

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВО ЛЬДУ И МЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ

УДК 551.340: 553.982

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НЕФТЕЙ РОССИИ
НА ТЕРРИТОРИИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И ВНЕ ЕЕ

Ю.М. Полищук, И.Г. Яценко

Институт химии нефти СО РАН, 634021, Томск, пр. Академический, 3, Россия, sric@ipc.tsc.ru

Проведен сравнительный анализ химического состава нефтей России на территориях распространения вечной мерзлоты и вне ее. Показано, что содержание в нефтях серы, парафинов, смол и асфальтенов на территориях криолитозоны в среднем меньше, чем на территориях вне криолитозоны, а содержание фракции н.к. (начало кипения) 350 °С оказывается максимальным в криолитозоне. По объемам запасов нефти и газа криолитозона России гораздо богаче нефтегазоносных территорий вне зоны мерзлоты. В криолитозоне более 70 % нефтей залегает на глубинах ниже 3000 м и нефти приурочены в основном к мезозойским отложениям, а на территории вне мерзлоты большая часть нефтей являются палеозойскими и чаще всего находятся на глубинах до 2000 м.

Криолитозона, химический состав нефтей, сера, парафины, смолы, асфальтены, база данных, возраст пород, ГИС-технологии, статистический анализ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION
OF OILS IN RUSSIA IN PERMAFROST TERRITORY AND OUTSIDE OF IT

Yu.M. Polishchuk, I.G. Yashchenko

Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, 634021, Tomsk, Akademichesky pr., 3, Russia, sric@ipc.tsc.ru

The comparative analysis of chemical composition of Russian oils has been carried out for permafrost territory and outside of it. It has been shown that the contents of sulfur, paraffins, resins and asphaltenes in the oils on permafrost territories on the average are lower than their contents in the oils on territories outside of it. The volumes of oil and gas stocks of Russian permafrost are larger than on territories outside of it. In permafrost, more than 70 % of oils occur at the depths below 3000 m basically in the Mesozoic sediments, and on the territory outside of it most oils are Paleozoic and occur at the depths of about 2000 m.

Permafrost, oil chemical composition, sulfur, paraffins, resins, asphaltenes, database, rock age, GIS-technology, statistical analysis

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, нефтегазодобывающая промышленность является одной из основных бюджетобразующих отраслей России. Перспективы развития топливно-энергетического комплекса тесно связаны с расширением объема геолого-разведочных работ на северных (Тимано-Печорский и Западно-Сибирский нефтегазоносные бассейны, шельфы северных морей) и восточных (Восточная Сибирь, Дальний Восток) территориях страны со сложными горно-геологическими условиями в районах распространения вечной мерзлоты [Геокриология СССР, 1988].

Многолетнемерзлые горные породы широко распространены на Земле и встречаются почти на всех континентах. Площадь их распространения превышает 1/4 всей суши, включая примерно 75 %

территории Аляски и более половины территории Канады и России [Геокриология СССР, 1988]. В России общая площадь районов распространения вечной мерзлоты равна 10,7 млн км², что составляет около 63,5 % всей территории страны. Основные закономерности распространения многолетнемерзлых пород изложены в работах В.А. Кудрявцева, В.Н. Достовалова, В.Т. Трофимова, И.Д. Данилова, В.В. Баулина, Г.И. Дубикова, А.Р. Курчикова и других исследователей [Атлас СССР, 1984; Геокриология СССР, 1988; Анисимов, Лавров, 2004; Павлов, Ананьева, 2004; Duchkov, 2006; Melnikov, Drozdov, 2006].

В наших работах (см., например, [Полищук, Яценко, 2004]) изучены закономерности изменения химического состава нефтей в зависимости от

глубины залегания, геологического возраста и пространственного размещения месторождений. Представляет интерес изучение особенностей химического состава и свойств нефтей на территориях в зонах вечной мерзлоты, что и явилось основной целью настоящей работы.

