



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 553.982

DOI:10.19110/geov.2022.8.2

Физико-химические свойства трудноизвлекаемой нефти в Арктике

И. Г. Ященко

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

В статье обобщена информация о добыче трудноизвлекаемой нефти в различных арктических зонах – российской, скандинавской и североамериканской. Представлены различные оценки углеводородных запасов Арктики, среди которых российские занимают лидирующее положение. Для России Арктика стала одной из основных движущих сил роста нефтегазового комплекса на ближайшие десятилетия. На основе анализа информации из базы данных Института химии нефти консолидирована информация о развитии добычи трудноизвлекаемой нефти в Арктической зоне России, в частности в европейской и сибирской частях макрорегиона, о физико-химических свойствах трудноизвлекаемой нефти и пространственном распределении. Установлено, что тяжелые и вязкие нефти сибирской части Арктики характеризуются более низкими значениями вязкости, малыми концентрациями асфальтенов, серы и металлов по сравнению с аналогичными европейскими арктическими нефтями. Температура застывания находится в диапазоне отрицательных температур. Установленные отличия определяют особенности разработки, добычи и транспортировки тяжелых и вязких нефтей в условиях критически низких температур. Статья может быть актуальна для специалистов нефтегазовой отрасли, заинтересованных в арктических проектах.

Ключевые слова: трудноизвлекаемая нефть Арктики, физико-химические свойства нефти, нефтегазоносные бассейны, месторождения, запасы, база данных.

Physico-chemical properties of hard-to-recover oil in the Arctic

I. G. Yashchenko

Institute of Petroleum Chemistry SibB RAS, Tomsk

In the article, the author summarizes information about the extraction of hard-to-recover oil in various Arctic zones – Russian, Scandinavian and North American. Various estimates of the Arctic hydrocarbon reserves are presented, but the Russian Arctic occupies a leading position in terms of its reserves. The number of deposits in the Russian sector exceeds the number of deposits in the North American and Scandinavian sectors of the Arctic by 4 and 8 times, respectively. For Russia, the Arctic has become one of the main driving forces of the growth of the Russian oil and gas industry in the coming decades. The problems of stabilization and growth of the level of development of hard-to-recover oil in modern conditions of oil production are indicated. Based on the analysis of information from the database of the Institute of Petroleum Chemistry, consolidated information on the development of hard-to-recover oil production in the Arctic zone of Russia, in particular, in the European and Siberian parts of the macroregion, on the physico-chemical properties of hard-to-recover oil, conditions of occurrence and spatial distribution. It has been established that heavy and viscous oils of the Siberian part of the Arctic are characterized by lower viscosity values, low concentrations of asphaltene, sulfur and metals compared to similar European Arctic oils. The solidification temperature is in the negative temperature range. The established differences determine the features of the development, production and transportation of heavy and viscous oils at critically low temperatures. The article may be of interest to companies in the oil and gas sector net monitor Arctic projects and prospects for their implementation.

Keywords: hard-to-recover Arctic oil, physical and chemical oil characteristics, oil-bearing basin, deposits, reserves, database.

Введение

Арктика как северная полярная область Земли включает северные окраины Евразии и Северной Америки, остров Гренландия, моря Северного Ледовитого океана с островами, а также прилегающие части Атлантического и Тихого океанов. В состав Арктической зоны России (АЗР) законодательно входят [1, 6, 9, 10, 19–21]:

– территории четырёх субъектов РФ – Мурманской области, Ненецкого, Чукотского, Ямало-Ненецкого автономных округов;

– 35 муниципальных образований ещё пяти субъектов РФ: Республики Карелии, Коми, Саха (Якутия), Красноярского края (включая 10 сельских поселений, кроме муниципальных образований), Архангельской области;

– земли, острова, внутренние моря и континентальный шельф [18, 25, 28, 29].

Арктическая зона России на сегодняшний момент за счет огромного ресурсного потенциала, влияния на все сферы жизни и деятельности в результате глобальных климатических изменений, геострате-

Для цитирования: Ященко И. Г. Физико-химические свойства трудноизвлекаемой нефти в Арктике // Вестник геонаук. 2022. 8(332). С. 8–24. DOI: 10.19110/geov.2022.8.2.

For citation: I. G. Yashchenko I. G. Physico-chemical properties of hard-to-recover oil in the Arctic. Vestnik of Geosciences, 2022, 8(332), pp. 8–24, doi: 10.19110/geov.2022.8.2.



гического, экономического, геополитического, оборонного, научного и социального положения заняла лидирующую позицию в списке государственных приоритетов. АЗР является большей частью всего Арктического региона Земли и занимает около 30 % территории России.

Однако в современных реалиях разработка углеводородов (УВ) в Российской Арктике сопряжена со множеством вызовов, как внешних, так и внутренних. К ним относятся глобальные климатические изменения, эпидемия коронавируса, конфликтность арктических границ, функционирование Северного морского пути, экологическая устойчивость к нефтегазодобывающему производству, необходимость новых технологий добычи и транспорта УВ и др. В последнее время эти вызовы обострились и трансформировались, а также добавились новые — санкционная политика западных государств, эмбарго на поставки российской нефти и газа, уход иностранного капитала из арктических проектов, обострение нерешенных вопросов о границах континентального шельфа, увеличение военного присутствия в арктических государствах и др. Перечисленные факторы усложняют реализацию национальных проектов в АЗР, в том числе по разработке огромных запасов арктической трудноизвлекаемой нефти (ТИН) — стратегического резерва российской нефтедобычи.

Актуальность работы определяется недостаточной изученностью особенностей физико-химических показателей и условий залегания трудноизвлекаемых нефтей АЗР, что затрудняет оценку перспектив и определение направлений развития отечественного нефтегазодобывающего комплекса.

Цель работы — изучение пространственного распределения ТИН Арктики, особенностей физико-химических свойств трудноизвлекаемых нефтей как на планетарном, так и на региональном уровне, проведение сравнительного анализа свойств ТИН Арктической зоны России.

В работе использовались методы статистического анализа и классификации данных для исследования особенностей трудноизвлекаемых нефтей, методы геоинформационных систем для пространственного анализа данных о физико-химических характеристиках и условиях их залегания.

Общая характеристика запасов углеводородов Арктики

Интерес, проявляемый сегодня как арктическими (Россия, США, Канада, Норвегия и Дания от имени Гренландии), так и неарктическими государствами к освоению природных ресурсов Арктики, огромен [2, 3, 10, 13, 14, 51]. В минерально-сырьевой базе Арктики углеводороды являются главной в ресурсно-экономическом отношении группой полезных ископаемых [26, 28, 34, 40–44, 46].

В литературе в последнее время часто публикуются данные об углеводородном потенциале Арктики, которые значительно различаются между собой [17, 23, 27, 49].

Согласно оценкам Национального нефтяного совета США (National Petroleum Council), в Арктике находится более 25 % мировых неразведанных ресурсов нефти и газа [27, 38, 39]. Запасы нефти и газа в этом регионе составляют 191 млрд баррелей нефтяного эквивалента (далее — ВОЕ), а ресурсы оцениваются в 525 млрд ВОЕ, значительная часть углеводородов (УВ) Арктики приходится на арктические зоны России и США (табл. 1). Как видно из табл. 1, на шельфе арктических морей сосредоточено более 74 % углеводородного потенциала Арктики.

По данным Министерства природных ресурсов и экологии, запасы АЗР составляют [12, 27]:

- нефти — 7.3 млрд т (52 млрд ВОЕ);
- природного газа — около 55 трлн м³ (354 млрд ВОЕ);
- конденсата — 2.7 млрд т (19 млрд ВОЕ).

