	3346,0
в т.ч. более 120	38	171,4	3026,3	7	70,2	2272,4
30-120	7	26,7	31,7	7	18,4	1073,6

Проблемы освоения нефтяного ванадия в России

Как было отмечено в работе «Металлоносный потенциал нефтей России и возможности его реализации» [Суханов, Петрова, 2009], одной из наиболее значимых системных причин практически нулевой степени промышленного использования ванадиеносного потенциала нефтей в России является то, что освоение запасов «нефтяного» ванадия рассматривается отдельно от освоения запасов нефтей. Т.е. «нефтяной» ванадий не входит в число целевых продуктов, которые должны быть получены в результате освоения запасов нефтей.

Что же касается запасов ванадия, содержащихся в качестве полезного попутного компонента в железной руде, то их освоение (по крайней мере, на начальном этапе) происходит в рамках основного металлургического процесса, поскольку образующийся в ходе её передела ванадийсодержащий шлак является товарным сырьём для промышленного получения ванадия.

При создании системы крупномасштабного промышленного получения ванадия из нефтей важной задачей является выяснение *технологических возможностей интегрирования освоения запасов нефтяного ванадия в систему освоения запасов нефтей*. С этой целью в работе «Металлоносный потенциал нефтей России и возможности его реализации» [Суханов, Петрова, 2009], были рассмотрены существующие в настоящее время пути получения нефтяного ванадия.

Практически при всех способах нефтепереработки или использования котельного топлива нефтяного происхождения существует возможность извлечения того или иного количества ванадия. Рассмотрим кратко эти способы.

Сжигание топчного мазута. При этом способе ванадий из печных агрегатов выносится в атмосферу в виде весьма токсичных оксидов. Часть оксидов ванадия конденсируется на поверхности нагревательных труб, в результате специальной обработки которых удаётся извлечь в виде шлама 12-15% ванадия, содержащегося в топливе. Однако потери ванадия с дымовыми газами слишком велики (могут достигать 20%), а оборудование, обеспечивающее полную очистку дымовых газов от ванадия, является весьма дорогостоящим.

Газификация мазута или гудрона. При этом способе получения ванадия зольные элементы вместе с сажей улавливаются при водной промывке и охлаждении генераторного газа. Нерастворимые в воде V_2O_5 и V_2O_2 отфильтровываются вместе с сажей и золой, откуда ванадий может быть извлечён гидрометаллургическим способом. Другие растворимые в воде

оксиды (15-20% от количества ванадия, содержащегося в исходном сырье) уносятся водой и теряются.

Гидрокрекинг мазутов и гудронов. Этот процесс протекает при высоком давлении (более 15 МПа) на активных катализаторах. При этом на единице массы катализатора может адсорбироваться до 1,5-1,8 массы зольного элемента, в том числе ванадий и никель. Извлечение последних из катализатора связано с растворением или переплавкой всей массы катализатора, что в целом является дорогостоящим процессом.

Сольволиз тяжёлого нефтяного сырья. В рамках этого процесса, включаемого в современные технологические схемы нефтепереработки, осуществляется деасфальтизация сырья селективным растворителем. Асфальтены обогащены ванадием в значительно более высокой степени, чем смолы, поэтому сольволиз позволяет в значительной степени удалить металлы из сырья и сконцентрировать их в сравнительно небольшом объёме битума. Однако высокая степень деасфальтизации не приводит к полной деметаллизации продукта, так как в нём остаются смолы – носители металлов. Технология извлечения ванадия из битумов деасфальтизации не отработана.

Глубокая термическая переработка тяжёлого нефтяного сырья. Эта разновидность процессов занимает особое место среди технологий нефтепереработки, перспективных для получения ванадия, содержащегося в исходном сырье.

Наиболее распространёнными из них являются: термический крекинг; висбрекинг; крекинг с водяным паром «Юрека», замедленное коксование, термоконтактный крекинг, термоконтактный крекинг с газификацией кокса, пиролиз тяжёлого сырья и др. Все эти процессы, осуществляемые при достаточно высоких температурах, приводят к образованию жидких углеводородов с низкой и средней молекулярной массой и тяжёлых ароматизированных остатков, а также твёрдого карбонизированного остатка. Металлы, в том числе ванадий, сосредоточиваются в небольшом объёме этого карбонизированного остатка (крекинг-остаток, пек, кокс), и их концентрация по сравнению с таковой в нефти существенно возрастает. Различные процессы термической переработки отличаются различной глубиной. По мере углубления процесса возрастает выход низкомолекулярных целевых продуктов, а карбонизированного остатка – уменьшается, при этом в нём увеличивается концентрация металлов, в частности – ванадия.

