



УДК 550.4+553.982 (571.53)

## **Металлы в нефтях месторождений южной части Лено-Тунгусской провинции**

Ясныгина Т. А. ([ty@crust.irk.ru](mailto:ty@crust.irk.ru))

Рассказов С. В. ([rassk@crust.irk.ru](mailto:rassk@crust.irk.ru))

Маркова М. Е. ([natamark-@mail.ru](mailto:natamark-@mail.ru))

**Аннотация.** Обсуждаются новые результаты анализа содержаний металлов в нефтях Ярактинского, Западно-Аянского и Атовского месторождений Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Восточная Сибирь). Определения широкого спектра микроэлементов выполнены масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) с пробоподготовкой методами кислотного разложения и озоления. Сравнение с нефтями месторождений Западной Сибири и шельфа о-ва Сахалин показывает, что нефти месторождений Восточной Сибири имеют низкие концентрации большинства микроэлементов в сочетании с высокими значениями V/Ni. Это объясняется высоким содержанием легких фракций и водным (сапропелевым) происхождением органической составляющей. Нефти месторождений Западной Сибири в целом отличаются повышенными содержаниями редкоземельных (РЗЭ) и других литофильных элементов, а нефти о-в Сахалин – повышенными Ni, Co, V. В спектрах РЗЭ двух последних провинций сильнее выражены положительные Eu-аномалии. Нефти различных провинций образуют отдельные поля на диаграммах V/Ni – V и V/Ni – Ni.

**Ключевые слова:** нефть, Восточная Сибирь, металлы, ICP-MS.

### **Введение**

Нефти разных геологических провинций отличаются по суммарной концентрации микроэлементов и их соотношениям в зависимости от геодинамической обстановки нефтенакопления, взаимодействия с водой и вмещающими породами, возраста нефтематеринских осадочных пород, развития процессов гипергенеза и биодеградации нефти и других факторов [1; 3; 4; 7–9; 13; 14; 16; 21; 23 и др.].

Нефтегазовые месторождения юго-востока Сибирской платформы находятся в докембрийских коллекторах. Основным источником углеводородов считаются породы с высоким содержанием органического вещества (углеродистые сланцы), формировавшиеся в позднем докембрии на пассивной окраине Сибирского кратона. Нефти этих и других докембрийских месторождений отличаются от фанерозойских нефтей по составу органического вещества и изотопному составу углерода [2; 5; 6; 17].

В настоящей работе рассматриваются данные по содержанию металлов в нефтях Ярактинского, Западно-Аянского и Атовского месторождений этой территории и проводится сопоставление полученных данных с данными по нефтям из месторождений Западной Сибири и о-ва Сахалин.

### Краткая характеристика месторождений

Ярактинское и Западно-Аянское нефтегазоконденсатные месторождения находятся на севере Иркутской области в Лено-Тунгусской нефтегазодобывающей провинции Средне-Сибирского плоскогорья. Они имеют сложное строение и приурочены к южной части Непско-Ботуобинского антиклинория (рис. 1). Основные разведанные запасы месторождений углеводородов связаны с песчаниками рифей-вендского терригенного комплекса и вышележащими венд-кембрийскими карбонатами. Сохранность жидких углеводородов высокая. Многие месторождения считаются перспективными для добычи [11].