В статьях [23, 49] авторами приведены следующие цифры (по состоянию на 01.01.2018 г.): ресурсы газа — 205 трлн м³, ресурсы нефти и конденсата — 42.9 млрд т. В работе [18] А. Новак заявил, что ресурсный потенциал Арктической зоны РФ, по данным Министерства энергетики на 18.02.2019 г., составляет более 35 млрд т нефти и 210 трлн м³ газа.

По данным [13, 17] в табл. 2 приведена оценка перспектив нефтегазоносности территорий и акваторий Российской Арктики.

Как видно из приведенных материалов, оценки запасов разнятся, но ясно одно, что роль ресурсов УВ Российской Арктики в общем балансе топливно-энер-

Таблица 1. Ресурсы углеводородов в Арктике и их распределение по арктическим странам, млрд баррелей нефтяного эквивалента (Источник: National Petroleum Council, [27, 38, 39])

Table 1. Resources of Arctic hydrocarbons and their distribution by country, billion barrels of oil equivalent (Source: National Petroleum Council, [27, 38, 39])

	Нефть, млрд баррелей Oil, bbbl	Газ, млрд баррелей Gas, bbbl	Газовый конденсат, млрд баррелей Gas condensate, bbbl	Итого, млрд баррелей Total, bbbl	В том числе на шельфе, млрд баррелей Including on the shelf, bbbl	Доли стран по запасам УВ в Арктике, % Shares of countries by HC reserves in the Arctic, %
США / USA	34	60	7	101	55	19.2
Канада / Canada	15	19	2	36	29	6.8
Россия / Russia	36	251	29	316	235	60.1
Гренландия / (Дания) Greenland / (Denmark)	16	23	9	48	46	9.1
Норвегия / Norway	5	20		25	25	4.8
Итого / Total	106	373	47	526	390	100 %



Таблица 2. Распределение запасов углеводородов в Российской Арктике по данным [13, 17]

Table 2. Distribution of hydrocarbon reserves in the Russian Arctic according to [13, 17]

Территории и акватории Territories and aquatoria	Запасы газа, нефти и конденсата / Gas, oil and condensate reserves				
	Нефть, млрд т Oil, billion tons	Газ попутный, млрд м ³ Associated gas, billion m ³	Газ свободный, трлн м ³ Free gas, trillion m ³	Конденсат, млн т Condensate, million tons	Всего УВ, млрд т Total hydrocarbons, billion tons
Территории Territories	51.2	2876.0	94.6	1378.0	150.1
Акватории Aquatoria	19.4	2553.8	107.6	6325.2	135.7
Всего / Total	70.6	5429.8	202.2	7703.2	286.0

гетических ресурсов страны достаточно велика и в значительной степени обеспечивает будущее экономическое развитие страны.

Географические закономерности распределения запасов нефти Арктики

Исследование опирается на обширный информационно-статистический ресурс в области определения закономерностей изменений физико-химических свойств нефти мира, созданный на основе анализа российских и зарубежных источников, научных изданий, периодических материалов, — это база данных (БД) по физико-химическим свойствам нефти и газа Института химии нефти СО РАН [37]. База данных имеет свидетельства Государственного регистра баз данных и Роспатента (свидетельство № 2001620067) [47, 48]. Созданная с применением геоинформационных технологий БД функционирует почти три десятилетия и содержит более 37 тыс. образцов нефти и газа из 6 530 месторождений в 195 нефтегазовых бассейнах на территории 98 стран всех континентов, из которых около 3 500 образцов относятся к нефтям Арктики.

В Арктической зоне на основе географических, геологических, экономических принципов выделяют три крупных сектора: североамериканский, скандинавский и российский [5, 9, 30], как это показано на рис. 1. Североамериканский сектор включает Аляску (США), северные регионы Канады (Юкон, северо-западные территории, Нунавут, Нунавик (часть Квебека) и Лабрадор) и Гренландию под управлением Дании. Скандинавский сектор представлен Фарерскими островами (Дания), Исландией, Норвегией (архипелаги Свальбард, Шпицберген и Ян-Майен, Нурланн, Тромс, Финнмарк), Швецией (Норрботтен и Вестерботтен), Финляндией (Лапландия, Северная Остроботния, Кайнуу) [5, 9, 30]. В российский сектор входят административно-территориальные образования, указанные выше.

В каждом секторе ведется крупная нефтедобыча, однако объем нефтегазового потенциала всей Арктики полностью не изучен и в мировом сообществе специалистов существуют различные оценки неразведанных арктических ресурсов [23]. В табл. 3 приведены данные о количестве открытых месторождений в каждом секторе Арктики по данным БД. Количество месторождений в российском секторе превышает количество месторождений в североамериканском и скандинавском секторах Арктики в 4 и 8 раз соответственно. Всего установлено 3 465 образцов из 1 038 месторождений 24 неф-

тегазоносных бассейнов (НГБ) Арктической зоны. Информация о количестве месторождений основана на сведениях из БД ИХН СО РАН [37].

Доли стран по запасам углеводородов в Арктике указаны в табл. 1. Информация из БД позволила установить 15 уникальных (запасы выше 300 млн т) месторождений, из них 11 месторождений (более 73 %) являются российскими из Западно-Сибирского (ЗСНГБ), Тимано-Печорского (ТПНГБ) и Баренцево-Карского нефтегазоносных бассейнов — это Пахтусовское в Баренцево-Карском бассейне, Уренгойское, Повховское, Русское, Северо-Комсомольское, Суторминское, Ванкорское, Самбургское, Восточно-Мессояхское в Западно-Сибирском бассейне, Северо-Долгинское и Южно-Хыльчюуское в Тимано-Печорском бассейне. Всего для российского сектора установлено 75 уникальных и крупных месторождений (почти 10 % от 770 месторождений, табл. 3). Больше всего арктических месторождений находится в ЗСНГБ — почти 52 % выборки всех арктических месторождений, около 15 % — в ТПНГБ, 3 % месторождений — в Енисейско-Анабарском бассейне, в сумме около 4 % арктических месторождений сосредоточено в следующих НГБ: Баренцево-Карском, Лено-Тунгусском, Притихоокеанском и Лено-Виллюйском.

Территория Арктической зоны России с границами нефтегазоносных бассейнов и месторождений представлена на рис. 2.

На рис. 3 по данным из БД представлены диаграммы распределения месторождений Арктической зоны России по категории запасов — крупных и уникальных, из которых видно, что наибольшее количество крупных (почти 72 %) и уникальных (почти 73 %) по запасам месторождений сосредоточено в Западно-Сибирском НГБ. Тимано-Печорский НГБ занимает следующую позицию в распределении — крупные месторождения составили более 23 %, уникальные — более 18 %.

На рис. 3 видно, что основные ресурсы углеводородов сосредоточены в европейской части АЗР и в северных районах Западной Сибири. В трех нефтегазовых провинциях этого региона (Тимано-Печорской, Баренцево-Карской и Западно-Сибирской) сосредоточено 85 % всего потенциала АЗР [25].

