

УДК 553.982

НЕФТЯНЫЕ РЕСУРСЫ КРИОЛИТОЗОНЫ РОССИИ (ОБЗОР)

И.Г. ЯЩЕНКО

ФГБУН Институт химии нефти СО РАН, г. Томск
sric@ipc.tsc.ru

В статье рассматривается углеводородный потенциал в зоне распространения вечномерзлых пород (криолитозона). По объемам запасов нефти криолитозона России гораздо богаче нефтегазоносных территорий вне зоны мерзлоты. Показано различие физико-химических свойств нефтей России в области распространения криолитозоны и вне ее. Проведен сравнительный анализ химического состава нефтей в зонах распространения вечной мерзлоты различного типа. Показано, что в нефтедобывающих районах с криолитозонами содержание в нефтях серы, парафинов, смол и асфальтенов в среднем меньше по сравнению с их содержанием в нефтях территорий вне криолитозоны, а содержание фракции оказывается максимальным в зонах криолитозоны.

Ключевые слова: криолитозона; химический состав нефти; сера; парафины; смолы; асфальтены; база данных; Енисейско-Анабарский, Западно-Сибирский, Лено-Вилуйский, Лено-Тунгусский и Тимано-Печорский нефтегазоносные бассейны

I.G. YASHCHENKO. OIL RESOURCES OF CRYOLITHOZONE OF RUSSIA (OVERVIEW)

The hydrocarbon potential in the permafrost zone (cryolithozone) is considered. The volume of oil reserves in the permafrost zone of Russia is much larger than in oil and gas bearing territories outside the permafrost zone (61,23 and 38,77%, respectively). Differences in physical and chemical properties of oils of Russia in the field of distribution of permafrost zone and outside it are shown. Comparative analysis of chemical composition of oils in the areas of distribution of permafrost was carried out. It is shown that the content of sulfur, paraffins, resins and asphaltenes in oils in permafrost territories is, on average, less than their contents in oils outside the permafrost zone. The content of diesel fractions in oils of permafrost zone is by 11-13% higher. As to the oil of the Timan-Pechora field, in permafrost of island type most of oil lies at a depth of 1000-2000 m (51,9%), in discontinuous permafrost zone equal quantity of oil is at a depth of 2000 m (46,3%) and below 2000 m (53,7%), and in the zone of continuous permafrost the majority of oil lies below 2000 m (90%).

Keywords: cryolithozone, oil chemical composition, sulfur, paraffins, resins, asphaltenes, database, Yenisei-Anabar, Western Siberia, Lena-Vilyuy, Lena-Tunguska and Timan-Pechora oil-and-gas bearing areas

Введение

В рамках реиндустриализации нефтегазового комплекса одним из главных перспективных объектов освоения сырьевой базы углеводородов становится территория распространения вечной мерзлоты [1–3].

Актуальность работы заключена в том, что территория криолитозоны имеет уникальные палеоклиматические и геолого-тектонические особенности, что оказывает большое влияние на зрелость нефтематеринских пород, объемы углеводородов и их свойства [4, 5].

Криосфера является объемной и наиболее изученной геосферой Земли – от морских глубин до

границы атмосферы и космоса. Велика роль криосферы в геологических процессах Земли. До сих пор не ясна причина появления 900–1000 млн. лет назад многоклеточных организмов, но известно, что эпохи похолодания (глобальные оледенения на границе архея и протерозоя, а также протерозоя и фанерозоя) и эволюция живых организмов оказываются взаимно связанными на протяжении всей геологической истории Земли. Например, после оледенения архей-протерозой из одноклеточных бактерий стали развиваться водоросли, после оледенения протерозой-фанерозой появились грибы, растения и животные. Установлено, что появление скелетных организмов, приуроченное к границе протерозоя и фанерозоя, связано со свойствами вы-

деления организмами карбоната кальция в условиях повышенного содержания кислорода. Именно в холодное время венда появляются первые гигантские организмы. К похолоданию в юрском периоде, а затем и в конце мелового могут быть приурочены крупнейшие эпохи вымирания биологических видов. Причина оледенений остается дискуссионной, но их цикличность не вызывает сомнений и может быть соотнесена с фазами глобальных геологических циклов Земли и периодичностью нефтенакопления [4–6].

В виду того, что в истории Земли обширные территории в прошлом подвергались воздействиям как подземных, так и наземных оледенений, в породах образовывались мощные по толщине и распространению зоны отрицательных температур – криолитозоны. Площадь распространения криолитозоны превышает четвертую часть всей суши Земного шара, включая 100 % территории Антарктиды, о-ва Гренландия, территории Аляски (США), более половины территории Канады и России и часть северных территорий Финляндии, Швеции и Норвегии. В России общая площадь районов распространения вечной мерзлоты равна 10,7 млн. км², что составляет около 63,5 % от всей территории страны [7–14].

Перспективы развития отечественного топливно-энергетического комплекса тесно связаны с расширением работ на северных (Тимано-Печорский и Западно-Сибирский нефтегазоносные бассейны (НГБ), шельфы северных морей) и восточных (Восточная Сибирь, Дальний Восток) территориях страны со сложными горно-геологическими условиями в районах распространения вечной мерзлоты [1–3], где нефть считается трудноизвлекаемой. Освоение новых северных районов России

ской Федерации в зоне вечной мерзлоты потребовало от нефтедобытчиков новых знаний о свойствах нефти этих регионов и условий ее залегания [15–18]. Целью работы является изучение и проведение сравнительного анализа особенностей физико-химических свойств трудноизвлекаемых нефтей основных перспективных нефтегазоносных бассейнов России в границах размещения криолитозоны различного типа – островной, прерывистой и сплошной.

Анализ особенностей размещения месторождений нефти на территории вечной мерзлоты

В зависимости от степени сомкнутости многолетнемерзлых пород различают области их сплошного, прерывистого и островного распространения. На территории России наибольшую площадь (39 % общей площади страны) занимает область криолитозоны сплошного типа, границы которой охватывают значительную часть арктических островов и тянутся почти непрерывно вдоль всего побережья Ледовитого океана от Карского моря на западе до Чукотского моря на востоке, проникая в глубь континента в Центральной Сибири и Якутии [7–12]. Криолитозона островного типа, занимая 13,5% общей площади территории России, простирается от Кольского п-ова до побережья Японского моря, Сахалина и Камчатки. А наименьшую площадь (около 11 % общей площади России) имеет область криолитозоны прерывистого типа, расположенная между областями островного и сплошного типов криолитозон.

На рисунке представлены совмещенные картосхемы нефтегазоносного и геокриологического районирования территории России с указанием крио-



Рис. Распространение криолитозоны на нефтеносных территориях России.
Pic.1. The distribution of the permafrost zone on the oil-rich territories of Russia.