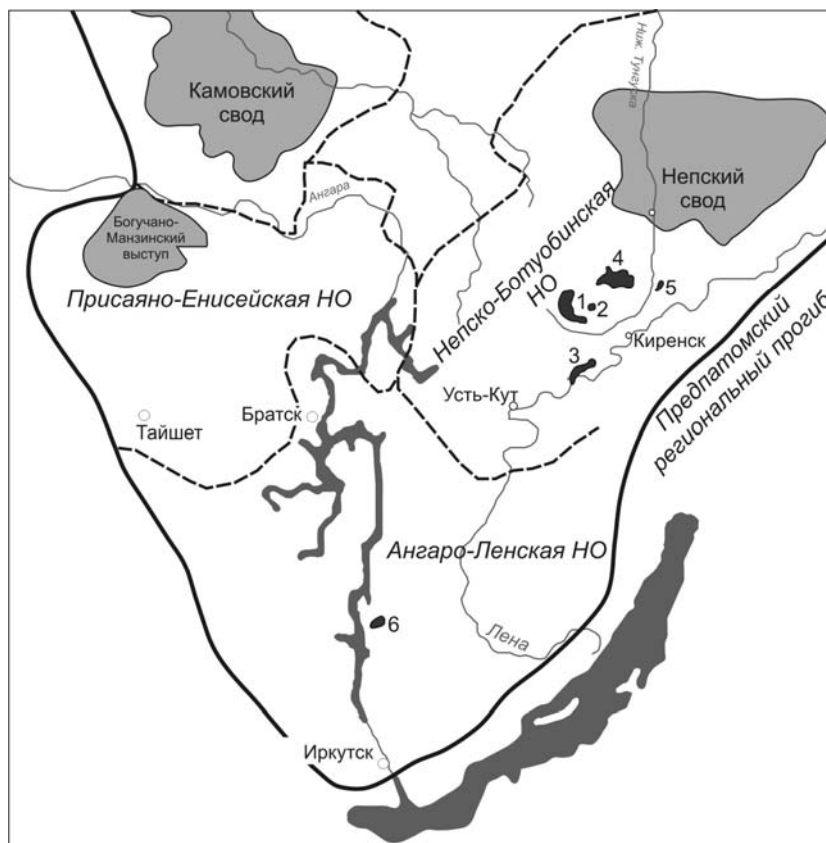


Рис. 1. Схема пространственных соотношений исследуемых объектов с наиболее крупными месторождениями углеводородов на юге Сибирской платформы [11, 19]:

1 – Ярактинское; 2 – Аянское; 3 – Марковское; 4 – Дулисьминское; 5 – Пилодинское; 6 – Атовское. НО – нефтегазоносная область

Ярактинское месторождение расположено на водоразделе между верховьями рек Нижней Тунгуски и Непы, примерно в 140 км от г. Усть-Кута. К югу от него обрабатывается Марковское нефтегазоконденсатное месторождение, к северу – Дулисьминское и к востоку – Западно-Аянское. Продуктивному нефтеносному горизонту соответствует вендская алевролитово-песчаная толща. Залегающие выше по разрезу вендские и нижнекембрийские карбонатные комплексы также считаются перспективными на нефть.

Породы продуктивного ярактинского горизонта: песчаники полевошпатовые, кварц-полевошпатовые, кварцевые, коричневатые, серые, от мелкозернистых до крупнозернистых и гравелитистых с прослоями и линзами конгломератов, алевролитов и аргиллитов. Глинистые перемишки имеют значительную примесь песчано-алевритового материала. Характерна резкая литофациальная изменчивость по площади за счет засоления, уплотнения и, в меньшей степени, глинизации. На Ярактинском месторождении при описании керна отмечалась значительная пиритизация терригенного материала, а также трещиноватость пород. Толщина ярактинского горизонта в пределах площади Ярактинского месторождения колеблется от 7 до 52 м. В южной части площади его толщина увеличивается, на северо-северо-западе – уменьшается.

Залежи Западно-Аянского месторождения приурочены к отложениям ярактинского и верхнетирского горизонтов. В отличие от залежей Ярактинского месторождения, они литологически и тектонически экранированы, ограничены и характеризуются низкими коллекторскими свойствами.

Небольшое Атовское (Новоудинское) месторождение относится к газоконденсатным. Оно расположено в 195 км от Иркутска, к юго-западу от Ярактинского и Западно-Аянского месторождений, на территории Ангаро-Ленской нефтегазоносной области Лено-Тунгусской провинции. Коллекторами газа являются песчаники в отложениях тирской свиты [19].

### **Методика элементного анализа**

Химическую пробоподготовку проводили в лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН. Использовали азотную кислоту марки ос. ч. (ОАО «Гиредмет»), дважды перегнанную в тефлоновой системе очистки кислот (DST-1000, Savillex), и воду, деионизированную на установке Elix Millipore SA.

Пробоподготовка включала этапы кислотного разложения и озоления. Для каждого образца выполняли два параллельных определения. Навеску нефти массой 3 г в лабораторной кварцевой посуде заливали концентрированной 70%-ной  $\text{HNO}_3$  с добавлением 30%-ного  $\text{H}_2\text{O}_2$  (ЗАО «Реактив», г. Ангарск), выдерживали при комнатной температуре и разлагали на электроплите с тефлоновым покрытием при слабом нагревании. Температуру повышали постепенно от 100 до 200 °С. Затем проводили озоление в муфельной печи ПМ-10 (ОАО «Электроприбор», г. Санкт-Петербург) при медленном повышении температуры до 350 °С. Осадок растворяли в 2%-ной  $\text{HNO}_3$ . Для корректировки дрейфа прибора вводили внутренний стандарт In.