Западно-Сибирский НГБ является уникальным по величине запасов нефти и газа среди НГБ земного шара. В недрах арктической части ЗСНГБ оцененные извлекаемые ресурсы нефти и природного газа составили 65 % ресурсов АЗР, четвертая часть этой величины прогнозируется в его акваториальной части. Открытые и разведанные запасы газа по промышленным катего-

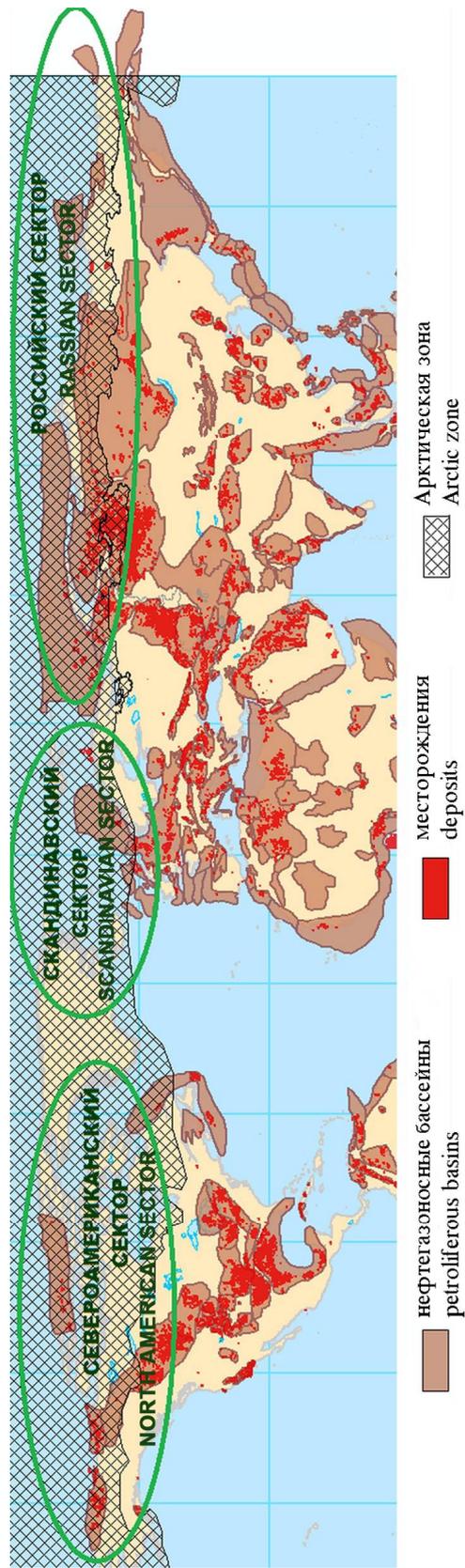


Рис. 1. Положение североамериканского, скандинавского и российского секторов в Арктическом регионе
 Fig. 1. The position of the North American, Scandinavian and Russian sectors in the Arctic region

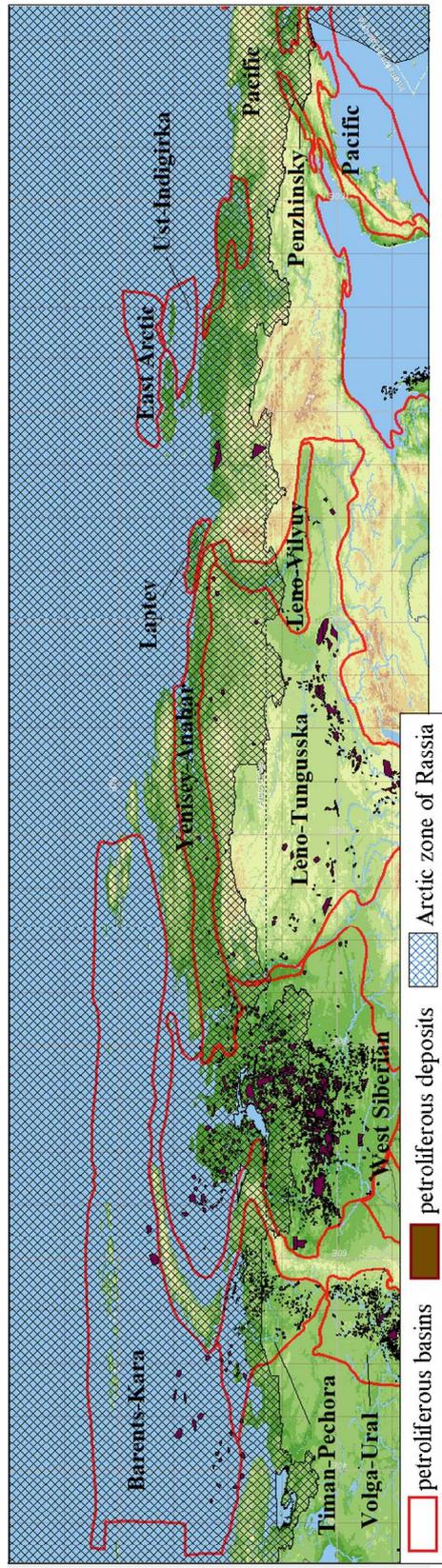


Рис. 2. Карта нефтегазоносных бассейнов в Российской арктической зоне
 Fig. 2. Map of oil-bearing basins in the Arctic zone of Russia

Таблица 3. Распределение количества месторождений на территории Арктической зоны

Table 3. Distribution of the number of deposits on the territory of the Arctic zone

Арктическая зона Arctic Zone	Нефтегазоносные бассейны Oil-bearing basin	Количество месторождений УВ Number of hydrocarbon deposits
Североамериканский сектор North American sector	Арктический склон Аляски, Бофорта, Залив Кука, Западно-Канадский, Прилабрадорский, Сведруп Arctic slope of Alaska, Beaufort, Cook Inlet, Western Canadian, Labrador, Swedrup	178 (в том числе в акватории 89 месторождений / including 89 fields in the aquatorium)
Скандинавский сектор Scandinavian sector	Западно-Шотландский, Норвежскоморский, Хаттон, Центрально-Европейский, Шетландско-Фарерский West Scottish, Norwegian Sea, Hutton, Central European, Shetland-Faroese	90 (все в акватории / all in aquatorium)
Российский сектор Russian sector	Баренцево-Карский, Восточно-Арктический, Енисейско-Анабарский, Западно-Сибирский, Лаптевский, Лено-Вилюйский, Лено-Тунгусский, Пенжинский, Притихоокеанский, Тимано-Печорский, Усть-Индибирский, Южно-Чукотский Barents-Kara, East Arctic, Yenisei-Anabar, West Siberian, Laptev, Lena-Vilyuy, Lena-Tunguska, Penzhina, Pacific Ocean, Timan-Pechora, Ust-Indigirka, South Chukotka	770 (в том числе в акватории 71 месторождение / including 71 deposits in the aquatorium)