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ НА НЕФТЕНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ РОССИИ

В зависимости от степени сомкнутости многолетнемерзлых пород различают области их сплошного, прерывистого и островного распространения [Павлов, Аманьева, 2004]. На территории России наибольшую площадь (61,8 % общей площади распространения вечной мерзлоты) занимает область криолитозоны сплошного типа, границы которой охватывают большую часть арктических островов и тянутся почти непрерывно вдоль всего побережья от Карского моря на западе до Чукотского моря на востоке, проникая в глубь континента в центральной Сибири и в Якутии [Атлас СССР, 1984]. Криолитозона островного типа, занимая 21,2 % общей площади распространения вечной мерзлоты на территории России, простирается от Кольского п-ова до побережья Японского моря, Сахалина и Камчатки. Наименьшую площадь (17 % общей площади мерзлоты) имеет область криолитозоны прерывистого типа, расположенная между областями островного и сплошного типов криолитозон.

На рис. 1 представлены картосхемы нефтегазоносного и геокриологического районирования территории России. Как видно на рис. 1, большинство нефтегазоносных бассейнов (НГБ) России полностью или частично располагаются в зоне

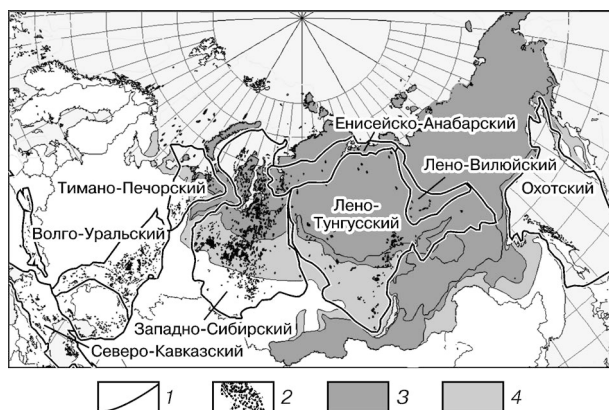


Рис. 1. Распределение нефтегазоносных бассейнов в криолитозоне России:

1 – границы нефтегазоносных бассейнов России; 2 – месторождения нефти и газа; типы криолитозон: 3 – прерывисто-сплошной, 4 – островной.

Таблица 1. Распределение месторождений углеводородов по территории России с разными типами мерзлоты и вне ее

Тип территории	Площадь зон, млн км ²	Количество месторождений (% от общего количества месторождений)	Концентрация месторождений на 1 млн км ²
Островная криолитозона	2,27	447 (17,8)	196,9
Прерывисто-сплошная криолитозона	8,43	501 (20,0)	59,4
Территория вне криолитозоны	6,15	1560 (62,2)	253,7

вечной мерзлоты. Заметим, что для удобства проведения сравнительного анализа свойств нефтей на территориях вечной мерзлоты и вне ее на рис. 1 области сплошной и прерывистой мерзлоты объединены в единую прерывисто-сплошную криолитозону. На основе сопоставления картографических схем геокриологического районирования и нефтегазоносности территории определены относительные площади криолитозон разных типов и территории вне вечной мерзлоты и количество месторождений углеводородов в каждой из рассматриваемых областей (табл. 1).

Как следует из табл. 1, на территории вне зон многолетней мерзлоты расположено большинство месторождений – 62 % от общего числа месторождений России. Остальные 38 % месторождений размещены в областях с островным либо прерывисто-сплошным типом криолитозоны. Концентрация месторождений, приходящихся на 1 млн км² территории, также наибольшая в зоне вне мерзлоты, далее следует концентрация месторождений в криолитозоне островного типа. В зоне прерывисто-сплошного типа месторождений на 1 млн км² оказывается почти в 3 раза меньше, чем в островной криолитозоне, и в 5 раз меньше по сравнению с территорией вне многолетней мерзлоты. Однако, если мы рассмотрим распределение месторождений по запасам отдельно в криолитозоне и на территории вне ее, то картина будет иная.