Анализ проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500се центра коллективного пользования «Ультрамикроанализ» (аналитик *А. П. Чебыкин*). Для градуировки и контроля правильности анализа использовали многоэлементные стандартные растворы (производство High-Purity Standards, Charleston) и стандартные образцы горных пород BIR-1А, DNC-1А, BHVO-2, AGV-2.

### Результаты

В нефтях Ярактинского и Западно-Аянского месторождений Восточной Сибири определены в целом низкие содержания микроэлементов, за исключением ванадия (табл. 1). Между образцами из этих месторождений имеются существенные различия по содержаниям V, Ni, Co, Cr, Ti, Mn, Pb, U, Sr.

*Таблица 1*

Содержания металлов в нефтях Ярактинского (I, IV), Западно-Аянского (II, III) и Атовского месторождений (нг/г)

Нефть	Sc	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ga	Sn	Ba
I	0,4	129	84	0,7	179	–	4,6	1,00	0,2	1,89	16
IV	0,2	124	67	0,5	151	0,13	5,2	1,14	0,8	1,37	11
II	0,2	117	77	1,0	24	0,12	6,9	0,85	0,3	–	17
III	0,1	134	91	0,5	23	0,06	4,2	0,69	0,1	1,53	15
Атовское [20]	0,6	130	116	2,8	30	0,6	6,0	–	1,9	–	31

Нефть	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb
I	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
IV	0,17	0,33	0,04	0,19	0,03	0,011	0,03	0,021	0,004	0,012	0,013
II	0,18	0,35	0,06	0,16	0,05	0,04	0,05	–	–	–	–
III	0,07	0,18	0,02	0,05	0,013	0,015	0,012	<0,008	0,004	<0,008	0,011
Атовское [20]	0,50	1,20	0,14	0,76	0,12	0,03	0,12	0,15	0,02	0,08	0,05

Нефть	W	Pb	U	Ti	Cr	Co	Ni	V	Mn	K	Fe
I	1,01	17,5	0,14	12	5,2	5,8	341	2508	9,1	582	263
IV	0,99	19,8	0,11	21	5,1	10	592	4891	9,7	367	426
II	0,97	4,8	0,07	8,4	2,6	0,7	36	165	5,7	545	346
III	1,42	6,1	0,04	5,8	1,6	0,4	39	37	5,7	386	243
Атовское [20]	0,20	11,0	0,07	149	–	2,4	12	11	–	–	–

*Примечание:* Жирным шрифтом выделены концентрации микроэлементов в нефтях, отличающиеся в Ярактинском и Западно-Аяском месторождениях. Прочерк – нет данных.

Концентрации V и Ni в нефти Ярактинского месторождения составляют, соответственно, 2508–4891 и 341–592 нг/г, а в нефти Западно-Аянского месторождения – 37–165 и 36–39 нг/г. Содержание Sr в Западно-Аянской снижается, по сравнению с Ярактинской, в 7–9 раз. Концентрации других микроэлементов (например, Ba, Zr) изменяются слабо. Содержания тяжелых редкоземельных элементов Hf, Th, Tl, Cs и других близки к значениям предела обнаружения методом ICP-MS (0,001–0,01 нг/г) и не могут корректно интерпретироваться.

Спектры редкоземельных элементов нефтей Лено-Тунгусской провинции, нормированные к хондриту (рис. 2, а), имеют сравнительно небольшой наклон, содержания РЗЭ в нефтях в 1 000–10 000 раз ниже хондритовых. Содержания РЗЭ в нефтях Ярактинского и Западно-Аянского месторождений в среднем находятся примерно на одном уровне, а в нефти Атовского месторождения – повышаются. Для всех образцов нефти Западно-Аянского месторождения рассчитываются более низкие содержания легких РЗЭ (La, Ce, Nd), чем для Ярактинского. Отдельные «изломы» на спектрах (Sm, Ho, Pr, Er) связаны с низкими концентрациями элементов, в результате чего

увеличивается аналитическая погрешность. В некоторых пробах концентрации средних и тяжелых РЗЭ были ниже пределов обнаружения.

По некоторым микроэлементам (например, V, Ni, Sr) атовская нефть заметно ближе к западно-аянской (рис. 3). Концентрации Ti, Rb и Y (в меньшей степени – Zn, Ba, Ga) в нефти Атовского месторождения повышены, а W – понижены по сравнению с нефтями двух других месторождений Восточной Сибири.