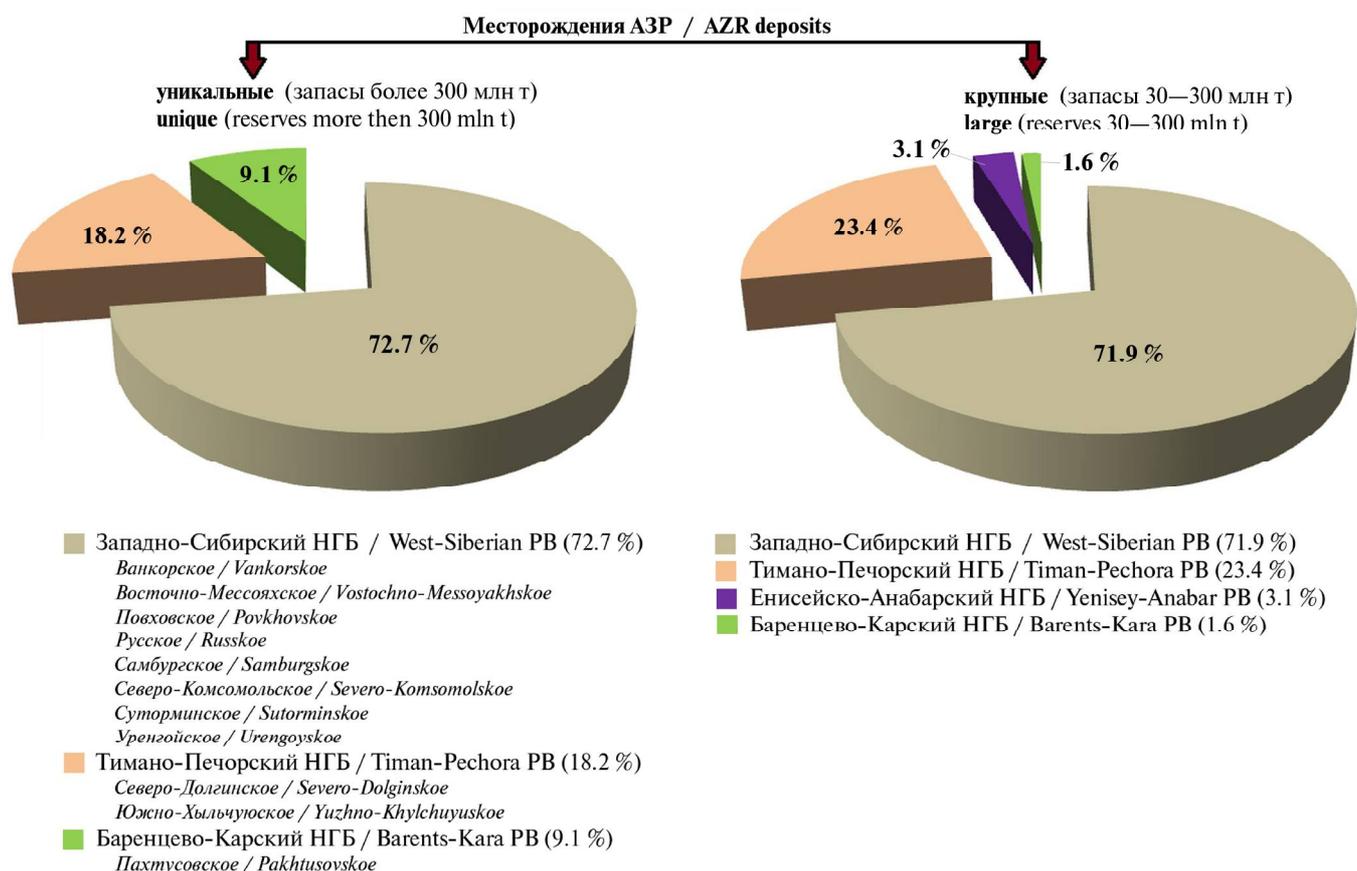


Рис. 3. Распределение крупных и уникальных по запасам арктических месторождений нефтегазоносных бассейнов Арктической зоны России

Fig. 3. Distribution of large and unique reserves of Arctic deposits of oil-bearing basins of the Arctic zone of Russia

риям составляют свыше 30 трлн м³, нефти — более 2.5 млрд т, конденсата — свыше 900 млн т. Наибольшим потенциалом обладает Ямало-Ненецкий автономный округ. На него приходится примерно 43.5 % от начальных суммарных ресурсов Арктической зоны. На арктическом шельфе находится примерно 41 % нефтегазовых ресурсов региона [12]. Основную часть разведанных за-

пасов нефти и газа промышленных категорий составляют неглубокозалегающие, высокоэффективные для разработки сеноманские залежи. Прогнозные же ресурсы в несколько раз превышают разведанные запасы, в их составе преобладают углеводороды глубокозалегающих (от 2 000 до 4 000 м) нижнемеловых и юрских горизонтов [25].



Баренцево-Карский НГБ расположен на шельфе — второй вслед за северным районом Западно-Сибирского НГБ по величине извлекаемых углеводородных ресурсов в Арктике. Это 32.4 млрд т условных УВ, причем свободный газ составляет более 87 % этой величины. Баренцево-Карский бассейн — это 13 % извлекаемых ресурсов углеводородов АЗР. Среди нефтегазоносных областей Баренцева моря наиболее богатой является Штокмановско-Лунинская — 38 % от общих ресурсов, на втором месте — Южно-Баренцевская нефтегазоносная область с 21 % общих ресурсов.

Тимано-Печорский НГБ расположен на территории Ненецкого автономного округа и в Республике Коми. Углеводородное сырье для экономики региона является главным полезным ископаемым, добыча которого определяет ее развитие. Этот НГБ в России является третьим после Западной Сибири и Урало-Поволжского региона по начальным суммарным ресурсам. Залежи приурочены к карбонатным породам верхнего карбона — нижней перми. Среди нефтегазоносных областей наиболее насыщенными углеводородами являются Печоро-Колвинская, Хорейверская и Северо-Предуральская. Извлекаемые ресурсы углеводородов ТПНГБ оцениваются как 6 % от ресурсов АЗР, в том числе в его сухопутной части — 8.4 млн т. На суше уже разведано около 43 % от начальных суммарных ресурсов углеводородов и только 5 % в пределах ее морского продолжения. По флюидному составу в недрах преобладает нефть с конденсатом — 76 %.

В Енисейско-Анабарском бассейне общие извлекаемые ресурсы оцениваются в 13.5 млрд т. Северные районы Красноярского края включают Енисей-Хатангскую, Анабаро-Хатангскую и Северо-Тунгусскую нефтегазоносные области с прогнозными ресурсами нефти и конденсата в 3.2 млрд т, а газа — 14.6 трлн м³.

Наименее изученными остаются нефтегазоперспективные земли севера Сибирской платформы и всего восточного района АЗР. В недрах этих земель прогнозируется около 23 млрд т УВ, что составляет примерно 9 % от всех ресурсов, прогнозируемых в недрах АЗР [25]. В Чукотском АО нефть и газ считаются перспективным для разработки сырьем. Извлекаемые ресурсы углеводородов составляют по нефти 107.3 млн т, по газу — 328.2 млрд м. В пределах арктического шельфа Чукотки извлекаемые запасы УВ оцениваются в 3—10 млрд т топлива (условного).

Считается [12, 25], что в недрах арктических шельфов сосредоточено около 85 % начальных суммарных ресурсов всех морей России. Так, нефтегазоносность Карского моря в значительной степени определяется ресурсами УВ, сосредоточенными в экваториальном продолжении Западно-Сибирского НГБ, в частности Северо-Ямальской НГО. Здесь прогнозируется 90 % ресурсов всего Карского моря. В Карском море на глубинах до 3000 м залегает около 74 % ресурсов углеводородов. Море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря изучены в меньшей степени.

В последнее время правительство России уделяет большое внимание развитию нефтегазовой системы макрорегиона, декларируя интенсификацию геолого-разведки, увеличение мер поддержки и технологического оснащения месторождений ТИН.

Классификация трудноизвлекаемых нефтей

Наиболее обоснованный подход к определению понятия трудноизвлекаемых запасов был предложен Э. М. Халимовым в 1987 г., на его основе вместе с Н. Н. Лисовским [15] сформулированы основные принципы и критерии отнесения запасов нефти к трудноизвлекаемым. В результате обобщения этих критериев и с учетом предложений других специалистов получен перечень основных типов трудноизвлекаемых нефтей, согласно которому к трудноизвлекаемым можно отнести нефти с перечисленными свойствами и условиями залегания:

- с аномальными физико-химическими свойствами (высокие вязкость и плотность, содержание парафинов, смол и асфальтенов);
- заключенные в водонефтяных и газонефтяных зонах;
- с высокой (более 500 м³/т) или низкой (менее 200 м³/т) газонасыщенностью либо при наличии в растворенном и/или свободном газе агрессивных компонентов (H₂S, CO₂) в количествах, требующих применения специального оборудования при бурении скважин и добыче нефти;
- залегающие на больших глубинах (более 4 500 м);
- с пластовой температурой 100 °С и выше либо ниже 20 °С (последнее условие обусловлено низкой разницей между пластовой температурой и температурой застывания парафина);
- с высокой степенью обводненности продукции (до 80 %);
- заключенные в слабопроницаемых (проницаемость менее 0.05 мкм²) и низкопористых (пористость менее 5 %) коллекторах;
- залегающие на территории распространения многолетнемерзлых пород глубиной более 100 м.