литозон различного типа. Как видно из рисунка, наиболее перспективные НГБ России (Енисейско-Анабарский, Западно-Сибирский, Лено-Виллюйский, Лено-Тунгусский и Тимано-Печорский) полностью или частично располагаются в зоне вечной мерзлоты. На основе сопоставления картографических схем геокриологического районирования и нефтегазоносности территории определены относительные площади криолитозон разных типов и территории вне вечной мерзлоты (табл. 1). Приведены также данные о количестве месторождений в каждой из рассматриваемой области. Информация о количестве месторождений основана на сведениях из базы данных (БД) по химии нефти Института химии нефти СО РАН [15].

Как видно из табл. 1, на территории вне зон многолетней мерзлоты расположено большинство российских месторождений (62% общего числа месторождений России), остальные 38 % размещены в областях с островным, прерывистым или сплошным типом криолитозоны. Концентрация месторождений, приходящихся на 1 млн. км² территории, также наибольшая во вне зоны мерзлоты, далее следует концентрация месторождений в криолитозоне островного типа. А в зоне сплошного типа кон-

в Западно-Сибирском, Усинское в Тимано-Печорском и Юрубчено-Тохомское в Лено-Тунгусском бассейнах. Установлено, что крупных месторождений нефти на территориях за пределами области вечной мерзлоты значительно меньше, например, Новохоазинское, Ромашкинское, Чайкинское в Волго-Уральском, Северо-Кожвинское и Ярегское в Тимано-Печорском, Чайвинское и Астраханское в Прикаспийском бассейнах. Таким образом, по объемам запасов нефти криолитозона России гораздо богаче нефтеносных территорий, свободных от вечной мерзлоты.

Анализ изменений химического состава, плотности и вязкости нефтей на территориях различного типа мерзлоты

Данные об изменении показателей химического состава, плотности, вязкости и температуры застывания средне-российских нефтей, находящихся в разных зонах мерзлоты, приведены в табл. 2 и 3.

Следует отметить, что нефть территорий вне мерзлоты имеет значительные отличия от свойств нефти криолитозоны, что выражается ухудшением их свойств, а именно, нефть вне мерзлоты харак-

Таблица 1

Распределение месторождений углеводородов по территориям России с разным типом мерзлоты и вне ее

Table 1

Distribution of hydrocarbon fields on the territory of Russia with different types of permafrost and beyond it

Тип криолитозон	Площадь зон, млн. км ²	Кол-во месторождений (% общего количества месторождений России)	Концентрация месторождений на 1 млн. км ²	Кол-во образцов нефти в БД	Нефтегазоносные бассейны
Нефтеносные территории вне зоны вечной мерзлоты	6,15	2840 (62,02)	461,79	13818	Балтийский, Волго-Уральский, Днепровско-Припятский, Западно-Сибирский, Курильский, Охотский, Прикаспийский, Северо-Кавказский, Северо-Крымский, Тимано-Печорский, Туранский
Островная	2,27	971 (21,12)	427,75	3838	Западно-Сибирский, Лено-Тунгусский, Охотский, Тимано-Печорский
Прерывистая	1,82	296 (6,46)	162,64	1519	Западно-Сибирский, Лено-Тунгусский, Тимано-Печорский
Сплошная	6,61	472 (10,31)	71,41	2125	Енисейско-Анабарский, Западно-Сибирский, Лено-Тунгусский, Лено-Виллюйский, Притихоокеанский, Тимано-Печорский

центрация месторождений (на 1 млн. км²) оказывается почти в шесть раз меньше по сравнению с концентрацией месторождений на территории вне многолетней мерзлоты и островной криолитозоны.

Однако, если мы рассмотрим распределение месторождений по запасам отдельно в криолитозоне и на территории вне ее, то картина будет иная. Криолитозона обладает более чем в 1,5 раза большими запасами углеводородов по сравнению с территорией без мерзлоты. Доли уникальных и крупных месторождений нефти по классификации [15] наиболее высоки в криолитозоне, и к числу таких месторождений относятся, например, Ванкорское, Ван-Еганское, Восточно-Мессояхское, Мамонтовское, Муравленковское, Новопортовское, Приобское, Салымское, Самбургское, Самотлорское, Советское, Уренгойское, Федоровское месторождения

теризуется высокой плотностью, повышенной сернистостью, парафинистостью, смолистостью и повышенным содержанием асфальтенов, в то же время обеднены содержанием дизельных фракций и нефтяного газа.

Сопоставление средних значений из табл. 2 и 3 позволяет сделать вывод о том, что средние значения показателей физико-химических свойств нефти обнаруживают явную зависимость от типа мерзлоты – в среднем нефти в прерывистой и сплошной мерзлоте являются нефтями повышенной вязкости, легкими (0,80...0,84 г/см³), малосернистыми (содержание серы <0,5 %) и среднесернистыми (содержание серы 0,5...1 %), малосмолистыми (<8 %) и малоасфальтеновыми (<3 %) и, следовательно, более качественными, чем нефти в островной зоне мерзлоты.

Таблица 2

Физические свойства нефти в разных областях криолитозоны

Table 2

Physical properties of oil in different areas of the permafrost zone

Показатель	Статистические характеристики	Территория вне криолитозоны	Тип мерзлоты		
			островной	прерывистый	сплошной
Плотность	Объем выборки	10179	2232	740	1199
	Среднее значение, г/см ³	0,8607	0,8448	0,8257	0,8376
Вязкость при 20 °С	Объем выборки	8340	1079	319	359
	Среднее значение, мм ² /с	391,99	135,60	44,63	597,15
Температура застывания	Объем выборки	1569	325	107	147
	Среднее значение, °С	-15,13	-16,29	-24,45	-14,13

Таблица 3

Химические свойства нефти в разных областях криолитозоны

Table 3

Chemical properties of oil in different areas of the permafrost zone

Показатель	Статистические характеристики	Территория вне криолитозоны	Тип мерзлоты		
			островной	прерывистый	сплошной
Содержание: Серы	Объем выборки	4383	1770	507	843
	Среднее значение, мас. %	1,48	0,82	0,45	0,65
Парафинов	Объем выборки	3868	1566	508	745
	Среднее значение, мас. %	5,38	3,93	3,52	5,17
Смол	Объем выборки	3887	1579	415	634
	Среднее значение, мас. %	12,43	7,72	6,91	6,79
Асфальтенов	Объем выборки	3775	1281	316	513
	Среднее значение, мас. %	3,44	2,15	1,29	1,82
Фракции н.к. 200 °С	Объем выборки	1227	421	78	306
	Среднее значение, мас. %	24,26	27,31	31,29	27,70
Фракции н.к. 300 °С	Объем выборки	947	318	44	182
	Среднее значение, мас. %	42,41	44,86	41,70	47,09
Фракции н.к. 350 °С	Объем выборки	766	156	30	40
	Среднее значение, мас. %	47,15	53,07	46,94	53,55
Газосодержание	Объем выборки	2366	913	285	29
	Среднее значение, м ³ /т	99,27	107,44	146,62	105,01

Как видно из таблиц 2 и 3, нефти островной мерзлоты отличаются своими свойствами от нефтей прерывистой и островной зон тем, что они более тяжелые, относятся к классу нефтей со средней плотностью (0,84 ... 0,88 г/см³) и являются более сернистыми, смолистыми и асфальтеновыми.