В табл. 2 приведена классификация месторождений по объему запасов [Федоров, 2005] и представлена общая информация о распределении месторождений углеводородов по территориям с вечной мерзлотой и вне ее. Как следует из табл. 2, доли уникальных и крупных месторождений нефти наиболее высоки в криолитозоне (более 80 % от общего количества нефтяных месторождений). К числу таких месторождений относятся, например, Советское, Суторминское, Уренгойское месторождения в Западно-Сибирском и Усинское в Тимано-Печорском бассейнах. Крупных месторождений нефти на территориях за пределами об-

Таблица 2. Распределение месторождений по запасам углеводородов в криолитозоне России и вне ее

Классификация месторождений* по запасам углеводородов	Количество месторождений	
	Доля от общего числа нефтяных месторождений, %	Доля от общего числа газовых месторождений, %
<i>Территория криолитозоны</i>		
Уникальные	33,3	9,5
Крупные	50,0	39,2
Средние	16,7	29,7
Мелкие	–	17,6
Очень мелкие	–	4,0
<i>Территория вне криолитозоны</i>		
Уникальные	–	0,7
Крупные	33,3	1,4
Средние	25,0	23,6
Мелкие	25,0	25,7
Очень мелкие	16,7	48,6

* Месторождения уникальные: нефти – более 300 млн т, газа – более 500 млрд м³; крупные: нефти – от 30 до 300 млн т, газа – от 30 до 500 млрд м³; средние: нефти – от 3 до 30 млн т, газа – от 3 до 30 млрд м³; мелкие: нефти – от 1 до 3 млн т, газа – от 1 до 3 млрд м³; очень мелкие: нефти – менее 1 млн т, газа – менее 1 млрд м³.

Тире – данные отсутствуют.

ласти вечной мерзлоты значительно меньше, и доля их составляет приблизительно 33 %.

Аналогичная ситуация наблюдается и в распределении газовых месторождений по территории России. Так, количество уникальных и крупных месторождений газа (Бованенковское, Заполярное, Медвежье, Самбургское, Уренгойское, Харасавэйское, Ямбургское в Западной Сибири) в криолитозоне составляет около 50 %, а на территории вне области мерзлоты – всего лишь 2,1 %.

Доля мелких и очень мелких месторождений газа в криолитозоне составляет приблизительно 20 %, а в зоне вне мерзлоты их большинство (свыше 74 %). Таким образом, по объемам запасов нефти и газа криолитозона России гораздо богаче территорий, свободных от вечной мерзлоты.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕФТЕЙ КРИОЛИТОЗОНЫ ПО ГЛУБИНЕ ЗАЛЕГАНИЯ

Рассмотрим распределение нефти по глубине залегания на территории криолитозоны и вне ее. На рис. 2 представлено распределение информации из базы данных (БД) о нефтяных месторождениях основных нефтегазоносных территорий России, приуроченных к территориям вне криолитозоны и находящихся в пределах криолитозоны. Как видно на рис. 2,а, почти половина (46 %) нефти на территории вне криолитозоны залегает на глубине 1000–2000 м, 12,4 % нефтей – на глубине до 1000 м. Следовательно, около 60 % всех нефтей на территориях вне криолитозоны находится на глубинах до 2000 м. Остальная часть нефтей (40 %) распределена по глубинам следующим образом: на глубинах от 2000 до 3000 м – 32 %, 3000–4000 м – около 7 %, а на глубинах более 4000 м залегает лишь 1,5 % нефтей.

На территории криолитозоны (см. рис. 2,б) более 60 % нефтей залегает на глубине от 2000 до 3000 м. На глубинах до 2000 м на этой территории находится около 30 % нефтей. Остальная часть (10 %) нефтей распределена по глубине следующим образом: на глубинах от 3000 до 4000 м – 9,4 %, более 4000 м – менее 1 % нефтей.

Таким образом, в криолитозоне более 70 % нефтей залегает на глубинах ниже 3000 м, а на территории вне мерзлоты большинство нефтей (около 60 %) находится на меньших глубинах (до 2000 м) (см. рис. 2).