Согласно [4, 35, 45, 50], к трудноизвлекаемым относятся запасы малоподвижных нефтей (в частности, с высокими вязкостью или плотностью и высоким содержанием твердых парафинов, смол и асфальтенов), нефтей с высокой (более 500 м³/т) или низкой (менее 200 м³/т) газонасыщенностью, с высоким содержанием металлов (ванадия и никеля), либо при наличии в растворенном и/или свободном газе агрессивных компонентов H₂S, CO₂ в таких количествах, при котором необходимо применение специального оборудования при бурении скважин и добыче нефти. Нефти с перечисленными свойствами будем называть нефтями с аномальными свойствами [11, 15, 22, 24, 31, 32].

Вторую группу трудноизвлекаемых нефтей, согласно [15, 32, 35, 45, 50], составляют нефти с сложными условиями залегания (из геологически сложно построенных пластов и залежей, водонефтяных и газонефтяных зон, слабопроницаемых и низкопористых коллекторов, из коллекторов с аномально высокой или аномально низкой пластовой температурой и др.), а также нефти на территории многолетней мерзлоты и на шельфах морей [11, 22, 24, 29, 31].

В связи с вышесказанным и ввиду сложных горно-геологических и геокриологических условий Арктики большая часть запасов нефти на континентах и в акваториях северных морей относится к трудноизвлекаемым [6, 40, 46, 47, 51], общая характеристика и классификация их представлена в БД ИХН СО РАН ([36, 37], табл. 4).



Таблица 4. Классификация трудноизвлекаемых нефтей и объемы информации в БД за 2021 г.

Table 4. Classification of unconventional oil and volumes of information in the database for 2021

Трудноизвлекаемые нефти / Unconventional oils		Объем выборки за 2021 г. Sampling for 2021
Нефти с аномальными свойствами Oils with anomalous features	Тяжелая (плотность более 0.88 г/см ³) Heavy (density over 0.88 g/cm ³)	9071
	Вязкая (вязкость более 35 мм ² /с при 20 °С) Viscous (viscosity over 35 mm ² /s at 20 °C)	5424
	Сернистая (содержание серы более 3 мас. %) Sulfurous (sulfur content more than 3 wt. %)	1514
	Смолистая (содержание смол более 13 мас. %) Resinous (resin content more than 13 wt. %)	2974
	Асфальтеновая (содержание асфальтенов более 10 мас. %) Asphaltene (asphaltene content more than 10 wt. %)	591
	Парафинистая (содержание парафинов более 6 мас. %) Paraffin (paraffin content more than 6 wt. %)	2871
	С высокой газонасыщенностью (более 500 м ³ /т) With a high gas saturation (more than 500 m ³ /t)	159
	С низкой газонасыщенностью (менее 200 м ³ /т) With a low gas saturation (less than 200 m ³ /t)	5774
	С высоким содержанием сероводорода (более 5 %) With a high content of hydrogen sulfide (more than 5 %)	146
	С высоким содержанием ванадия (более 0.003 мас. %) With a high content of vanadium (more than 0.003 wt. %)	824
С высоким содержанием никеля (более 0,007 мас. %) With a high nickel content (more than 0.007 wt. %)	226	
Нефти в сложных условиях залегания Oil in difficult occurrence conditions	Слабопроницаемые коллекторы (менее 0.05 мдм ²) Low permeable collectors (less than 0.05 mdm ²)	2572
	Коллекторы с низкой пористостью (менее 8 %) Reservoirs with low porosity (less than 8 %)	441
	Большие глубины залегания (более 4500 м) Great depths of occurrence (more than 4500 m)	477
	В прерывисто-сплошной криолитозоне (Россия) In discontinuous continuous cryolithozone (Russia)	3703
	В островной криолитозоне (Россия) In the island permafrost zone (Russia)	4369
	Пластовая температура выше 100 °С Reservoir temperature above 100 °C	1350
	Пластовая температура ниже 20 °С Reservoir temperature below 20 °C	571

Анализ физико-химических свойств арктических нефтей

Данные об изменении значений показателей физико-химических свойств арктических нефтей рассматриваемых секторов приведены в табл. 5. Статистический анализ данных табл. 5 выявил, что средние значения показателей значимо отличаются. Выявлены особенности изменения физико-химических свойств в разных секторах Арктической зоны. Нефти, приуроченные к территории североамериканского сектора, по сравнению с нефтями скандинавского и российского секторов являются самыми тяжелыми, содержат значительно больше серы, смол и асфальтенов (на порядок и более), но меньше парафинов (практически в 5 раз), отличаются меньшей газонасыщенностью. Нефти российского сектора относятся к классу нефтей со средней плотностью, но в то же время характеризуются высокой вязкостью при 20 °С (вязкость выше, чем в нефтях североамериканского сектора в 10 раз, скандинавского сектора — в 46 раз). Нефти скандинавского сектора являются наиболее качествен-

ными — обладают средней плотностью, маловязкие, с наименьшим содержанием серы, асфальтенов и металлов, но повышенным содержанием парафинов и нефтяного газа. Нефти всех рассматриваемых секторов Арктики отличаются относительно низким содержанием серы и смол. Как было указано выше, месторождения скандинавского сектора являются шельфовыми, выявленные свойства этих месторождений в дальнейшем могут быть использованы при прогнозировании свойства нефтей арктических акваторий в проектах освоения глубоководных морских нефтяных ресурсов.

Рассмотрим подробнее свойства ТИН российского сектора. Средние значения физико-химических характеристик ТИН сибирской и европейской частей АЗР представлены в табл. 6. Показано, что нефти в разных бассейнах имеют значительные различия по физико-химическим свойствам. Так, нефти в Лено-Тунгусском бассейне являются тяжелыми (с плотностью более 0.88 г/см³), к нефти средней плотности относятся енисейско-анабарские и тимано-печорские нефти, к легким



Таблица 5. Физико-химические свойства нефтей Арктической зоны

Table 5. Physico-chemical properties of Arctic zone oils

Показатель / Indicator	Североамериканский сектор North American sector	Скандинавский сектор Scandinavian sector	Российский сектор Russian sector
Плотность, г/см ³ / Density, g/cm ³	0.8835	0.8505	0.8414
Вязкость при 20 °С, мм ² /с Viscosity at 20 °C, mm ² /s	31.27	8.19	378.10
Вязкость при 50 °С, мм ² /с Viscosity at 50 °C, mm ² /s	30.70	5.54	16.69
Содержание серы, мас. % Sulfur content, by wt. %	0.92	0.36	0.60
Содержание парафинов, мас. % Paraffins content, by wt. %	1.24	5.88	5.18
Содержание смол, мас. % Resin content, by wt. %	7.20	—	5.22
Содержание асфальтенов, мас. % Asphaltene content, by wt. %	10.63	0.48	1.71
Газосодержание, м ³ /т Gas content, m ³ /t	113.43	184.50	142.04
Содержание ванадия, мас. % Vanadium content, by wt. %	0.004	0.0002	0.004
Содержание никеля, мас. % Nickel content, by wt. %	0.001	0.0001	0.003

— нефти Баренцево-Карского, Западно-Сибирского и Притихоокеанского НГБ. По вязкости нефти Тимано-Печорского бассейна соответствуют сверхвязким нефтям, к высоковязким относятся нефти Енисейско-Анабарского бассейна, с повышенной вязкостью — нефти Западно-Сибирского бассейна, со средней вязкостью — нефти Лено-Тунгусского НГБ, а нефти Баренцево-Карского и Притихоокеанского бассейнов являются маловязкими. Положительной температурой застывания отличаются нефти Притихоокеанского и Тимано-Печорского НГБ. По содержанию серы арктические нефти Баренцево-Карского, Западно-Сибирского и Притихоокеанского бассейнов характеризуются как малосернистые (менее 0.5 мас. %), самое высокое содержание серы установлено в нефти Лено-Тунгусского бассейна (1.45 мас. %).