Нефти на территории сплошной мерзлоты отличаются тем, что являются легкими, но сверхвязкими (вязкость более 500 мм²/с), среднесернистыми и малосмолистыми, имеют сравнительно большое содержание фракции н.к. 200–350 °С. Содержание парафинов в нефтях этой зоны приблизительно на 20 % выше, чем в нефтях островной и прерывистой зон. Это может иметь важное практическое значение для добычи нефти в зоне сплошной мерзлоты (с пониженной среднегодовой температурой воздуха), так как с ростом содержания парафинов повышается температура застывания нефти, как это видно по данным табл. 2.

Анализ особенностей физико-химических свойств нефти в криолитозоне Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна

Развитие нефтегазовой отрасли России в долгосрочной перспективе во многом зависит от проектов извлечения трудноизвлекаемой нефти в обустроенных районах добычи углеводородного сырья,

что соответствует выделенному Минприроды России приоритетному направлению изучения, разведки и добычи углеводородов [1, 3]. Одним из основных по масштабам нефтегазообразования является Тимано-Печорский нефтегазоносный бассейн Восточно-Европейской платформы.

Как видно из табл. 1, на территории Тимано-Печорского НГБ размещаются все типы криолитозоны – островная, прерывистая и сплошная. По количеству месторождений выделяется территория мерзлоты островного типа, где сосредоточено более 1/3 всех месторождений бассейна. Самые крупные по запасам – это Усинское, Возейское и Харьягинское месторождения.

Данные об изменении показателей физико-химических свойств тимано-печорских нефтей территории того или иного типа криолитозоны приведены в табл. 4. Из нее видно, что нефти, приуроченные к территории вне мерзлоты, по сравнению с нефтью криолитозоны, значительно более вязкие, имеют более низкую температуру застывания, обеднены содержанием фракций и содержат значительно больше смол, но меньше асфальтенов.

Нефти прерывистого типа криолитозоны маловязкие, имеют меньшую плотность, отличаются наименьшей сернистостью, смолистостью, повышенным содержанием парафинов, асфальтенов, нефтяного газа и дизельных фракций. Нефти сплош-

Таблица 4

Физико-химические свойства тимано-печорской нефти в зонах разного типа мерзлоты

Table 4

Physico-chemical properties of the Timan-Pechora oil in zones of different types of permafrost

Показатель	Статистические характеристики	Территория вне криолитозоны	Тип криолитозоны		
			островной	прерывистый	сплошной
Плотность	Объем выборки	238	272	22	288
	Среднее значение, г/см ³	0,8629	0,8624	0,8464	0,9020
Вязкость при 20 °С	Объем выборки	85	135	17	136
	Среднее значение, мм ² /с	1681,00	966,59	14,35	1539,87
Температура застывания	Объем выборки	29	47	19	58
	Среднее значение, °С	-11,72	-4,71	3,00	3,76
Содержание: Серы	Объем выборки	136	188	27	207
	Среднее значение, мас. %	0,83	1,06	0,75	1,84
Парафинов	Объем выборки	150	174	19	136
	Среднее значение, мас. %	5,77	7,67	8,68	5,26
Смол	Объем выборки	123	159	10	111
	Среднее значение, мас. %	11,81	8,59	6,24	8,57
Асфальтенов	Объем выборки	117	136	9	99
	Среднее значение, мас. %	2,44	3,31	4,35	4,66
Фракции н.к. 200 °С	Объем выборки	38	42	5	54
	Среднее значение, мас. %	19,98	25,59	42,20	14,90
Фракции н.к. 300 °С	Объем выборки	38	33	1	5
	Среднее значение, мас. %	39,46	40,81	48,00	50,78
Фракции н.к. 350 °С	Объем выборки	6	4	1	1
	Среднее значение, мас. %	43,33	40,93	57,50	80,50
Газосодержание	Объем выборки	59	87	2	17
	Среднее значение, м ³ /т	83,84	79,17	99,10	61,92

ной мерзлоты относятся к тяжелым, высоковязким, с положительной температурой застывания, среднесернистым, среднесмолистым, среднеасфальтовым, с повышенным содержанием фракций н.к. 300 и 350 °С, обеднены содержанием попутного газа.

Рассмотрим далее зависимость физико-химических свойств нефти от глубины залегания в зонах разного типа мерзлоты (табл. 5). По количеству образцов нефти из БД территории распространения островной и сплошной мерзлоты практически не отличаются – 200 и 216 образцов соответственно, в прерывистой мерзлоте анализировали 57 образцов нефти с известной глубиной залегания. Глубинный диапазон нефтегазоносности весь-

ма значительный – от 490 до 4 100 м на территории распространения островной криолитозоны, от 1 250 до 3 965 м в зоне прерывистой мерзлоты и от 119 до 4 526 м в зоне сплошной мерзлоты. Как видно из табл. 5, наиболее тяжелые, вязкие, сернистые, смолистые и асфальтеновые нефти находятся в среднем на малых глубинах. И далее с ростом глубины залегания наблюдается тенденция снижения в среднем плотности (на 9–10 %) и вязкости (в 100 и более раз), содержания серы (в три–четыре раза), смол (в 1,5–3 раза) и асфальтенов (в два–три раза) для зон островной и сплошной мерзлоты. Однако с ростом глубины залегания увеличивается содержание парафинов, например, в островной крио-

Таблица 5

Физико-химические свойства тимано-печорской нефти в зависимости от глубины залегания в зонах разного типа мерзлоты

Table 5

Physico-chemical properties of the Timan-Pechora oil depending on the depth of oil in zones of different types of permafrost

Тип криолитозоны	Глубина залегания, м	Физико-химические свойства нефти						
		Плотность, г/см ³	Вязкость при 20 °С, мм ² /с	Содержание серы, мас. %	Содержание парафинов, мас. %	Содержание смол, мас. %	Содержание асфальтенов, мас. %	Газосодержание, м ³ /т
Островной	0-1000	0,9070	2146,96	1,74	2,90	Нет данных	Нет данных	Нет данных
	1000-2000	0,8633	1394,28	1,34	4,70	10,50	4,50	42,51
	2000-3000	0,8507	20,01	1,27	11,49	5,99	1,69	86,09
	3000-4000	0,8351	21,93	0,59	12,35	6,50	1,95	159,46
Прерывистый	1000-2000	0,8373	11,18	0,49	9,99	4,47	0,91	50,07
	2000-3000	0,8391	12,70	0,70	13,96	4,89	1,04	120,73
	3000-4000	0,8598	21,00	0,69	21,43	4,62	3,47	199,52
Сплошной	0-1000	0,9521	131,47	2,33	3,39	15,31	5,75	Нет данных
	1000-2000	0,9116	4572,56	2,02	1,03	9,28	5,02	73,90
	2000-3000	0,8707	280,98	1,54	5,88	8,25	4,53	78,90
	3000-4000	0,8961	87,78	1,73	7,70	8,73	5,13	398,10
	4000-4500	0,8607	12,49	0,55	10,70	4,20	1,5	Нет данных

литозоне почти в четыре раза, в прерывистой – более двух и в сплошной – в три раза. Аналогично увеличивается и содержание попутного нефтяного газа в нефти. Указанные тенденции особенно четко проявляются в зонах распространения островной и сплошной мерзлоты, в криолитозоне прерывистого типа данные тенденции не совсем выражены, возможно, недостаточно данных о свойствах нефти.