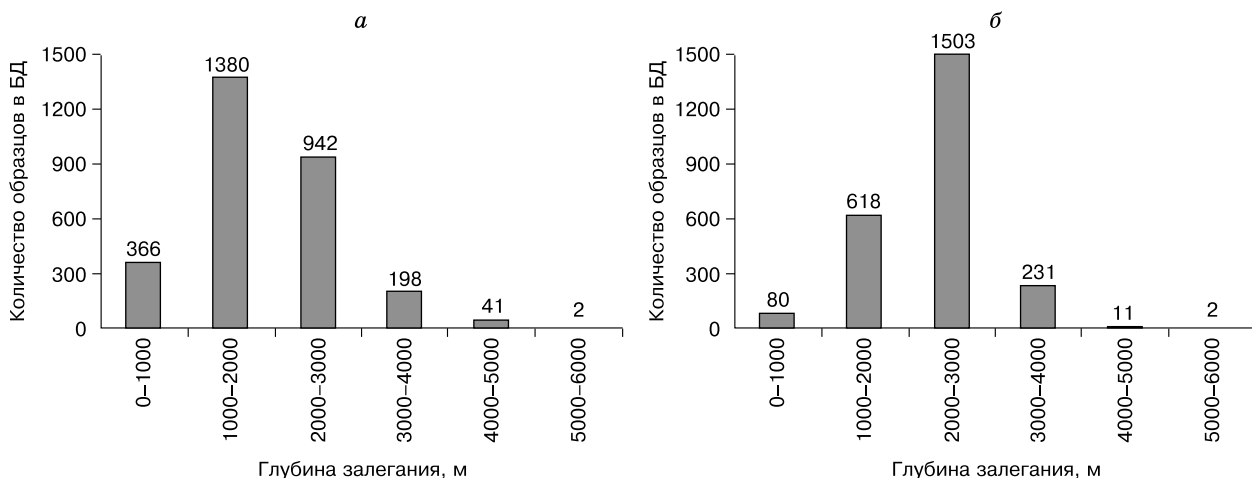


Рис. 2. Распределение нефтей по глубине залегания на территории вне криолитозоны (а) и в криолитозоне (б) России.

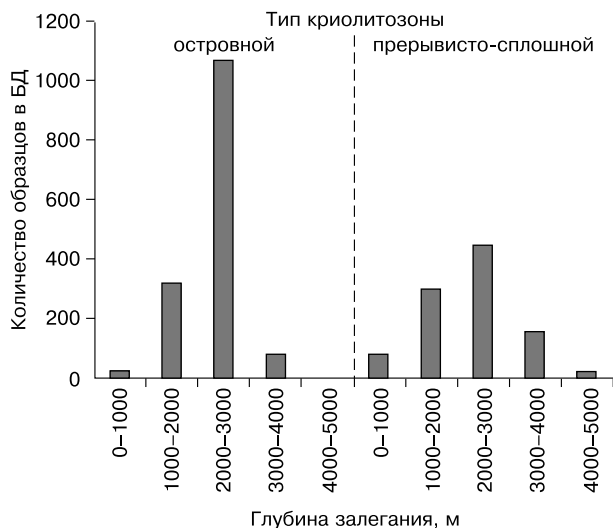


Рис. 3. Распределение нефтей по глубине залегания и по типам криолитозон.

Рассмотрим более подробно распределение нефтей по глубинам в зависимости от приуроченности их к разным типам криолитозон. На рис. 3 приведены гистограммы зависимости количества нефтей от глубины залегания на территориях прерывисто-сплошной и островного типов криолитозоны. Распределение нефтей в этих областях следующее: почти 60 % приходится на зону островного типа и 40 % приурочено к зоне прерывисто-сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов.