К высокопарафинистым нефтям (содержание более 6 мас. %) относятся нефти Притихоокеанского и Тимано-Печорского НГБ. Содержание смол и асфальтенов самое минимальное в нефти Западно-Сибирского бассейна, а самое максимальное — в нефти Лено-Тунгусского НГБ. В среднем арктические нефти Сибири по плотности не отличаются от европейских арктических нефтей, но наименее вязкие. Сибирские арктические нефти характеризуются более высоким содержанием смол, парафинов, асфальтенов, нефтяного газа, ванадия, углекислоты и повышенной коксуетемостью. Самая качественная нефть находится в Баренцево-Карском нефтегазоносном бассейне.

Уникальные и крупные по своим запасам месторождения Арктики: Русское, Северо-Комсомольское, Новопортовское, Комсомольское, Вынгапуровское, Западно-Мессояхское, Тазовское в Западно-Сибирском НГБ, Наульское, Ярегское, Медынское-море, Приразломное, Сюрхаратинское, Торавейское в Тимано-Печорском НГБ, Оленекское в Лено-Тунгусском НГБ

и др. — отличаются большими запасами тяжелых и вязких нефтей [50]. Особенность тяжелой нефти в том, что из нее можно получить низкотемпературные масла и дорожные битумы, которые весьма эффективны в критических условиях Арктики (рис. 4, [33]).

На рис. 5 приведены диаграммы распределения количества тяжелых и вязких нефтей в рассматриваемых секторах Арктики. Как видно на рис. 5, а и б, российский сектор занимает лидирующие позиции по количеству тяжелых и вязких нефтей, на североамериканский сектор приходится 18 % тяжелых нефтей Арктики и около 10 % вязких нефтей. В скандинавском секторе вязких нефтей не выявлено, доля тяжелых нефтей мала и составляет всего 2.3 %.

Данные об изменении показателей физико-химических свойств арктических тяжелых и вязких нефтей на территориях секторов приведены в табл. 7. Показано, что тяжелые и вязкие нефти, приуроченные к территории российского сектора, по сравнению с аналогичными нефтями североамериканского и скандинавского секторов являются самыми тяжелыми и вязкими, содержат значительно больше серы и парафинов (выше почти в 1.5—2 раза). Тяжелые нефти североамериканского сектора являются высокоасфальтеновыми (содержание асфальтенов выше в 3—10 раз). Тяжелые нефти скандинавского сектора наименее тяжелые и маловязкие (вязкие нефти отсутствуют, см. рис. 5), с низким содержанием серы и асфальтенов.

На рис. 6, а и б представлено количественное соотношение тяжелых и вязких нефтей между европейской и сибирской частями АЗР. Можно отметить, что распределение почти одинаково — больше половины всей выборки арктических российских как тяжелых (рис. 6, а), так и вязких (рис. 6, б) нефтей приходится на европейскую часть АЗР, количество тяжелых нефтей сибирской части АЗР составило более 41 %, вязких нефтей — 35 %.

Таблица 6. Физико-химические свойства нефти сибирской и европейской частей АЗР (в скобках указаны пределы изменения показателей)
Table 6. Physico-chemical properties of oils of the Siberian and European parts of the AZR (limits of changes in indicators are indicated in parentheses)

Физико-химические показатели Physico-chemical indicators	Сибирская часть Арктики / Siberian part of the Arctic				Среднее значение Average value	Европейская часть Арктики European part of the Arctic		Среднее значение Average value
	Енисейско-Анабарский Yeniseisko-Anabarsky	Западно-Сибирский West Siberian	Лено-Тунгусский Leno-Tungusky	Притихо-океанский Pacific		Баренцево-Карский Barents-Kara	Тимано-Печорский Timan-Pechora	
Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	0.8567 (0.7459–0.9445)	0.8192 (0.6959–0.9539)	0.8847 (0.8340–1.00)	0.8175 (0.6740–0.8730)	0.8445	0.8123 (0.7921–0.8244)	0.8760 (0.6500–1.00)	0.8442
Вязкость при 20 °С, мм ² /с Viscosity at 20 °C, mm ² /s	101.85 (1.49–237.00)	38.06 (0.35–950.60)	31.08 (19.00–40.20)	2.62 (0.59–8.10)	43.40	1.40 (1.39–1.42)	999.07 (0.44–5 3837.00)	500.24
Температура застывания, °С Solidification temperature, °C	-27.67 (-38)–(-20))	-25.76 ((-67)–21)	-58.00	23.60 (15.00–33.00)	-21.96	-54.00 ((-56)–(-48))	3.58 ((-60)–33)	-25.21
Содержание серы, мас. % Sulfur content, by wt. %	0.80 (0.001–3.42)	0.20 (0.001–2.43)	1.45 (0.60–4.90)	0.10 (0.04–0.16)	0.64	0.04 (0.035–0.043)	1.29 (0.01–3.91)	0.67
Содержание парафинов, мас. % Paraffins content, by wt. %	2.36 (0.06–10.6)	4.27 (0.02–25.72)	0.95 (0.30–2.00)	14.08 (0.25–28.00)	5.42	0.09 (0.07–1.02)	7.33 (0.10–43.60)	3.71
Содержание смол, мас. % Resin content, % by wt.	10.81 (0.16–35.00)	4.05 (0.01–20.00)	11.58 (3.00–32.40)	6.80 (0.11–23.60)	8.31	0.46 (0.33–0.58)	6.45 (0.02–25.84)	3.25
Содержание асфальтенов, мас. % Asphaltene content, by wt. %	5.20 (0.23–14.50)	0.62 (0.01–11.83)	5.58 (0.10–14.20)	2.38 (0.03–11.28)	3.45	0.05 (0.01–0.10)	3.02 (0.03–16.72)	1.54
Газосодержание, м ³ /т Gas content, m ³ /t	—	161.89 (22.00–1670.00)	—	67.18 (29.17–105.20)	114.54	—	105.17 (7.00–1325.00)	105.17
Коксуемость, мас. % Coking capacity, by wt. %	5.36 (1.87–7.10)	1.56 (0.18–3.90)	—	1.90	2.94	—	1.37 (0.14–3.08)	1.37
Содержание ванадия, мас. % Vanadium content, by wt. %	—	0.00034 (0.00001–0.0252)	0.0277 (0.025–0.030)	0.00001 (0.000002–0.000002)	0.01	0.00001	0.0051 (0.00002–0.0489)	0.0026
Содержание никеля, мас. % Nickel content, by wt. %	—	0.00020 (0.00001–0.001)	0.0066 (0.002–0.008)	0.00002 (0.000002–0.000002)	0.0023	—	0.0099 (0.00002–0.0160)	0.0099
Содержание углекислоты CO ₂ , мас. % Carbon dioxide content of CO ₂ , by wt. %	0.63 (0.01–1.50)	0.82 (0.01–21.71)	—	1.15 (0.03–1.67)	0.87	0.36 (0.27–0.45)	0.74 (0.05–3.50)	0.50
Содержание сероводорода H ₂ S, мас. % Hydrogen sulfide content H ₂ S, by wt. %	—	0.56 (0.13–0.68)	—	—	0.56	—	1.97 (0.001–13.00)	1.97