Анализ особенностей физико-химических свойств нефти в криолитозоне Западной Сибири

Западная Сибирь остается главным нефтедобывающим регионом России, однако в развитии ее нефтегазового комплекса накапливаются негативные тенденции. Так, если в 1990 г. доля Западно-Сибирского НГБ в общероссийском производстве нефти составляла 72,8 %, то к 2000 г. она сократилась до 68, а к 2015 г. – до 47 %. Перспективными территориями признаны северные арктические районы, которые обладают значительными запасами углеводородного сырья.

Данные об изменении показателей физико-химических свойств западно-сибирских нефтей территории того или иного типа криолитозоны приведены в табл. 6. Анализ данных таблицы показывает, что нефти, приуроченные к территории вне мерзлоты, по сравнению с нефтями криолитозоны, значительно более вязкие, имеют более высокую температуру застывания и содержат больше парафинов и асфальтенов.

Средние значения рассматриваемых показателей обнаруживают особенности изменения на территориях с разным типом мерзлоты, а именно, нефти, приуроченные к территории сплошной мерзлоты по сравнению с нефтями других криолитозон,

характеризуются как самые легкие и маловязкие, имеют низкую температуру застывания, самую низкую концентрацию серы, смол, асфальтенов, отличаются повышенным содержанием дизельных фракций и нефтяного газа.

По данным табл. 6 установлена тенденция снижения плотности, вязкости, температуры застывания, содержания серы, смол и асфальтенов от мерзлоты островного типа к мерзлоте сплошного типа, и, наоборот, тенденция увеличения содержания парафинов, фракций, нефтяного газа. Также проявляется отмеченная ранее зависимость между содержанием парафинов и температурой застывания.

Физико-химические свойства нефтей Томской области

Томская область относится к Западно-Сибирскому экономическому району и Сибирскому федеральному округу РФ. Область расположена в юго-восточной части Западно-Сибирского нефтегазового бассейна, начальные геологические ресурсы которой составляют 5,4 млрд. т, и относится к ведущим регионам России по добыче нефти и газа. Томская область – ресурсный регион, где углеводородное сырье является основным полезным ископаемым (природный капитал области на 98 % состоит из нефтяных ресурсов). По состоянию на 2016 г. в области открыто 131 месторождение, в том числе 102 нефтяных, 21 нефтегазоконденсатное и 8 газоконденсатных. Томская область входит в число наиболее перспективных нефтегазовых регионов России, так как значительная часть территории области, около 88 %, относится к категории нефтегазоперспективных площадей.

Геологоразведочные работы ведутся в традиционном направлении (в западной части региона) и на востоке, на правобережье Оби. Начиная с 2006 г.

Таблица 6

Физико-химические свойства западно-сибирской нефти в зонах разного типа мерзлоты

Table 6

Physico-chemical properties of West Siberian oil in the zones of different types of permafrost

Показатель	Статистические характеристики	Территория вне криолитозоны	Тип криолитозоны		
			островной	прерывистый	сплошной
Плотность	Объем выборки	752	1621	536	438
	Среднее значение, г/см ³	0,8337	0,8505	0,8211	0,8169
Вязкость при 20 °С	Объем выборки	401	695	187	83
	Среднее значение, мм ² /с	69,02	18,83	50,91	7,64
Температура застывания	Объем выборки	265	241	77	34
	Среднее значение, °С	-8,80	-16,12	-27,82	-27,68
Содержание: Серы	Объем выборки	605	1313	322	327
	Среднее значение, мас. %	0,52	0,86	0,24	0,13
Парафинов	Объем выборки	559	1201	348	317
	Среднее значение, мас. %	6,98	3,71	4,02	4,80
Смол	Объем выборки	620	1147	255	270
	Среднее значение, мас. %	6,00	7,62	4,92	3,03
Асфальтенов	Объем выборки	529	1028	184	203
	Среднее значение, мас. %	1,71	1,71	0,85	0,25
Фракции н.к. 200 °С	Объем выборки	147	315	45	129
	Среднее значение, мас. %	28,31	24,58	23,57	32,63
Фракции н.к. 300 °С	Объем выборки	128	245	30	95
	Среднее значение, мас. %	45,37	43,57	39,63	51,30
Фракции н.к. 350 °С	Объем выборки	42	136	23	12
	Среднее значение, мас. %	49,56	53,12	47,21	61,61
Газосодержание	Объем выборки	240	759	238	5
	Среднее значение, м ³ /т	132,17	110,57	163,10	172,84

восточное направление поиска и разведки нефти и газа получило особое развитие. Это обусловлено интересами области и задачами, связанными с реализацией государственной программы поставок нефти в Китай и другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Программа ВСТО («Восточная Сибирь – Тихий океан»), которая охватывает и Томскую область, стала катализатором процесса освоения правобережных недр. По мнению экспертов, потенциальные ресурсы нефти в этой части

литозоны, более вязкие, содержат значительно больше парафинов, асфальтенов и нефтяного газа.

Анализ данных табл. 7 показывает, что среднее значение вязкости нефти при переходе от территории вне мерзлоты к территориям островного распространения многолетнемерзлых грунтов статистически значимо уменьшается практически в восемь раз, нефть из класса «вязкая нефть» [15] становится маловязкой. Содержание парафинов и асфальтенов в нефтях зоны островной мерзлоты

Таблица 7

Физико-химические свойства нефтей на территории Томской области с островным типом мерзлоты и вне ее

Table 7

Physico-chemical properties of oil on the territory of Tomsk region with the island type of permafrost and beyond it

Показатель	Статистические характеристики	Территория вне вечной мерзлоты	Территория островного типа мерзлоты
Плотность	Объем выборки	596	201
	Среднее значение, г/см ³	0,83	0,84
Вязкость при 20 °С	Объем выборки	370	119
	Среднее значение, мм ² /см	72,35	8,92
Содержание: Серы	Объем выборки	464	167
	Среднее значение, мас. %	0,50	0,55
Парафинов	Объем выборки	441	131
	Среднее значение, мас. %	7,38	5,01
Смола	Объем выборки	500	151
	Среднее значение, мас. %	5,52	6,01
Асфальтенов	Объем выборки	424	129
	Среднее значение, мас. %	1,68	1,19
Газосодержание	Объем выборки	170	52
	Среднее значение, м ³ /т	96,20	77,77

региона колеблются в пределах от 600 млн. до 1 млрд. т, а газа там может оказаться порядка 6 трлн. м³. В настоящее время выделены средства на разработку геологической модели продуктивных отложений восточных районов Томской области и западной части Красноярского края, которая позволит уточнить ресурсную базу нефти и газа для определения объема поставок в нефтепроводную систему ВСТО и перспективы развития региона в связи с участием в этой федеральной программе.