Как видно на рис. 3, в обеих зонах большая часть нефтей залегает на глубинах от 2000 до 3000 м. Наиболее четко это выражено для криолитозоны островного типа – более 72 % всех нефтей рассматриваемой зоны залегает на глубине 2000–3000 м, для прерывисто-сплошной криолитозоны доля нефтей на этих глубинах ниже и составляет около 46 %. Почти равное количество нефтей в обеих зонах находится на глубинах от 1000 до 2000 м.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕФТЕЙ КРИОЛИТОЗОНЫ ПО ВОЗРАСТУ ПОРОД

Распределение нефтей по возрасту на территориях мерзлоты и вне ее также различно. Так, распределение фактического материала по геологическим эрам (кайнозойская, мезозойская, палеозойская и протерозойская) приведено на рис. 4. Как видно на рис. 4,а, для территории вне криолитозоны наиболее обширный материал относится к палеозою (2621 образцов нефтей, что составляет более 64 % всех нефтей территории вне криолитозоны). Примерно равное количество нефтей залегает в отложениях кайнозоя и мезозоя (15 и 21 % соответственно), а в протерозойских отложениях их практически нет. Иная картина распределения нефтей криолитозоны по возрасту представлена на рис. 4,б: абсолютное большинство нефтей (около 74 %) приурочено к мезозойским отложениям, где их количество примерно в 2,5 раза больше, чем для территорий вне криолитозоны, а количество палеозойских нефтей уменьшилось почти в 8 раз и доля их от всех нефтей криолитозоны составляет 12 %. Увеличилось также количество протерозойских нефтей, их доля составляет 14,3 %, а кайнозойских нефтей в криолитозоне практически нет.

Рассмотрим более подробно распределение нефтей по возрасту в зависимости от приуроченности их к территориям с разными типами криолитозоны. На рис. 5 приведены гистограммы зависимости количества нефтей от возраста пород в прерывисто-сплошной и островной криолитозонах. Распределение нефтей с известным возрастом в различных по типу криолитозонах следующее: 62 % нефтей приходится на зону островного типа и 38 % приурочено к зоне прерывисто-сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов.

Как видно на рис. 5, в обеих зонах большая часть нефтей залегает в мезозойских отложениях: для криолитозоны островного типа более 72 % всех нефтей рассматриваемой зоны залегает в мезозойских отложениях, а в зоне прерывисто-сплошного типа эта величина составляет около

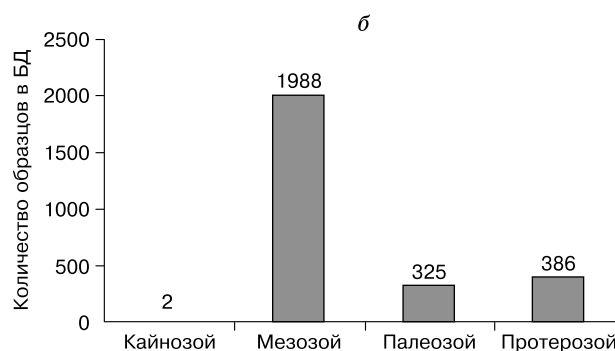
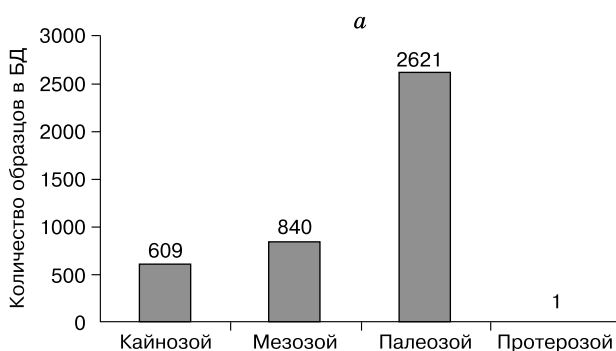


Рис. 4. Распределение нефтей на территории вне криолитозоны (а) и в криолитозоне (б) России по возрасту пород.