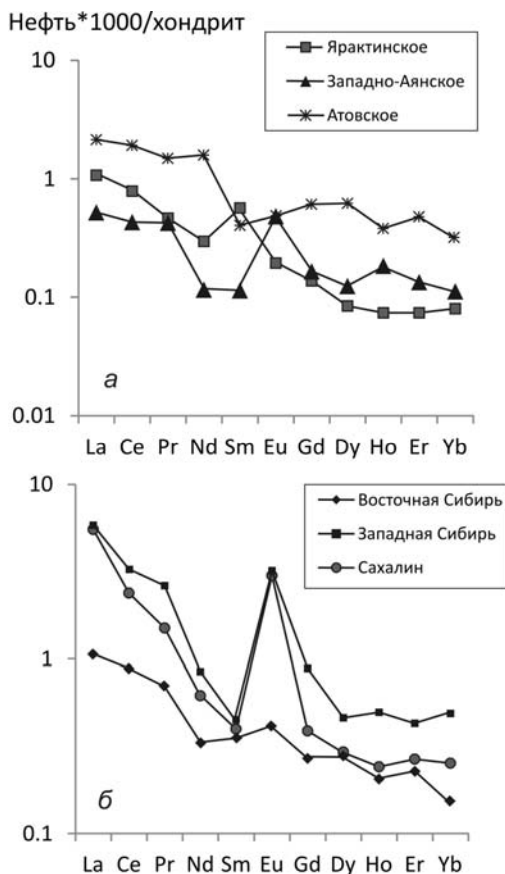


Рис. 2. Нормированные к хондриту [22] средние концентрации РЗЭ в нефтях Ярактинского, Западно-Аянского и Атовского месторождений Восточной Сибири (а) и средние значения концентраций РЗЭ для нефтей месторождений Лено-Тунгусской провинции Восточной Сибири, Западной Сибири и шельфа о-ва Сахалин (б). Исходные данные для расчета средних содержаний в нефтях Западной Сибири и Сахалина из работ [9; 10; 20]

В спектре западноаянской нефти выделяется европиевая аномалия. Европий в соединениях может иметь степень окисления  $2+$ , тогда как для других РЗЭ характерна степень окисления  $3+$ . Положительная Eu-аномалия в нормированном спектре обусловлена присутствием соединений с  $\text{Eu}^{2+}$  и может быть связана с влиянием сильновосстановительных условий. Такая аномалия характерна для спектров нефтей месторождений Западной Сибири [10] и шельфа о-ва Сахалин [9].

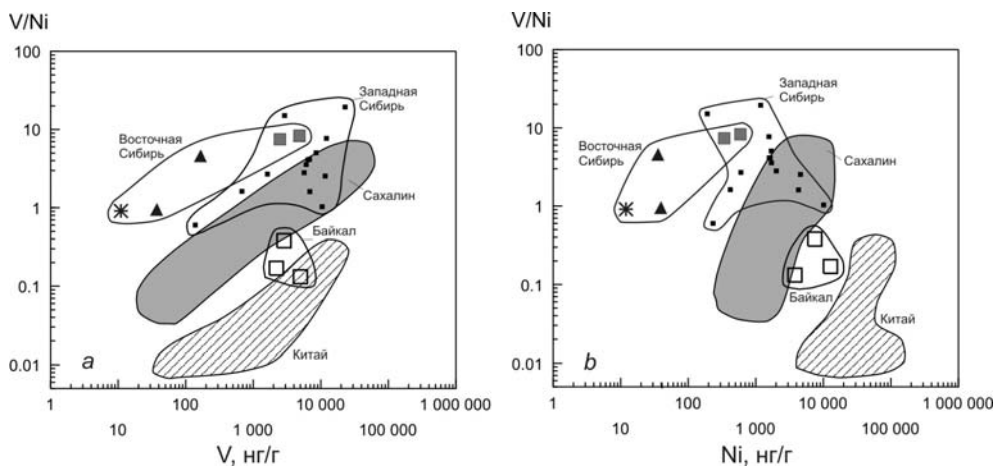


Рис. 3. Соотношения  $V/Ni$  и концентраций  $V$  (а) и  $Ni$  (б) в нефтях Восточной Сибири, о-ва Сахалин, Западной Сибири, оз. Байкал, Северного и Северо-Восточного Китая. Использованы данные из работы [9] и новые данные. Усл. обозн. для нефтей Восточной Сибири см. рис. 2, а.