Данные, приведённые в табл. 8, иллюстрируют различия в эффективности концентрирования металлов в зависимости от выбранного процесса термической переработки.

Таблица 8

**Показатели* термической переработки остатков (гудрона) лёгкой девонской нефти
Ромашкинского месторождения [Соскинд, Грибков, Герасичева, 1989]**

Показатели	Процесс				
	Висбрекинг	Юрека	Замедленное коксование	Термо-контактный крекинг	Термо-контактный крекинг с газификацией кокса
Сырьё – гудрон					
Выход на нефть, % масс.	28,5	26,9	26,9	28,5	28,5
Коксуемость, % масс.	17,7	18,0	18,0	17,7	17,17
Содержание:					
серы, % масс.	3,1	3,2	3,2	3,1	3,1
ванадия, г/т	200,0	210,0	210,0	200,0	200,0
никеля, г/т	60,0	90,0	90,0	68,0	68,0
Получено, % масс.					
Фракция C ₅ -500 °С	54,0	71,2	60,5	65,4	65,4
крекинг-остатка, пека, кокса	44,0	24,1	30,0	16,0	2,0
Содержание во фракции C₅-500 °С:					
ванадия, г/т	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
никеля, г/т	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
Содержание в крекинг-остатке, пеке, коксе:					
серы, масс. %	3,1	4,1	4,0	4,8	2,1
ванадия, г/т	431	871	666	1052	10000
никеля, г/т	156	371	297	365	3400

*плотность 0,86 г/см³, содержание серы – 1,6%, ванадия – 56 г/т, никеля – 21 г/т.

Как видно из табл. 8, в получаемых в результате термической переработки дистиллятных фракциях, кипящих ниже 500 °С, ванадий и никель практически отсутствуют.

Самое высокое значение концентрации ванадия 0,1-1,0 % масс. достигается в коксе термоконтактного крекинга и коксозольном концентрате термоконтактного крекинга с газификацией кокса. При этом концентрация ванадия в коксе термоконтактного крекинга почти в два раза превосходит его концентрацию в коксе замедленного коксования. Для сопоставления следует указать, что в руде одного из наиболее значительных по запасам ванадия Качканарского месторождения (табл. 9) его содержание составляет 0,10-0,30%.

Данные, приведённые в табл. 8, указывают на то, что с точки зрения эффективности промышленного освоения запасов нефтяного ванадия наиболее предпочтительными представляются схемы нефтепереработки, включающие процесс термоконтактного крекинга с газификацией нефтяного кокса. Именно в этом случае может быть достигнута максимальная степень концентрации нефтяного ванадия в одном из попутных продуктов нефтепереработки. Это означает, что в настоящее время существует действующая

промышленная технология нефтепереработки, в результате которой ванадий и другие ценные металлы, содержащиеся в исходном сырье, практически полностью концентрируются в попутном продукте нефтепереработки – коксозольном концентрате. При этом безразмерный коэффициент концентрирования, определяемый как отношение концентрации ванадия в попутном продукте к его концентрации в исходном сырье, может достигать значений 150-200. Дальнейшее обогащение коксозольного концентрата ванадием в специальных котлах-утилизаторах, оснащённых оборудованием для улавливания твёрдых частиц из отходящих газов, приведёт к увеличению коэффициента концентрирования до значений 800-900.

Таблица 9

Содержание ванадия в промышленных рудах основных ванадиеносных месторождений России

Месторождение	Содержание	
	пятиоксида ванадия, % вес	ванадия, % вес
Качканарское	0,18-0,53	0,10-0,30
Кусинское	0,63-0,68	0,35-0,38
Гусевогорское	0,12-0,62	0,07-0,35
Первоуральское	0,50-0,60	0,28-0,34

Следует ещё раз обратить внимание на представленные в табл. 8 значения концентрации ванадия в коксе термоконтактного крекинга и коксозольном концентрате. Эти значения, более высокие, чем в традиционно используемом рудном сырье, были достигнуты при переработке нефти, в которой *концентрация ванадия ниже промышленно кондиционной*. Это еще раз указывает на то, что оценка минимально-промышленных концентраций ванадия в нефтях нуждается в существенном пересмотре.