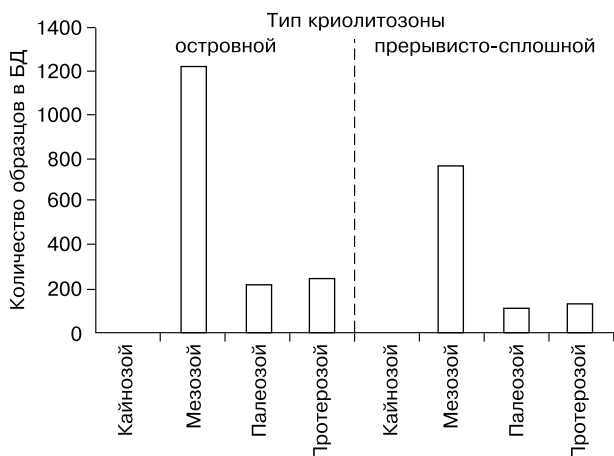


Рис. 5. Распределение нефтей по возрасту и по типам криолитозон.

76 %. В обеих криолитозонах почти равные доли нефтей залегают в палеозойских и протерозойских отложениях – доли нефтей, приуроченных к палеозою, в островной и прерывисто-сплошной криолитозонах равны 12,7 и 10,8 %, а доли протерозойских нефтей – 14,7 и 13,6 % соответственно.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НЕФТЕЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Данные об изменении показателей химического состава российских нефтей в зависимости от принадлежности их к тому или иному типу криолитозоны приведены в табл. 3. Анализ данных по-

казывает, что средние значения показателей состава нефтей изменяются в зависимости от типа криолитозоны. Как следует из табл. 3, нефти, приуроченные к территории вне мерзлоты, по сравнению с нефтями криолитозоны содержат значительно больше серы, смол, асфальтенов и парафинов и меньше фракции н.к. 350 °С.

Данные табл. 3 позволяют дать усредненную характеристику химического состава нефтей, относящихся к разным типам криолитозоны. Для наглядности результатов исследования химического состава нефтей в зависимости от их размещения на территориях в пределах разных типов криолитозоны или вне ее по данным табл. 3 составлены графики среднего содержания серы, смол, асфальтенов, парафинов и фракции н.к. 350 °С (рис. 6). Средние значения указанных показателей состава нефтей на графиках показаны точками, а отрезки прямых обозначают доверительные интервалы, определенные для вероятности 95 % и приведенные в табл. 3. На графиках представлены также линейные тренды изменения показателей состава нефтей, полученные путем аппроксимации эмпирических зависимостей. Аппроксимация проведена средствами программного пакета Excel. Как видно на рис. 6, а–г, среднее содержание серы, парафинов, смол и асфальтенов в нефтях при переходе от территории вне мерзлоты к территориям островного и прерывисто-сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов статистически значимо уменьшается. Это уменьшение характеризуется следующими данными: для серы – примерно в 5 раз, для парафинов – примерно на 30 %, для смол – в 2 раза и для асфальтенов – практически в 3 раза.

Таблица 3. Химический состав нефтей в зависимости от типа криолитозоны

Показатель	Статистические характеристики*	Территория вне вечной мерзлоты	Тип криолитозоны	
			островной	прерывисто-сплошной
Содержание серы	<i>N</i>	3165	1145	493
	<i>C_{ср}</i>	1,40	0,73	0,26
	<i>I_{дов}</i>	0,04	0,03	0,04
Содержание парафинов	<i>N</i>	3039	1074	467
	<i>C_{ср}</i>	4,92	3,56	3,22
	<i>I_{дов}</i>	0,16	0,21	0,37
Содержание смол	<i>N</i>	2609	1077	463
	<i>C_{ср}</i>	10,36	6,72	4,73
	<i>I_{дов}</i>	0,29	0,28	0,49
Содержание асфальтенов	<i>N</i>	2697	1046	444
	<i>C_{ср}</i>	2,48	1,38	0,60
	<i>I_{дов}</i>	0,11	0,09	0,11
Содержание фракции н.к. 350 °С	<i>N</i>	627	132	38
	<i>C_{ср}</i>	49,41	53,07	55,66
	<i>I_{дов}</i>	1,11	2,29	5,04

* *N* – объем выборки; *C_{ср}* – среднее значение, мас.%; *I_{дов}* – доверительный интервал.