## Обсуждение

В нефтях содержатся микроэлементы (металлы и неметаллы) в концентрациях от  $n \times 10^{-7}$  до  $n \times 10^{-3}$ , исключения –  $V$  и  $S$ , содержания которых в некоторых типах нефтей могут достигать  $n \times 10^{-2}$ . В тяжелых, измененных нефтях и битумах содержания микроэлементов возрастают, в легких нефтях и нефтепродуктах (бензин и т. п.) – снижаются. Преобладают микроэлементы переменной валентности, образующие комплексные соединения с атомами азота, серы, кислорода. Комплексные гетероатомные соединения, как правило, относятся к классу ароматических углеводородов (аренов) либо имеют смешанное строение. Металлы концентрируются главным образом в тяжелых, высококипящих фракциях ( $T > 420$  °С [18]), смолах и асфальтенах. В более легких фракциях определяются  $Cu$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $V$ . Содержания других металлов в них ничтожно малы. Некоторые металлы ( $Th$ ,  $U$ , возможно,  $Ba$ ,  $Sr$ ,  $Rb$ ,  $Y$ ,  $Zr$ ,  $Hf$ ,  $Ti$  и др.) содержатся также в асфальтенах нефти в составе механических микропримесей и попадают в нефть с водой или флюидами из вмещающих пород. Несмотря на низкие концентрации, металлы, как и другие гетероэлементы, несут дополнительную информацию о генезисе нефтей,

являются ядами для катализаторов, сырьем для промышленности, маркерами для экологического мониторинга.

Ванадий и никель входят в состав ванадил- и никель-порфиринов и некоторых непорфириновых комплексных соединений, содержащихся в смолисто-асфальтеновом веществе нефти. Порфирины нефтей представляют собой соединения со структурами, аналогичными красящему веществу крови (гемину) и хлорофиллу, но Fe и Mg в них замещены на Ni и  $VO^{2+}$  (возможно замещение на Co,  $CrO^{2+}$ ,  $MnO^{2+}$ ) [18]. Поскольку порфирины играют роль биомаркеров, V и Ni тесно связаны с органической составляющей нефтей.

Высокие концентрации серы (~0,05–5 %) могут быть обусловлены ее вхождением в нефть в виде элемента, в составе сероводорода и органических соединений. Соединения серы в нефти разнообразны: дисульфиды, меркаптаны (тиолы), сульфиды (тиоэфиры), тиацикланы, тиофены, малоизученные сернистые соединения [15 и др.]. Эти соединения в средних и тяжелых фракциях могут переходить друг в друга. Преобразования активизируются при повышении температуры и концентрации элементной серы в среде. В легких нефтях преобладают меркаптаны, в тяжелых – тиофены. Сторонники абиогенной концепции происхождения нефти предполагают, что сера поступает в нефть в составе глубинных флюидов [8]. Согласно гипотезе органического происхождения нефти содержание серы повышается за счет поступления из воды [18]. В любом случае присутствие серы и ее соединений в нефтепродуктах нежелательно, поскольку приводит к отравлению катализаторов, используемых в нефтепереработке, снижает качество топлива, может способствовать коррозии металлов. С концентрацией серы и серосодержащих металлоорганических соединений в нефтях коррелируются содержания V, Ni, Co, Cr, Zn, Mo и Pb. Присутствие V в нефти способствует восстановлению сульфатов пластовых вод до элементной серы и сероводорода и, при благоприятных для этого условиях среды, окислению нефти за счет кислорода сульфатов.

Такие элементы, как Cu, Zn, Pb, Sn, присутствуют практически во всех фракциях нефти, предположительно, в комплексных соединениях с тетраденатными лигандами, в солях нефтяных кислот (Cu, Zn, возможно, Ni, V, Co), соединениях типа алкил- и арилсвинца (Pb, Sn), соединениях, подобных по структуре порфиринам, и в других элементоорганических комплексах [18]. Большая часть этих соединений концентрируется в тяжелых фракциях. Нефтяные кислоты и их соли выделяют из средних фракций нефти при 250–400 °С. Сульфиды, также распространенные в легких и средних фракциях нефти, могут образовывать комплексные соединения с участием Hg, Ag, Sn, Ti, B, Al [15].

Формы нахождения редкоземельных и других литофильных элементов в нефти изучены слабо. Для РЗЭ наибольшей устойчивостью обладают кислородсодержащие комплексы. Подобные соединения присутствуют в тяжелых фракциях нефти (в смолисто-асфальтеновом веществе) [12].

В нефтях Ярактинского и Западно-Аянского месторождений V существенно преобладает над Ni, что при отсутствии или слабом влиянии вторичных преобра-

зований и слабо отличающейся глубине залегания свидетельствует о водном (сапропелевом) происхождении органической составляющей нефти. Это неудивительно, так как в докембрии наземные организмы еще не существовали.

Поведение Fe в нефти обычно подобно поведению Ni и Co, однако содержание Fe в образцах из рассматриваемых месторождений сопоставимы, а концентрации Ni и Co отличаются.