Таким образом, мы подошли к ещё одному важному аспекту проблемы освоения нефтяного ванадия в России – адекватной оценки его запасов, в основе которой должен лежать *расчет его минимальных промышленных концентраций*, учитывающий существующие технологические схемы освоения металлоносных нефтей. Как это было указано выше, он изначально предполагал отдельную переработку металлоносных нефтей с использованием специализированных технологий нефтепереработки, допускающих промышленное получение нефтяного ванадия. Однако на практике при освоении запасов нефтей, такая отдельная переработка промышленно металлоносных нефтей невозможна, т.к. по технологическим соображениям тяжелая нефть, содержащая металлы, и легкая нефть смешиваются. Соответственно, снижается концентрация ванадия в нефтях, поступающих на нефтеперерабатывающий завод. Они уже не являются формально промышленно металлоносными.

Два основных направления решения этой проблемы сформулированы в работе «Металлоносный потенциал нефтей России и возможности его реализации» [Суханов, Петрова, 2009].

Первое направление нацелено на отдельную переработку промышленно металлоносных нефтей. Оно связано с применением схемы территориально технологического совмещения добычи и переработки при освоении запасов тяжелых нефтей. Эта схема частично реализована в Канаде при освоении запасов тяжёлых битуминозных нефтей провинции Альберта. Суть её заключается в том, что добытая на месторождении нефть предварительно перерабатывается на месте с целью получения продуктов, поддающихся транспортировке по магистральным трубопроводам. При этом качество получаемых продуктов, а, соответственно, и их цена, существенно выше добытого исходного сырья. А получаемый попутно ванадийсодержащий концентрат может быть реализован как коммерческое ванадиевое сырьё.

Второе направление связано с применением технологий, обеспечивающих получение ванадия из перерабатываемого на нефтеперерабатывающем заводе нефтяного сырья, содержащего его в более низких концентрациях по сравнению с ныне действующими кондициями.

Для каждого из направлений освоения запасов нефтяного ванадия должно быть выработано *своё собственное значение* минимально-промышленных концентраций ванадия в нефтях.

В первом случае в качестве одного из основных условий освоения месторождений промышленно металлоносных нефтей должно быть применение схемы территориально технологического совмещения. При этом минимально-промышленная концентрация ванадия в исходной нефти должна определяться его технологически достижимым содержанием в ванадийсодержащем концентрате, при котором его транспортировка от месторождения до места дальнейшей переработки будет рентабельной. Кондиционные содержания ванадия в этом случае будут существенно зависеть от условий конкретного месторождения. Нижний предел этой оценки по экспертным расчётам будет составлять 30 г/т (V_2O_5).

Во втором случае промышленно металлоносная нефть, смешанная с более бедной металлами нефтью, поступает на нефтеперерабатывающий завод, и применение технологий, обеспечивающих получение ванадия и других ценных металлов, должно быть предписано специальным технологическим регламентом. При этом минимально-промышленная концентрация ванадия в поступающей на нефтеперерабатывающий завод нефти будет

определяться его технологически достижимым содержанием в ванадийсодержащем концентрате, при котором его дальнейшая переработка является рентабельной.

Для предварительной оценки минимально-промышленной концентрации в этом случае рассмотрим данные табл. 9, где приведены значения содержания пятиокси ванадия в промышленных рудах России. Если мы примем, что содержание пятиокси ванадия в получаемом в ходе нефтепереработки попутном продукте должно быть не менее 1,0%, то такой продукт будет являться заведомо рентабельным ванадиевым сырьём, поскольку его содержание значительно выше, чем в промышленных рудах.

Принимая во внимание значения технологически достижимого коэффициента концентрирования 800-900, предварительная оценка минимально-промышленно-значимого содержания ванадия в нефтях, поступающих на нефтеперерабатывающий завод, будет составлять около 12 г/т (V_2O_5).

Заключение

Металлоносный потенциал нефтей России очень высок. Для потенциально металлоносных тяжёлых нефтей шестая часть запасов соответствует промышленным кондициям на ванадий. По отдельным нефтегазоносным провинциям процент тяжелых нефтей, содержащих ванадий, может достигать 29% (Волго-Уральская) и 44% (Тимано-Печорская). Весь извлекаемый вместе с тяжелыми нефтями ванадий ~ 1.69 тыс. т/г (около 12% от ванадия, произведенного в России из рудного сырья, или около половины - потребляемого в США) остается в отходах. Примерено столько же ванадия теряется в процессе разработки месторождений, содержащих легкие и средние нефти.