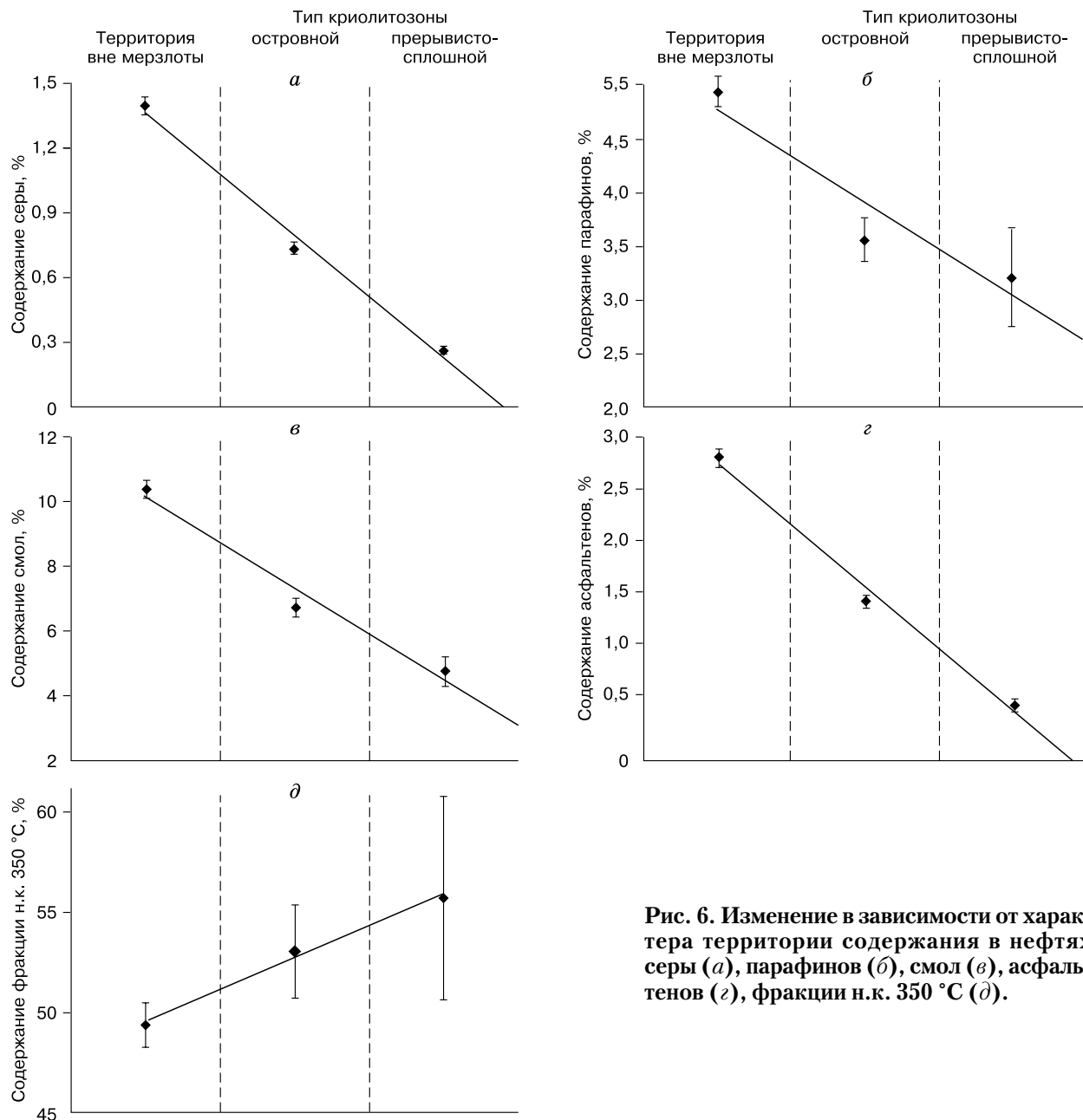


Рис. 6. Изменение в зависимости от характера территории содержания в нефтях серы (а), парафинов (б), смол (в), асфальтенов (г), фракции н.к. 350 °С (д).