Показательно отличие западноаянской нефти от ярактинской по некоторым литофильным элементам (Ti, Sr, Pb, U), содержания их в нефти Ярактинского месторождения существенно выше. Стронций и уран могут легко переноситься водными флюидами из вмещающих пород при миграции нефти. Причины различий в содержаниях Ti и Pb неясны.

Отличия концентраций РЗЭ и других микроэлементов в нефти Атовского месторождения по сравнению с другими образцами восточносибирских нефтей обусловлены, скорее всего, региональными особенностями. Атовское месторождение находится на территории Ангаро-Ленской нефтегазоносной области, а Ярактинское и Западно-Аянское – Непско-Ботуобинской (см. рис. 1).

Средние концентрации микроэлементов в исследуемых нефтях месторождений Лено-Тунгусской провинции Восточной Сибири (Ярактинского, Западно-Аянского и Атовского) существенно ниже концентраций микроэлементов в нефтях Западной Сибири и шельфа о-ва Сахалин (рис. 4). Исключение составляют некоторые литофильные элементы: Sr, Rb, Sm, Th, Ti. Концентрации Sr в нефтях Лено-Тунгусской провинции выше, чем в нефтях шельфа о-ва Сахалин, а Rb, Sm, Th и Ti – находятся примерно на одном уровне (см. рис. 4).

В целом нефти исследуемых месторождений Лено-Тунгусской провинции Восточной Сибири легкие, доля тяжелых, высококипящих фракций в них невелика. Этим обусловлены сравнительно низкие суммарные концентрации металлов.

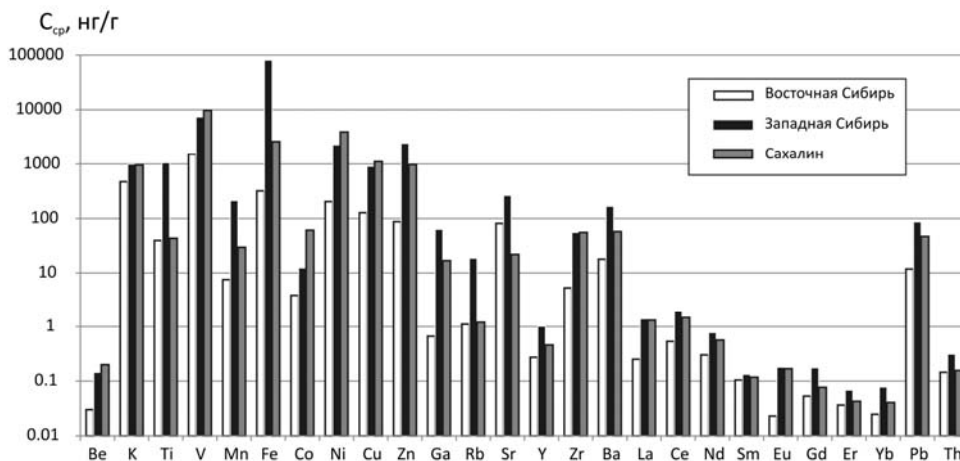


Рис. 4. Средние концентрации металлов в нефтях месторождений Лено-Тунгусской провинции Восточной Сибири, Западной Сибири и шельфа о-ва Сахалин



Нефти Западной Сибири и Сахалина отличаются более высоким средним содержанием легких РЗЭ от La до Nd, при этом в целом нефти Западной Сибири имеют более высокое содержание РЗЭ, чем нефти Восточной Сибири и Сахалина (см. рис. 2, б). Нефти о-ва Сахалин отличаются сравнительно высокими концентрациями Ni, Co, V.

На гистограмме рис. 4 выделяются сравнительно высокие средние значения концентраций Ti, Rb, Fe, Mn в нефтях Западной Сибири. Эта особенность может быть связана с развитием внутриплитного базальтового магматизма в этом регионе. Эти элементы могли быть частично привнесены в нефть в качестве примесей или входить в состав неорганической составляющей, если рассматривать происхождение нефти как полигенное.

На диаграммах рис. 3 восточносибирские образцы смещены относительно нефтей других нефтегазоносных провинций в область высоких значений V/Ni и низких концентраций этих элементов. На графиках V/Ni – V и V/Ni – Ni видны отдельные тренды в порядке возрастания V/Ni и уменьшения концентраций Ni: нефти Северного и Северо-Восточного Китая (фанерозойские), нефтепроявления оз. Байкал, нефти месторождений о-ва Сахалин, Западной и Восточной Сибири. Нефть Ярактинского месторождения попадает в верхнюю часть фигуративного поля западносибирских нефтей. Нефть Петелинского месторождения Западной Сибири выделяется высокими содержаниями V (23 мкг/г) и очень высоким V/Ni = 19,4 (верхний черный квадрат на рис. 3).