Промышленные технологии нефтепереработки, существующие в настоящее время за рубежом, способны обеспечить перевод практически всего ванадия и других содержащихся в исходном сырье ценных металлов, в остаточные попутные продукты. Наиболее значимая из них с точки зрения эффективности промышленного освоения запасов нефтяного ванадия и других ценных и редких металлов - термоконтактный крекинг с газификацией нефтяного кокса.

Концентрации ванадия и других ценных и редких металлов, содержащихся в остаточном попутном продукте, в ряде случаев значительно превышают их концентрации в традиционном рудном сырье.

Создание системы промышленного освоения запасов нефтяного ванадия и других ценных металлов возможно на основе двух основных технологических схем:

- получение ванадиевого концентрата в ходе предварительной переработки нефтей вблизи месторождения с применением разработанной во ФГУП «ВНИГРИ» схемы территориального совмещения добычи и переработки;

- специализированная переработка металлоносной нефти, разубоженной в процессе её транспортировки, на нефтеперерабатывающем заводе.

Минимально-промышленные концентрации V_2O_5 для этих случаев должны быть различны. Предварительный расчет показал, что для рентабельного извлечения V_2O_5 , в первом случае эта цифра составляет 30 г/т, а во втором – 12 г/т.

Среди основных причин, по которым, несмотря на существенный сырьевой потенциал нефтяного ванидиеносного сырья и наличие эффективных промышленных технологий его освоения, в России не существует производства нефтяного ванадия, следует выделить:

– обеспеченность традиционным рудным сырьем, несмотря на сравнительно (с нефтяным ванадием) высокую себестоимость получения ванадиевого продукта на основе существующих металлургических технологий.

– низкая концентрация ванадия в нефтях, поступающих на нефтеперерабатывающий завод, т.к. в процессе транспортировки по трубопроводу из технологических соображений легкая, преимущественно не металлоносная, нефть смешивается с тяжелой, в результате происходит снижение концентраций ванадия до непромышленных значений;

– отсутствие технологической и нормативно-правовой основы промышленного получения нефтяного ванадия (и, возможно, других полезных попутных компонентов нефтей), совместимой с существующими ныне и перспективными схемами освоения запасов нефти.

Для предотвращения безвозвратных потерь ванадия и других ценных попутных компонентов, а также организации в России крупномасштабного производства продуктов на их основе, необходимо решить целый ряд задач, включающий в себя:

1. Разработку промышленных кондиций на содержание полезных попутных компонентов в металлоносных нефтях и природных битумах месторождений, перспективных для освоения в качестве нетрадиционных источников углеводородного сырья.

2. Оценку запасов ценных и редких металлов, а также других полезных попутных компонентов, содержащихся в месторождениях металлоносных нефтей и природных битумов, запасы которых оценены по промышленным категориям.

3. Разработку технологических схем освоения запасов металлоносных нефтей и природных битумов в качестве нетрадиционных источников углеводородного сырья, обеспечивающих получение содержащихся в них ценных попутных компонентов.

4. Создание организационно-экономических условий, необходимых для обеспечения комплексного характера освоения запасов металлоносных нефтей и природных битумов в качестве нетрадиционного источника углеводородного сырья.

С учётом вышеперечисленных задач могут быть намечены следующие направления работ по изучению и обеспечению утилизации ценных попутных компонентов, содержащихся в природных битумах и горючих сланцах месторождений, рассматриваемых в качестве нетрадиционных источников углеводородного сырья.

1. Изучение содержания полезных попутных компонентов тяжелых нефтей и природных битумов исследуемых месторождений в ходе проведения поисково-оценочного и разведочно-эксплуатационного этапов геологоразведочных работ.

Работы этого направления ведутся с целью выявления промышленно-кондиционных содержаний полезных попутных компонентов и оценки их запасов. Необходимость проведения этих работ для обеспечения утилизации полезных попутных компонентов очевидна, поскольку только наличие данных в Государственных балансах об их промышленно кондиционных содержаниях может быть основанием для введения в проекты лицензионных соглашений специальных условий, требующих применения технологических схем комплексного освоения запасов этих месторождений.

Эти работы могут выполняться, в основном, за счёт бюджетных средств, поскольку в существующих условиях для современного российского недропользователя наличие в добываемом углеводородном сырье обязательных для получения ценных попутных компонентов является, скорее, «обременением», чем обстоятельством, повышающим инвестиционную привлекательность соответствующего проекта освоения.