Освоение правобережья Оби сдерживают природные факторы – вечная мерзлота (на территории Томской области мерзлота относится к островному типу) и суровые климатические условия, а также отсутствие развитой инфраструктуры и трудности экономического порядка. Площадь зоны мерзлоты островного типа обширна, граница размещения мерзлоты делит Томскую область практически на равные части. Установлено, что в зоне мерзлоты находится 61 месторождение, суммарные запасы которых оцениваются около 700 млн. т, а на территории вне мерзлоты количество месторождений более чем в два раза больше, но суммарные запасы нефти данной территории меньше на 100 млн. т, что подтверждает перспективность освоения северных и восточных территорий Томской области.

Данные об изменении физико-химических свойств томских нефтей на территориях островного типа мерзлоты и вне ее приведены в табл. 7, в которой показано, что нефти, приуроченные к территории вне мерзлоты, по сравнению с нефтями крио-

также снижается примерно на 30 % по сравнению с нефтями на территории вне мерзлоты. Плотность нефти практически не изменяется, они относятся к классу легких нефтей, по содержанию серы и смол являются среднесернистыми и малосмолистыми. Газовый фактор в обоих случаях меньше 200 м³/т, что является основанием классифицировать нефти как трудноизвлекаемые [15, 16].

Анализ особенностей физико-химических свойств нефти в криолитозоне Восточной Сибири

Нефтегазовый комплекс Восточной Сибири – в настоящее время самый динамично развивающийся центр нефтегазовой промышленности России. С конца 2000-х гг. основной прирост добычи в России осуществлялся именно за счет восточных регионов России, которые являются стратегически приоритетными регионами на долгосрочную перспективу [1, 3, 19–24]. Масштабное развитие добычи нефти на востоке страны позволило организовать новый крупный промышленный центр и обеспечить выход на энергетические рынки Азиатско-Тихоокеанского региона.

Нефтегазовые ресурсы Восточной Сибири, хотя и существенно уступают западно-сибирским, но тоже весьма значительны и превышают 42 млрд. т, в том числе 10,3 млрд. т нефти и 32,0 трлн. м³ газа, однако разведанность ресурсов низкая и составляет всего 6,3 % [23, 24]. По своим запасам из восточно-сибирских бассейнов выделяется Лено-

Тунгусский НГБ, его разведанные запасы нефти составляют около 2 млрд. т, как по нашим данным, так и литературным [23, 24]. К крупным по своим запасам относятся месторождения Верхнечонское, имени Савостьянова, Куюмбинское, Талаканское, Чаядинское и Юрубчено-Тохомское.

Территория Лено-Тунгусского бассейна почти полностью покрыта мерзлотой островного, прерывистого и сплошного типа (см. рисунок). По занимаемой площади мерзлота сплошного типа является самой масштабной, но количество месторождений здесь невысокое – 67. По запасам выделяется месторождение имени Савостьянова, а наибольшее количество месторождений расположено в островной криолитозоне (112) и самые крупные из них – это Юрубчено-Тохомское, Куюмбинское и Талаканское.

С использованием обобщенной классификации нефти [15] был проведен анализ свойств нефти Лено-Тунгусского НГБ, где использовано более 1 тыс. образцов нефти месторождений бассейна из БД. Результаты анализа физико-химических характеристик приведены в табл. 8, из которой видно, что свойства лено-тунгусской нефти изменяются в очень широких пределах в разных зонах мерзлоты. Однако в среднем их можно отнести к легким неф-

тям, за исключением нефти в сплошной криолитозоне, которые относятся к классу со средней плотностью, с низкими отрицательными температурами застывания и низким содержанием попутного нефтяного газа. Нефти в сплошной криолитозоне отличаются от остальных тем, что обладают более высокой плотностью и вязкостью, парафинистостью и смолистостью и самым низким газосодержанием. Нефти островного типа криолитозоны имеют наилучшие характеристики и являются более качественными по сравнению с нефтями зон распространения мерзлоты сплошного и прерывистого типа. Данные нефти очень легкие, маловязкие, малосернистые, малопарафинистые, малосмолистые, со средним содержанием асфальтенов (3...10 %), с повышенным газосодержанием.

В табл. 9 представлены результаты анализа геологических и термобарических условий залегания нефтей бассейна. Данные таблицы показывают определенную схожесть и различие между ними. Например, условия залегания нефти в прерывистой и сплошной криолитозонах похожи и в то же время значительно отличаются от условий залегания в островной мерзлоте, вероятно, отличия связаны и с глубиной залегания пластов. Так, в островной мерзлоте нефти залегают в основном в интервале 2 212–

Таблица 8
Физико-химические свойства лено-тунгусской нефти в зонах разного типа мерзлоты
Table 8
Physico-chemical properties of the Lena-Tunguska oil in zones of different types of permafrost

Показатель	Статистические характеристики	Тип криолитозоны		
		островной	прерывистый	сплошной
Плотность	Объем выборки	324	193	141
	Среднее значение, г/см ³	0,7974	0,8302	0,8417
Вязкость при 20 °С	Объем выборки	240	124	70
	Среднее значение, мм ² /с	11,30	35,65	55,01
Температура застывания	Объем выборки	36	25	15
	Среднее значение, °С	-36,76	-38,58	-45,80
Содержание: Серы	Объем выборки	273	165	117
	Среднее значение, мас. %	0,44	0,83	0,70
Парафинов	Объем выборки	174	147	92
	Среднее значение, мас. %	1,38	1,29	1,92
Смол	Объем выборки	261	157	115
	Среднее значение, мас. %	7,42	9,89	15,46
Асфальтенов	Объем выборки	108	126	110
	Среднее значение, мас. %	5,16	1,70	2,99
Газосодержание	Объем выборки	61	50	8
	Среднее значение, м ³ /т	104,80	61,99	47,40

Таблица 9
Характеристика основных геологических и термобарических условий залегания лено-тунгусских нефтей в зонах разного типа мерзлоты
Table 9
Characteristics of the main geological and thermobaric conditions of occurrence of Lena-Tunguska oil in zones of different types of permafrost

Показатель	Статистические характеристики	Тип криолитозоны		
		островной	прерывистый	сплошной
Температура пласта	Объем выборки	98	80	55
	Среднее значение, °С	27,51	14,99	12,49
Давление пласта	Объем выборки	117	94	58
	Среднее значение, МПа	19,40	13,26	16,01
Проницаемость коллекторов	Объем выборки	38	17	30
	Среднее значение, мкм ²	0,47	1,14	0,14
Пористость коллекторов	Объем выборки	51	33	47
	Среднее значение, %	12,03	13,16	13,57

2 242 м, в зоне прерывистой мерзлоты – 1 736 – 1 765 м, в зоне сплошной мерзлоты глубина составляет в среднем 1 867–1 908 м.