### **Заключение**

Исследовались содержания металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в нефтях Ярактинского, Западно-Аянского и Атовского месторождений южной части Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции Сибирской платформы. Месторождения связаны с осадочными породами рифея-венда и венда-кембрия. Два из них (Ярактинское и Западно-Аяское) находятся на территории Непско-Ботуобинского антиклинория, третье (Атовское) – на территории Ангаро-Ленской тектонической ступени.

В нефтях всех трех месторождений определены в целом низкие суммарные содержания металлов, но с отличающимися соотношениями между ними. В нефти Западно-Аянского месторождения выявлены наиболее низкие содержания РЗЭ и литофильных элементов и спектр РЗЭ с хорошо выраженной Eu-аномалией, в нефти Ярактинского месторождения – повышенные концентрации V, Ni, Co, Sr, в нефти Атовского месторождения – повышенные содержания РЗЭ, Ti, Y, Ba и некоторых других литофильных элементов.

Большинство металлоорганических соединений, в которые могут входить микроэлементы, связаны с содержанием тяжелых (смоли и асфальтеновые), в меньшей степени – средних фракций. Сравнительно низкие суммарные концентрации металлов в нефтях месторождений Восточной Сибири обусловлены преобладанием в них легких фракций и низким содержанием серы.

Сопоставление данных по концентрациям металлов в нефтях месторождений Восточной Сибири, Западной Сибири и о-ва Сахалин выявило отли-

чительную особенность нефтей Восточной Сибири, генетически связанных с органическим веществом докембрия. Она заключается в низких концентрациях большинства микроэлементов, кроме Sr, Rb, Sm, Th, Ti, а также высоких значениях V/Ni. Нефти месторождений Западной Сибири в среднем имеют сравнительно высокие содержания РЗЭ и других литофильных элементов, а нефти о-ва Сахалин – Ni, Co, V. Нефти разных провинций различаются по соотношениям V/Ni – V и V/Ni – Ni.

*Авторы благодарят С. П. Примину и Я. В. Самарину за представленные образцы и участие в лабораторных исследованиях.*

#### Список литературы

1. *Виноградова Т. Л.* Геохимические закономерности изменения состава нефтей при гипергенезе / Т. Л. Виноградова, С. А. Пунанова // Геология нефти и газа. – 2012. – № 3. – С. 44–53.
2. *Глобальные закономерности нефтегазосности докембрия Земли / А. Э. Конторович [и др.]* // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 8. – С. 6–42.
3. *Готтих Р. П.* Геохимические особенности нефти различных регионов и возможный источник металлов в ней / Р. П. Готтих, Б. И. Писоцкий, Д. З. Журавлев // Докл. Акад. наук. – 2008. – Т. 422, № 1. – С. 88–92.
4. *Готтих Р. П.* Элементы-примеси как индикаторы геодинамических обстановок нефтенакопления / Р. П. Готтих, Б. И. Писоцкий // Докл. Акад. наук. – 2010. – Т. 433, № 4. – С. 507–511.
5. *Исаев В. П.* Физико-химические особенности нефтей Иркутской области / Материалы по геологии и геофизике Сибирской платформы // Тр. ВСНИИГГиМС. Сер. Нефт. геол. – Иркутск, 1968. – Вып. 1. – С. 231–237.
6. *Ким Н. С.* Органическая геохимия докембрийских нефтей Сибирской, Восточно-Европейской и Аравийско-Нубийской платформ // Геология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 101–107.
7. *Конторович А. Э.* Некоторые черты геохимии ванадия и никеля в осадочных породах и нефтях / А. Э. Конторович, М. М. Колганова. Геология нефтегазосных районов Западно-Сибирской низменности // Тр. СНИИГГиМС. Сер. Нефт. геол. – Новосибирск, 1966. – Вып. 47. – С. 184–197.
8. *Лурье М. А.* К вопросу о происхождении нефти, Гетерокомпоненты, изотопия углерода и серы нефтей как генетические показатели / М. А. Лурье, Ф. К. Шмидт. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. – 209 с.
9. *Микроэлементы и изотопы стронция в нефтях из месторождений шельфа о. Сахалин / Т. А. Ясныгина [и др.]* // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34, № 2. – С. 32–43.
10. *Неорганическая геохимия нефти Западной Сибири (первые результаты изучения методом ICP-MS) / Ю. Н. Федоров [и др.]* // Докл. Акад. наук. – 2007. – Т. 414, № 3. – С. 385–388.
11. *Нефтегазосность докембрийских отложений Сибирской платформы. Перспективы подготовки и освоения их углеводородного потенциала Сибири / Д. И. Дробот [и др.]* // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 1. – С. 110–120.
12. *Органические производные редкоземельных элементов / М. Н. Бочкарев [и др.]*. – М. : Наука, 1989. – 230 с.
13. *Отражение катагенеза нефтей и битумоидов в их микроэлементом составе / В. А. Чахмахчев [и др.]* // Геохимия. – 1983. – № 1. – С. 152–157.