Таблица 7. Физико-химические свойства тяжелых и вязких нефтей Арктической зоны
Table 7. Physico-chemical properties of heavy and viscous oils of the Arctic zone

Показатель / Indicator	Североамериканский сектор North American sector	Скандинавский сектор Scandinavian sector	Российский сектор Russian sector
Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	0.9107	0.8955	0.9250
Вязкость при 20 °С, мм ² /с Viscosity at 20 °C, mm ² /s	37.68	8.19	621.40
Вязкость при 50 °С, мм ² /с Viscosity at 50 °C, mm ² /s	30.30	5.54	60.53
Содержание серы, мас. % Sulfur content, by wt. %	1.16	0.48	1.60
Содержание парафинов, мас. % Paraffins content, by wt. %	1.07	1.60	2.68
Содержание асфальтенов, мас. % Asphaltene content, by wt. %	12.85	1.00	3.57

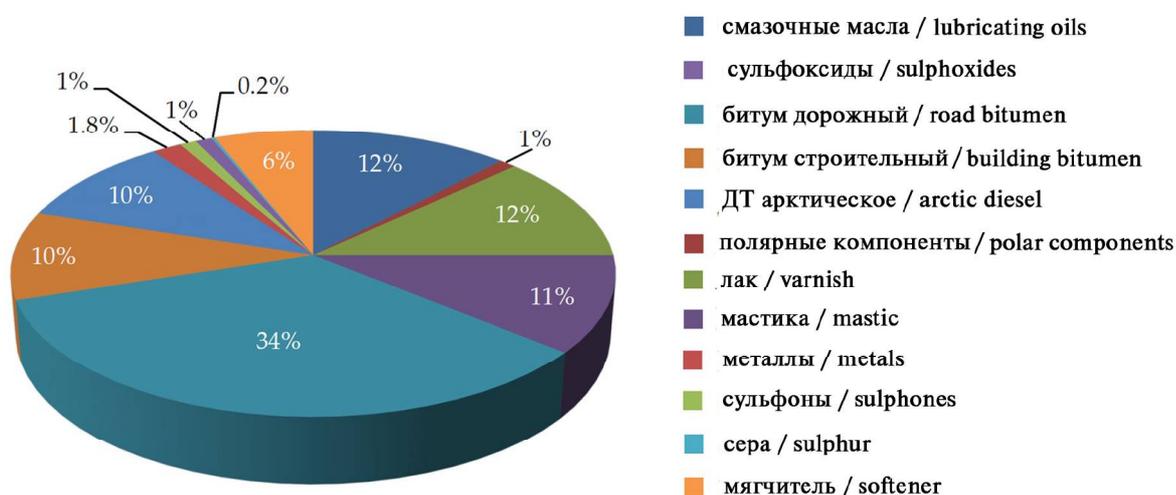


Рис. 4. Продукты переработки тяжелой нефти (%)
Fig. 4. Heavy oil refining products (%)

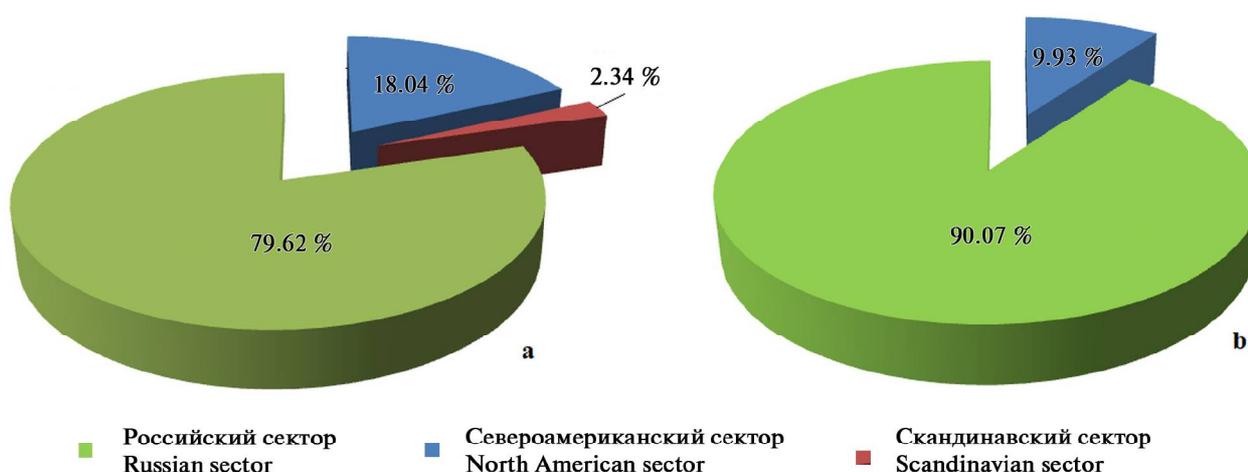


Рис. 5. Доли тяжелых (а) и вязких (б) нефтей в арктических секторах на основе информации БД
Fig. 5. Shares of heavy (a) and viscous (b) oils in the Arctic sectors based on database information

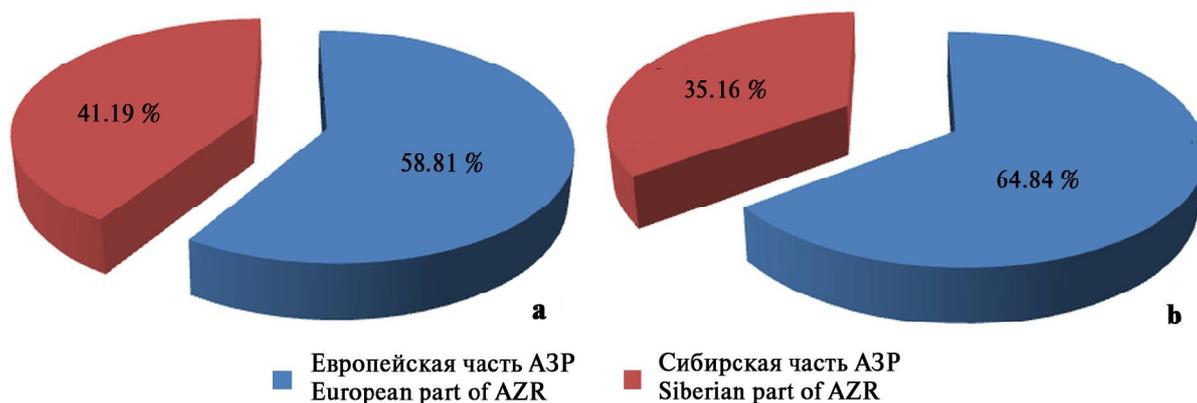


Рис. 6. Доли тяжелых (а) и вязких (б) нефтей в европейской и сибирской частях Арктической зоны России на основе информации БД

Fig. 6. Shares of heavy (a) and viscous (b) oils in the European and Siberian parts of the Arctic zone of Russia based on database information