Территории Енисейско-Анабарского и Лено-Вилъюйского НГБ полностью находятся в криолитозоне сплошного типа (см. рис.). Приведем результаты анализа особенностей свойств нефтей данных бассейнов. Вычисленные средние значения физико-химических свойств нефтей представлены в табл. 10, в которой видно, что рассматриваемые нефти значительно отличаются между собой. Нефти Енисейско-Анабарского НГБ имеют большую плотность и относятся к нефтям со средней плот-

По данным табл. 11 видно, что имеются отличия условий залегания нефти рассматриваемых НГБ – пластовые температура и давление выше в Лено-Вилъюйском бассейне, а пористость и проницаемость пород коллекторов ниже по сравнению со свойствами коллекторов Енисейско-Анабарского НГБ, что может быть объяснимо глубиной залегания – лено-вилъюйские нефти в основном находятся на глубинах 2 637–2 680 м, а енисейско-анабарские выше – 1 908–1 930 м. Анализ результатов таблиц 9 и 11 показал тенденцию изменения пористости и проницаемости пород коллекторов в зависимости от глубины залегания в границах НГБ Восточной

Таблица 10

Физико-химические свойства енисейско-анабарских и лено-вилъюйских нефтей в зоне сплошной мерзлоты

Table 10

Physico-chemical properties of the Yenisei-Anabar and Lena-Vilyuy oil in the zone of continuous permafrost

Показатель	Статистические характеристики	Сплошной тип криолитозоны	
		Енисейско-Анабарский НГБ	Лено-Вилъюйский НГБ
Плотность	Объем выборки	36	130
	Среднее значение, г/см ³	0,8567	0,8330
Вязкость при 20 °С	Объем выборки	6	11
	Среднее значение, мм ² /с	101,85	10,27
Температура застывания	Объем выборки	3	1
	Среднее значение, °С	-27,67	-20,00
Содержание: Серы	Объем выборки	28	73
	Среднее значение, мас. %	0,80	0,12
Парафинов	Объем выборки	20	97
	Среднее значение, мас. %	2,36	8,15
Смола	Объем выборки	15	69
	Среднее значение, мас. %	10,81	7,02
Асфальтенов	Объем выборки	10	59
	Среднее значение, мас. %	5,20	0,48
Газосодержание	Объем выборки	Нет данных	Нет данных
	Среднее значение, м ³ /т	Нет данных	Нет данных

Таблица 11

Характеристика основных геологических и термобарических условий залегания енисейско-анабарских и лено-вилъюйских нефтей в зоне сплошной мерзлоты

Table 11

Characteristics of the main geological and thermobaric conditions of occurrence of the Yenisei-Anabar and Lena-Vilyuy oil in the zone of continuous permafrost

Показатель	Статистические характеристики	Сплошной тип криолитозоны	
		Енисейско-Анабарский НГБ	Лено-Вилъюйского НГБ
Температура пласта	Объем выборки	43	89
	Среднее значение, °С	37,94	58,61
Давление пласта	Объем выборки	43	90
	Среднее значение, МПа	19,79	29,31
Проницаемость коллекторов	Объем выборки	34	47
	Среднее значение, мкм ²	0,11	0,07
Пористость коллекторов	Объем выборки	44	70
	Среднее значение, %	18,85	16,97

ностью, высокую вязкость, что позволяет считать их высоковязкими. По содержанию серы, смол и асфальтенов наблюдается увеличение в 6, 1,5 и почти в 11 раз соответственно, а парафинов меньше почти в 3,5 раза по сравнению с аналогичными свойствами нефти Лено-Вилъюйского бассейна. Следует отметить, что енисейско-анабарские нефти схожи по своим свойствам с нефтями сплошной криолитозоны Лено-Тунгусского НГБ.

Сибири, а именно, значение пористости и проницаемости нефтемещающих пород равномерно снижается с увеличением их глубины залегания (см. таблицы 9, 11).

Заключение

В статье представлены результаты анализа физических свойств нефтей и их химического состава на территории России в зонах разного типа

распространения мерзлоты. Анализ проведен с использованием геостатистического подхода, основанного на сочетании методов статистического и пространственного анализа данных с применением геоинформационных систем. Основу для проведения анализа составила глобальная база данных по физико-химическим свойствам нефтей.

Показано, что по объемам запасов нефти криолитозона России гораздо богаче нефтегазодносных территорий вне зоны мерзлоты. Выявлено, что в целом нефти месторождений, находящихся в зоне распространения вечномерзлых пород, имеют ряд существенных отличий по сравнению с нефтями вне зоны вечной мерзлоты, что сопоставимо с результатами других исследователей [18]. Сравнительный анализ химического состава нефтей на нефтеносных территориях в пределах мерзлоты и вне ее показал, что на территориях в пределах криолитозоны разного типа содержание в нефтях серы, парафинов, смол и асфальтенов в среднем меньше, а содержание фракции больше по сравнению с их содержанием на территориях вне мерзлоты. Данные тенденции очень четко проявляются для нефти Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна.

На примере тимано-печорских нефтей показаны изменения их физико-химических свойств в зависимости от глубины залегания в островной, прерывистой и сплошной криолитозонах. Прослеживается тенденция снижения плотности, вязкости и содержания серы, смол и асфальтенов с ростом глубины залегания, в то же время содержание парафинов и нефтяного газа увеличивается.

Установлены изменения физико-химических свойств нефти различных зон мерзлоты для Енисейско-Анабарского, Лено-Вилуйского, Лено-Тунгусского и Тимано-Печорского нефтегазоносных бассейнов. Выявленные отличия в свойствах нефти должны учитываться при создании проектов разработки нефтяных месторождений в зоне распространения вечной мерзлоты в зависимости от типа криолитозоны.

Кроме того, следует принимать к сведению и пространственные характеристики мерзлоты в районах нефтедобычи. Так, мощность мерзлых толщ для Тимано-Печорского НГБ достигает 600 м, а на севере Восточной Сибири – до 1 200–1 500 м, что увеличивает риски при добыче нефти с использованием паро-тепловых методов с последующим локальным растеплением мерзлых пород. Необходимо учитывать температуру закачиваемой в скважины пластовой воды и пара, расположение скважин и скорость растепления для исключения эффекта суммирования растепляющих процессов.