14. Пуанова С. А. Геохимические особенности распределения микроэлементов в нефтидах и металлоносность осадочных бассейнов СНГ // Геохимия. – 1998. – № 9. – С. 959–972.
15. Рябов В. Д. Химия нефти и газа / В. Д. Рябов. – М. : ФОРУМ – ИНФРА-М, 2014. – 336 с.
16. Степанов К. И. Влияние латеральной миграции углеводородов на изменение микроэлементного состава нефтей Калининградского вала / К. И. Степанов, С. А. Вешев // Геология нефти и газа. – 2000. – № 1. – С. 44–49.
17. Тимошина И. Д. Геохимия органического вещества нефтепроизводивших пород и нефтей верхнего докембрия юга Восточной Сибири // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 7. – С. 901–910.
18. Химия нефти / Ю. В. Поконова [и др.]. – Л. : Химия, 1984. – 360 с.
19. Шагин С. Г. Литология и коллекторские свойства нефтегазоносных отложений венда Сибирской платформы // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2005. – С. 77–80.
20. Ясныгина Т. А. Определение металлов в нефти методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / Т. А. Ясныгина, Ю. М. Малых, С. В. Рассказов // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды : материалы Всерос. конф. – Иркутск : ИГ СО РАН, 2007. – Т. 3. – С. 258–261.
21. Lewan M. Factors controlling the proportionality of vanadium to nickel in crude oils // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1984. – Vol. 48. – P. 2231–2238.
22. McDonough W. F. The composition of the Earth / W. F. McDonough, S.-S. Sun // *Chemical Geology*. – 1995. – Vol. 120. – P. 223–253.
23. Trace metals characterization of Niger delta kerogens / A. Akinlua [et al.] // *Fuel*. – 2007. – Vol. 86. – P. 1358–1364.

## Metals in Crude Oils from oil Fields of the Southern Part of the Lena-Tunguska Province

T. A. Yasnygina, S. V. Rasskazov, M. E. Markova

**Abstract.** New results of the analysis of metal contents in crude oils of the Yarakta, West Ayan, and Atov deposits of the Lena-Tunguska petroleum province (Eastern Siberia) are discussed. Determination of a wide range of trace elements performs by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) with sample preparation methods including acid digestion and ashing. Comparison with the oil fields of Western Siberia and shelf of Sakhalin shows that the oil fields in Eastern Siberia have low concentrations of most trace elements combined with high values of V/Ni. This is due to a high content of light fractions and water (sapropelic) origin of the organic component. Oil fields in Western Siberia in general distinguished by higher contents of rare earth (REE) and other lithophile elements, and oil fields of Sakhalin – higher Ni, Co, V. The REE spectra of last two provinces have more pronounced positive Eu anomalies. Crude oils of various provinces form a separate field on the diagram V/Ni – V and V/Ni – Ni.

**Keywords:** crude oil, East Siberia, metals, ICP-MS.

*Ясныгина Татьяна Александровна*  
кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник  
Институт земной коры СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
тел.: (3952) 51-16-59

*Рассказов Сергей Васильевич*  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, заведующий лабораторией;  
заведующий кафедрой  
Институт земной коры СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
тел.: 8(3952) 51-16-59  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 20-16-39

*Маркова Маргарита Евгеньевна*  
ведущий инженер  
Институт земной коры СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
тел. 8(3952) 51-16-59

*Yasnygina Tatyana Aleksandrovna*  
Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Research Scientist  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128, Lermontov st., Irkutsk, 640033  
tel.: (3952) 51-16-59

*Rasskazov Sergei Vasilievich*  
Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor, Head of Laboratory;  
Head of Department  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033  
tel.: 8(3952) 51-16-59  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 20-16-39

*Markova Margarita Evgenievna*  
Leading Engineer  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033  
tel.: 8(3952) 51-16-59