Помимо геологоразведочных работ, для успешного освоения ресурсов ценных попутных компонентов, содержащихся в природных битумах месторождений, разрабатываемых в качестве нетрадиционных источников углеводородного сырья, важное значение имеют тематические и научно-исследовательские работы.

2. Поиск технологий, обеспечивающих извлечение полезных попутных компонентов нефтей и природных битумов в ходе их добычи и переработки, разработка на их основе технологических схем комплексного, экономически эффективного освоения этих видов углеводородного сырья, а также внедрение этих схем в производственную практику.

3. Работы по созданию методических основ (с учётом наилучших существующих технологий) разработки комплекса промышленных кондиций на ценные и редкие металлы, а также на ценные сераорганические соединения и порфирины, содержащиеся в нефтях и природных битумах различных нефтеносных бассейнов России.

Наличие промышленных кондиций является необходимым условием признания того или иного полезного попутного компонента полезным ископаемым, подлежащим утилизации в ходе освоения запасов основного полезного ископаемого. Проведение работ в этом направлении необходимо по двум причинам:

- требования обязательного комплексного освоения запасов тяжелых нефтей и природных битумов должны быть подкреплены наличием соответствующих производственных схем, готовых к внедрению в практику освоения этих видов нетрадиционного углеводородного сырья;

- разработка промышленных кондиций на содержание полезных попутных компонентов в природных битумах возможна на основе информации о технико-экономических показателях наилучших существующих технологий, обеспечивающих их утилизацию в ходе освоения запасов этих видов углеводородного сырья.

4. Разработка комплекса мер административно-законодательного характера и комплекса организационно-экономических мероприятий с целью обеспечения необходимых условий комплексного освоения запасов тяжелых нефтей и природных битумов с кондиционными содержаниями ценных и редких металлов. Указанные условия должны, с одной стороны, обеспечивать обязательность применения технологических схем, предусматривающих получение попутных компонентов, а с другой – обеспечивать приемлемый уровень рентабельности тем проектам освоения тяжелых нефтей и природных битумов, которые удовлетворяют требованиям «комплексности» освоения.

Перечисленные меры, являясь основой для организации высокорентабельного производства из нефтяного сырья ванадия и других ценных (в т.ч. стратегических) металлов, сырьевая база которых в настоящее время является недостаточной, вместе с тем, являются важным фактором повышения рентабельности освоения запасов нефтей, особенно их нетрадиционной составляющей, которое является одной из приоритетных задач, перечисленных в энергетической Стратегии России на период до 2030 года.

Литература

Белонин М.Д., Самсонов В.В., Грибков В.В., Нелюбин В.В. Металлоносность нефтей и битумов России // Нефтегазовая геология на рубеже веков. Прогноз, поиски, разведка и освоение месторождений. – СПб.: ВНИГРИ. - 1999. - Т. 3. - С. 141-143.

Методические рекомендации по проведению переоценки категорий и выделению групп запасов нефти и горючих газов месторождений нераспределенного фонда недр в соответствии с новой «Классификацией запасов и ресурсов нефти и горючих газов». Научно-техническая консультационная фирма. Приложение 3. –М.: «ГЕОСЕРВИС». – 2006. - 61 с.

Новое в развитии минерально-сырьевой базы редких металлов. - Сборник научных статей. - М.: ИМГРЭ. - 1991. - 256 с.

Соскин Д.М., Грибков В.В., Герасичева З.В. Концентрирование металлов в процессах переработки нефти // Попутные компоненты нефтей и проблемы их извлечения. – Л.: ВНИГРИ. - 1989. - С. 83-88.

Соскин Д.М., Барсуков Е.Я. Термоконтный крекинг тяжелых нефтяных остатков. Тематический обзор. – М.: ЦНИИТЭнефтехим. – 1983. - 57 с.

Суханов А.А., Петрова Ю.Э. Металлоносный потенциал нефтей России и возможности его реализации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2009. - №5. - С. 8-13.

Торикова М.В., Кудинов Ю.А., Ключарёв Д.С. Рений в промышленных и природных углеводородных фракциях и углеродсодержащих месторождениях. - Материалы II Российского совещания по органической минералогии. – Петрозаводск. - 2005. - С. 191-193.

Торикова М.В., Кудинов Ю.А., Тимофеев П.В. Редкие металлы в нефтях, ископаемых углях, продуктах их переработки, минерализованных водах // Разведка и охрана недр. – 1996. - №8. - С. 21-28.