Данные факты являются весомыми при перспективе смещения в России центра добычи нефти и газа на Восток, на территории Иркутской области, Якутии и Дальнего Востока в зоны распространения вечной мерзлоты. Открытие большого числа гигантских и крупных месторождений нефти и газа в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, создание нефтепроводов «Восточная Сибирь – Тихий океан», «Сахалин–Хабаровск–Владивосток» и плани-

руемое строительство нового газопровода «Чаяндинское месторождение, Якутия–Хабаровск–Владивосток» создают исключительно благоприятные условия для формирования новых крупных центров добычи нефти, газа и конденсата и предприятий их переработки. Это шанс для регионов получить мощный импульс развития.

Литература

1. *Донской С.Е.* Приоритетные направления геологического изучения, разведки и добычи углеводородного сырья в России // *Нефтегазовая вертикаль*. 2016. № 6 (340). С. 6–12.
2. *Конторович А.Э.* Проблемы реиндустриализации нефтегазового комплекса России // *Нефтяное хозяйство*. 2016. № 3. С. 14–15.
3. *Прищепина О.М., Боровинских А.П.* Направления развития сырьевой базы нефти России в долгосрочной перспективе // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2016. Т.11. №3. [Электронный ресурс]. - URL: http://www.ngtp.ru/rub/6/36_2016.pdf (дата обращения 20 февраля 2017 г.).
4. *Комплексная оценка палеоклиматических факторов реконструкции термической истории нефтематеринской баженовской свиты арктических районов Западной Сибири/ В.И. Исаев, А.А. Искоркина, В.Ю. Косыгин, Г.А. Лобова, Е.Н. Осипова, А.Н. Фомин* // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017. Т. 328. № 1. С. 13–28.
5. *Исаев В.И.* Оценка влияния толщ вечной мерзлоты позднечетвертичного климатического похолодания на геотермический режим нефтематеринских отложений Западной Сибири // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2015. Т.10. № 2. [Электронный ресурс]. - URL: http://www.ngtp.ru/rub/12/21_2015.pdf (дата обращения 20 февраля 2017 г.).
6. *Мельников В.П., Геннадиев В.В., Брушков А.В.* Аспекты криософии: криоразнообразии в природе // *Криосфера Земли*. 2013. Т. XVII. № 2. С. 3–11.
7. *Permafrost: Distribution, Composition and Impacts on Infrastructure and Ecosystems*, editor Oleg S. Pokrovsky. - Published by Nova Science Publishers, Inc., New York, 2014. 307 p.
8. *Геокриология СССР*. Европейская территория СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1988. 358 с.
9. *Анисимов О., Лавров С.* Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ // *Технологии ТЭК*. 2004. № 3. С. 78–83.
10. *Павлов А.В., Ананьева Г.В.* Оценка современных изменений температур воздуха на территории криолитозоны России // *Криосфера Земли*. 2004. Т. 8. № 2. С. 3–9.
11. *Duchkov A.D.* Characteristics of Permafrost in Siberia // *Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide*. NATO Science Series IV. 2006. Vol. 65. P. 81–92.

12. *Melnikov V.P., Drozdov D.S.* Distribution of Permafrost in Russia // *Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide. NATO Science Series IV.* 2006. Vol. 65. P. 69–80.
13. *Атлас СССР.* М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1984. 260 с.
14. *Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов /* Под ред. Е.С. Мельникова и С.Е. Гречищева. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
15. *Яценко И.Г., Полищук Ю.М.* Трудноизвлекаемые нефти: физико-химические свойства и закономерности размещения / Под ред. А.А. Новикова. Томск: В-Спектр, 2014. 154 с.
16. *Яценко И.Г., Полищук Ю.М.* Классификация трудноизвлекаемых нефтей и анализ их качественных свойств // *Химия и технология топлив и масел.* 2016. № 4 (596). С. 50–56.
17. *Полищук Ю.М., Яценко И.Г.* Сравнительный анализ химического состава нефтей России на территории вечной мерзлоты и вне ее // *Криосфера Земли.* 2007. Т. 11. №1. С. 45–51.
18. *Ашмян К.Д., Ковалева О.В.* Разработка нефтяных месторождений в зоне распространения вечной мерзлоты // *Территория НЕФТЕГАЗ.* 2016. № 7–8. С. 88–94.
19. *Жаркова Е.В.* Нефтегазодобывающий комплекс Иркутской области: развитие и проблемы // *Нефтегазовая геология. Теория и практика.* 2016. Т.11. № 2. [Электронный ресурс]. - URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/22_2016.pdf (дата обращения 20 февраля 2017 г.).
20. *Белонин М.Д., Маргулис Л.С.* Нефтегазовый потенциал и перспективы освоения углеводородных ресурсов Востока России // *Нефтегазовая геология. Теория и практика.* 2006. Т.1. [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.ngtp.ru/rub/6/13.pdf> (дата обращения 20 февраля 2017 г.).
21. *Рубан Г.* Особенности проектирования, освоения и разработки месторождений Востока России // *Нефтегазовая вертикаль.* 2014. № 15 (340). С. 67–71.
22. *Эдер Л.В., Филимонова И.В., Моисеев С.А.* Нефтегазовый комплекс Восточной Сибири и Дальнего Востока: тенденции, проблемы, современное состояние // *Бурение и нефть.* 2015. № 12. С. 3–12.
23. *Кирюхин Л.Г., Хакимов М.Ю.* Освоение ресурсов углеводородов Восточной Сибири – важная задача России // *Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования».* 2009. №1. С. 66–70.
24. *Баженова Т.К.* Нефтегазоматеринские формации древних платформ России и нефтегазоносность // *Нефтегазовая геология. Теория и практика.* 2016. Т. 11. № 4. [Электронный ресурс]. - URL: http://www.ngtp.ru/rub/1/45_2016.pdf (дата обращения 20 февраля 2017 г.).