Таблица 4. Коэффициенты аппроксимации уравнения (1) в зависимости от химического состава нефтей

Показатель	Коэффициенты аппроксимации		Достоверность аппроксимации (по критерию Excel)
	<i>a</i>	<i>b</i>	
Содержание серы	-0,57	1,94	0,99
Содержание парафинов	-0,85	5,60	0,89
Содержание смол	-2,81	12,90	0,97
Содержание асфальтенов	-0,94	3,37	0,99
Содержание фракции н.к. 350 °С	3,13	46,46	0,99

Содержание фракции н.к. 350 °С в нефтях криолитозоны прерывисто-сплошного типа почти на 13 % больше по сравнению с нефтями на территории вне мерзлоты (см. рис. 6,д).

Зависимость содержания серы, парафинов, смол, асфальтенов и фракции н.к. 350 °С достаточно хорошо аппроксимируется линейными уравнениями вида (см. рис. 6):

$$y = ax + b, \quad (1)$$

где *a*, *b* – коэффициенты линейной аппроксимации (табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложены результаты анализа свойств нефтей на территории России в зависимости от их расположения в пределах криолитозоны или вне ее. Анализ проведен с использованием геоинформационного подхода [Полищук, Яценко, 2004], основанного на сочетании методов статистического и пространственного анализа данных с использованием геоинформационных систем. Показано, что по объемам запасов как нефти, так и газа криолитозона России гораздо богаче нефтегазоносных территорий вне зоны мерзлоты.

Исследованы закономерности распределения нефтей по глубине залегания и по их возрасту на нефтегазоносных территориях в пределах криолитозоны и вне ее. Показано, что в криолитозоне более 70 % нефтей залегает на глубинах ниже 3000 м, и нефти здесь приурочены в основном к мезозойским отложениям (74 % всех нефтей криолитозоны), а на территории вне мерзлоты большая часть нефтей (около 60 %) находится на меньших глубинах (до 2000 м) и в большинстве случаев (64 %) располагается в палеозойских отложениях.

Сравнительный анализ химического состава нефтей России на нефтеносных территориях в пределах криолитозоны и вне ее показал, что на территориях в пределах криолитозоны содержание в нефтях серы, парафинов, смол и асфальтенов в среднем меньше, а содержание фракции

н.к. 350 °С больше по сравнению с их содержанием на территориях вне криолитозоны. Следовательно, на территориях России, занятых вечной мерзлотой, нефти оказываются значительно более качественными.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 05-05-98009).

Литература

- Анисимов О., Лавров С.** Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ // Технологии ТЭК, 2004, № 3, с. 78–83.
- Атлас СССР** / Отв. ред. Т.П. Сидоренкова. М., ГУГК, 1984, 260 с.
- Геокриология СССР.** Европейская территория СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1988, 358 с.
- Павлов А.В., Ананьева Г.В.** Оценка современных изменений температуры воздуха на территории криолитозоны России // Криосфера Земли, 2004, т. VIII, № 2, с. 3–9.
- Полищук Ю.М., Яценко И.Г.** Физико-химические свойства нефтей: статистический анализ пространственных и временных изменений. Новосибирск, Изд-во СО РАН, фил. "Гео", 2004, 109 с.
- Федоров С.** МПР приняло новую классификацию // Нефть и капитал, 2005, № 12, с. 16–17.
- Duchkov A.D.** Characteristics of permafrost in Siberia // Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide. NATO Sci. Ser. IV, 2006, vol. 65, p. 81–92.
- Melnikov V.P., Drozdov D.S.** Distribution of permafrost in Russia // Ibid., p. 69–80.

Поступила в редакцию
6 июня 2006 г.