Gouzhy Ye. Recovery of vanadium from LD-slag, a state of the art report // Report JK 88031, 2006-04-05. - www.jernkontoret.se.

Manik Talwani. The Orinoco Heavy Oil Belt In Venezuela (Or Heavy Oil To The Rescue?). - http://cohesion.rice.edu/naturalsciences/earthscience/research.cfm?doc_id=2819 (дата обращения: 25.05.2008)

Raja B.V. Vanadium Market in the World // Steelworld. - 2007. – 13(2). – P. 19-22.

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2008. - <http://geondsi.er.usgs.gov>

Sukhanov A.A., Yakutseni V.P.

All-Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), Saint Petersburg, Russia, ins@vnigri.ru

Petrova Yu.E.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, yul68279483@yandex.ru

METALLIFEROUS POTENTIAL OF OILS – ASSESSMENT OF DEVELOPMENT PROSPECTS AND POSSIBLE WAYS OF IMPLEMENTATION

An assessment of prospects of associated resources development and its issues are analyzed on the example of vanadium and other metals. The results of analysis of vanadium resources in the largest accumulations of metalliferous oils and natural bitumen abroad and in oil and gas fields in the major provinces of Russia are presented, as well as the losses of vanadium reserves during development of metalliferous oils. Existing foreign and domestic technology of vanadium and other valuable metals extraction from oils, natural bitumen and refined products are analyzed; the most effective ones are highlighted. A set of basic actions for organization of highly profitable industrial production of vanadium and other rare and valuable metals extraction from oils in Russia is presented.

Key words: hydrocarbons, associated components, oil vanadium, rare metals, industrial development.

References

Belonin M.D., Samsonov V.V., Gribkov V.V., Nelyubin V.V. *Metallonosnost' neftey i bitumov Rossii* [Metalliferous oil and bitumen of Russia]. Neftegazovaya geologiya na rubezhe vekov. Prognoz, poiski, razvedka i osvoenie mestorozhdeniy. Saint Petersburg: VNIGRI, 1999, vol. 3, p. 141-143.

Gouzhy Ye. Recovery of vanadium from LD-slag, a state of the art report. Report JK 88031, 2006-04-05. www.jernkontoret.se.

Manik Talwani. The Orinoco Heavy Oil Belt In Venezuela (Or Heavy Oil To The Rescue?). – available at: http://cohesion.rice.edu/naturalsciences/earthscience/research.cfm?doc_id=2819

Novoe v razvitiî mineral'no-syr'evoy bazy redkikh metallov [News in development of mineral resources of rare metals]. Collection of scientific papers. Moscow: IMGRE, 1991, 256 p.

Raja B.V. Vanadium Market in the World. *Steelworld*, 2007, 13(2), p. 19-22.

Soskind D.M., Gribkov V.V., Gerasicheva Z.V. *Kontsentrirovanie metallov v protsessakh pererabotki nefi* [Concentration of metals in the process of oil refining]. Poputnye komponenty neftey i problemy ikh izvlecheniya. Leningrad: VNIGRI, 1989, p. 83-88.

Soskind D.M., Barsukov E.Ya. *Termokontaktnyy kreking tyazhelykh neftyanykh ostatkov. Tematicheskyy obzor* [Thermo-contact cracking of heavy oil residues. thematic review]. Moscow: TsNIITNeftekhim, 1983, 57 p.

Sukhanov A.A., Petrova Yu.E. *Metallonosnyy potentsial neftey Rossii i vozmozhnosti ego realizatsii* [Metalliferous oil potential of Russia and prospect for its development]. Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, 2009, no. 5, p. 8-13.

Torikova M.V., Kudinov Yu.A., Klyucharev D.S. *Reniy v promyshlennykh i prirodnykh uglevodorodnykh fraktsiyakh i uglerodsoderzhashchikh mestorozhdeniyakh* [Rhenium in industrial and natural hydrocarbon fractions and hydrocarbon fields]. – Proceedings of II Russian symposium on organic mineralogy. Petrozavodsk, 2005, p. 191-193.

Torikova M.V., Kudinov Yu.A., Timofeev P.V. *Redkie metally v neftyakh, iskopaemykh uglyakh, produktakh ikh pererabotki, mineralizovannykh vodakh* [Rare metals in oils, mineral coal and its refining products, mineralized waters]. *Razvedka i okhrana nedr*, 1996, no. 8, p. 21-28.

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2008. - <http://geo-nsdi.er.usgs.gov>