References

1. *Donskoi S.E.* Prioritetnye napravleniya geologicheskogo izucheniya, razvedki i dobychi uglevodorodnogo syr'ya v Rossii [Priority areas of geological study, exploration and production of hydrocarbons in Russia] // *Oil and Gas Vertical.* 2016. No. 6 (340). P. 6 – 12.
2. *Kontorovich A.E.* Problemy reindustrializatsii neftegazovogo kompleksa Rossii [The problems of re-industrialization of oil and gas complex of Russia] // *Oil Industry J.* 2016. No. 3. P. 14-15.
3. *Prishchepa O.M., Borovinskikh A.P.* Napravleniya razvitiya syryevoi bazy nefiti Rossii v dolgosrochnoi perspective [The long term development of the Russian oil resources] // *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika* [Oil and gas geology. Theory and practice]. 2016. Vol. 11. No. 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/6/36_2016.pdf (Accessed February 20, 2017).
4. *Kompleksnaya otsenka paleoklimaticheskikh faktorov rekonstruktsii termicheskoi istorii neftematerinskoj Bazhenovskoi svity arkticheskikh raionov Zapadnoi Sibiri* [Integrated assessment of paleoclimate factors of reconstructing thermal history of petromaternal Bazhenov suite in arctic regions of Western Siberia] / *Isaev V.I., Iskorkina A.A., Kosygin V.Yu., Lobova Ga.A., Osipova E.N., Fomin A.N.* // *Bull. of Tomsk Polytechnic Univ. Geo Assets Engineering.* 2017. Vol. 328. P. 13-28
5. *Isaev V.I.* Otsenka vliyaniya tolshch vechnoi merzloty pozdnechenvertichnogo klimaticheskogo pohlodaniya na geotermicheskii rezhim neftematerinskikh otlozhenii Zapadnoi Sibiri [Assessment of the influence of permafrost strata of late quaternary climate cooling on the geothermal regime of oil-sorce deposits of Western Siberia] // *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika* [Oil and gas geology. Theory and practice]. 2015. Vol. 10. No.2. URL:http://www.ngtp.ru/rub/12/21_2015.pdf (accessed February 20, 2017).
6. *Mel'nikov V.P., Gennadinik V.B., Brushkov A.V.* Aspekty kriosofii: krioraznoobrazie v priorde // *Kriosfera Zemli* [Aspects of cryosofi: cryo-diversity in nature // *Cryosphere of the Earth*]. 2013. Vol. XVII. No. 2. P. 3-11.
7. *Permafrost: Distribution, Composition and Impacts on Infrastructure and Ecosystems,* editor Oleg S. Pokrovsky. - Published by Nova Science Publishers, Inc., New York, 2014. 307 p.
8. *Geokriologija SSSR. Evropejskaja territorija SSSR* [[Geocryology of the USSR. The European territory of the USSR] / Ed. E.D. Ershov. Moscow: Nedra, 1988. 358 p.
9. *Anisimov O., Lavrov S.* Global'noe poteplenie i tajanie vechnoj merzloty: ocenka riskov dlja proizvodstvennyh obektov TJeK RF // *Tehnologii TJeK* [Global warming and permafrost melting: assessment of risks for the product-

- ion fuel-energy complex of the Russian Federation]. 2004. No. 3. P. 78–83.
10. Pavlov A.V., Ananyeva G.V. Ocenka sovremennykh izmenenij temperatur vozduha na territorii kriolitozony Rossii // Kriosfera Zemli [Assessment of current changes of air temperature on the territory of permafrost zone of Russia // The Cryosphere of the Earth]. 2004. Vol. 8. № 2. P. 3–9.
 11. Duchkov A.D. Characteristics of Permafrost in Siberia // Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide. NATO Science Series IV. 2006. Vol. 65. P. 81–92.
 12. Melnikov V.P., Drozdov D.S. Distribution of Permafrost in Russia // Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide. NATO Science Series IV. 2006. Vol. 65. P. 69–80.
 13. Atlas SSSR [The Atlas of the USSR] / Moscow: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR [Main administration of geodesy and cartography under the USSR Council of Ministers], 1984. 260 p.
 14. Vechnaja merzlota i osvoenie neftegazonosnykh rajonov [Permafrost and development of oil and gas areas] / Eds. E.S.Melnikov, S.E.Grechishchev. Moscow: GEOS, 2002. 402 p.
 15. Yashchenko I.G., Polishchuk Yu.M. Trudnoizvlekaemye nefti; fiziko-khimicheskie svoystva i zakonomernosti razmeshcheniya [Poorly recoverable oil: physical-chemical properties and distribution patterns] / Ed. A.A.Novikov. Tomsk: V-Spektr, 2014. 154 p.
 16. Yashchenko I.G., Polishchuk Yu.M. Klassifikatsiya trudnoizvlekaevykh neftei i analiz ik kachestvennykh svoystv // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel [Classification of Poorly Recoverable Oils and Analysis of Their Quality Characteristics (Reviews) // Chemistry and Technology of Fuels and Oils]. 2016. No. 4 (596). P. 434–444.
 17. Polishchuk Yu.M., Yashchenko I.G. Sravnitel'nyy analiz himicheskogo sostava neftej Rossii na territorii vечноj merzloty i vne ee // Kriosfera Zemli [Comparative analysis of chemical composition of oils in areas of permafrost and beyond it // Cryosphere of the Earth]. 2007. Vol. 11. No. 1. P. 45–51.
 18. Ashmjan K.D., Kovaleva O.V. Razrabotka neftyanykh mestorozhdenij v zone rasprostraneniya vечноj merzloty [Development of oil fields in the zone of distribution of permafrost] // NEFTEGAZ territory. 2016. No. 7-8. P. 88-94.
 19. Zharkova E.V. Neftegazodobyvayushhij kompleks Irkutskoj oblasti: razvitie i problemy // Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika [Oil and gas complex of Irkutsk region: development and problems // Oil and Gas Geology]. 2016. Vol. 11. No. 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/22_2016.pdf (accessed February 20, 2017).
 20. Belonin M.D., Margulis L.S. Neftegazovyj potencial i perspektivy osvoeniya uglevodorodnykh resursov Vostoka Rossii // Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika [Oil-and-gas potential and prospects of development of hydrocarbon resources of Russia's East]. 2006. Vol. 1. URL: <http://www.ngtp.ru/rub/6/13.pdf> (accessed February 20, 2017).
 21. Ruban G. Osobennosti proektirovaniya, osvoeniya i razrabotki mestorozhdenij Vostoka Rossii // Neftegazovaya vertikal' [Peculiarities of design, exploration and development of deposits of Russia's East // Oil and gas vertical]. 2014. No. 15 (340). P. 67–71.
 22. Eder L.V., Filimonova I.V., Moiseev S.A. Neftegazovyy kompleks Vostochnoi Sibiri i Dal'nego Vostoka: tendentsii, problem, sovremennoe sostoyanie // Burenie i nef't [The Oil and Gas Industry in Eastern Siberia and the Far East: Trends, Challenges, Current Status // Drilling and Oil]. 2015. No. 12. P. 3–12.
 23. Kiryukhin L.G., Khakimov M.Yu. Osvoenie resursov uglevodorodov Vostochnoi Sibiri – vazhneishaya zadacha Rossii [Development of hydrocarbon resources in East Siberia – the most important problem of Russia] // RUDN J. of Engineering Researches. 2009. No. 1. P. 66–70.
 24. Bazhenova T.K. Neftegazomaterinskie formatsii drevnikh platform Rossii i neftegazonosnost' // Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika [Petroleum source formations of the Russian ancient platforms and their petroleum potential // Oil and gas geology. Theory and practice]. 2016. Vol. 11. No. 4. URL: http://www.ngtp.ru/rub/1/45_2016.pdf (accessed February 20, 2017).

Статья поступила в редакцию 01.03.2017.