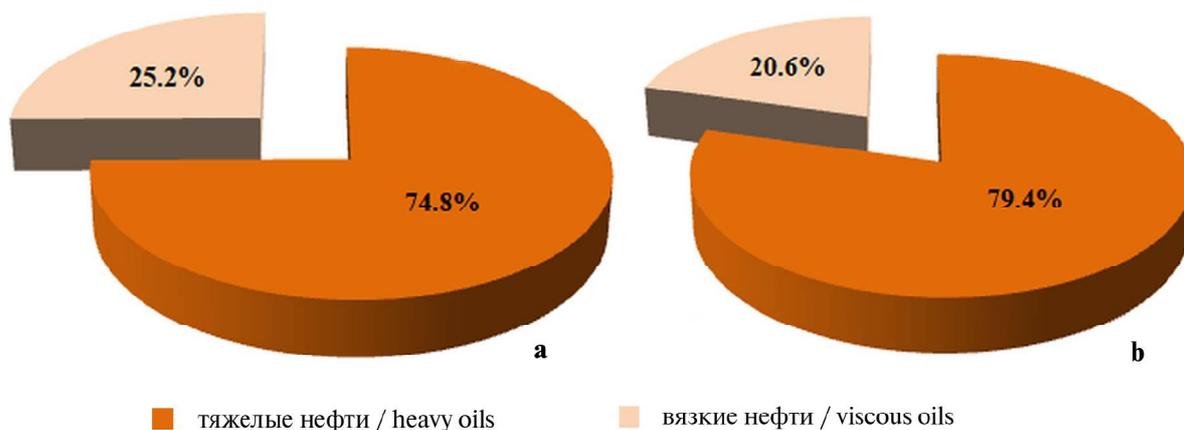


Рис. 7. Доли тяжелых и вязких нефтей в европейской (а) и сибирской (б) частях Арктической зоны России на основе информации БД

Fig. 7. Shares of heavy and viscous oils in the European (a) and Siberian (b) parts of the Arctic zone of Russia based on database information

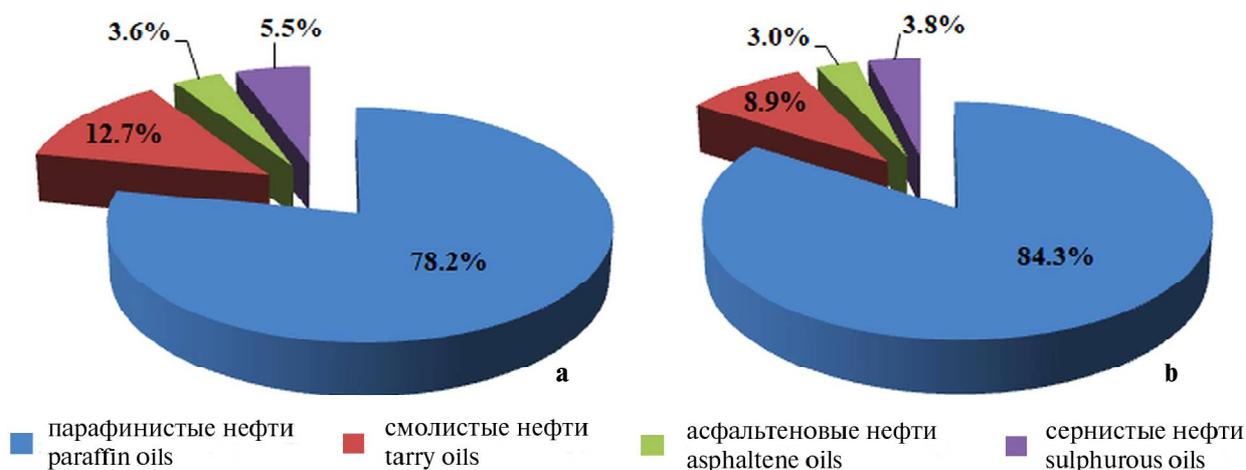


Рис. 8. Доли парафинистых, смолистых, асфальтеновых и сернистых нефтей в европейской (а) и сибирской (б) частях Арктической зоны России на основе информации БД

Fig. 8. Shares of paraffin, resinous, asphaltene and sulphurous oils in the European (a) and Siberian (b) parts of the Arctic zone of Russia based on database information



На рис. 7 и 8 представлено распределение ТИН с аномальными физическими и химическими свойствами (тяжелые, вязкие, парафинистые, смолистые, асфальтеновые и сернистые нефти) для европейской АЗР (рис. 7, а и 8, а) и сибирской АЗР (рис. 7, б и 8, б). Количество тяжелых нефтей в обеих частях АЗР составило 2/3 нефтей (рис. 7, а и б), в сибирской АЗР тяжелых нефтей чуть больше, а вязких нефтей на 5 % меньше, чем в европейской АЗР. Для европейской части АЗР установлена высокая доля парафинистых нефтей (78 %, рис. 8, а), почти 13 % составляют смолистые нефти, сернистые нефти — более 5 %, минимальное количество — это асфальтеновые нефти (3.6 %, рис. 8, а). Аналогично распределение ТИН по химическим свойствам в сибирской части АЗР (рис. 8, б), а именно наибольшее количество парафинистых нефтей (84 %), почти 9 % смолистых нефтей, от 3 до 4 % асфальтеновых и сернистых нефтей соответственно.

В табл. 8 приведена общая характеристика информации из БД о физико-химических свойствах тяжелых и вязких нефтей на территории АЗР. Сравнительный анализ показал, что более тяжелыми и вязкими являются нефти европейской части (рис. 6). Эти нефти обладают положительной температурой застывания, что характеризует ухудшение их реологических свойств. Содержание парафинов, асфальтенов, серы и металлов также более высокое по сравнению с нефтями сибирской части АЗР. Содержание смол и нефтяного газа существенных различий не имеет. Тяжелые и вязкие нефти сибирской части АЗР характеризуются более низкими значениями вязкости, самыми низкими

концентрациями асфальтенов, серы и металлов. Температура застывания находится в диапазоне отрицательных значений.

Установлено, что для европейской части АЗР парафинистые нефти (по классификации ТИН содержание парафинов более 6 %) характеризуются более высокой концентрацией парафинов по сравнению с аналогичными нефтями сибирской АЗР (табл. 9), разница концентраций парафинов составила почти 19 %. Смолистые (содержание смол более 13 %), асфальтеновые (содержание асфальтенов более 10 %) и сернистые (содержание серы более 3 %) сибирской части АЗР обладают наибольшими концентрациями смол, асфальтенов и серы примерно на 20–28 % по сравнению с европейскими соответствующими нефтями (табл. 9).

Установленные отличия определяют особенности разработки, добычи и транспортировки тяжелых и вязких, а также парафинистых, смолистых и сернистых нефтей в условиях критически низких арктических температур, что очень актуально для современной России.

Заключение

В статье проведен анализ нефтяных ресурсов Арктики. Представлено пространственное размещение месторождений и нефтегазоносных бассейнов арктических территорий, в частности Российской Арктики, где по своим запасам лидирующие позиции занимают Западно-Сибирский, Баренцево-Карский и Тимано-Печорский бассейны.

Таблица 8. Физико-химические свойства тяжелых и вязких нефтей европейской и сибирской частей АЗР
Table 8. Physico-chemical properties of heavy and viscous oils of the European and Siberian parts of AZR

Показатель / Indicator	Европейская часть Арктики European part of the Arctic		Сибирская часть Арктики Siberian part of the Arctic	
	Тяжелые нефти Heavy oil	Вязкие нефти Viscous oils	Тяжелые нефти Heavy oil	Вязкие нефти Viscous oils
Физические показатели / Physical indicators				
Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	0.9439	0.9065	0.9192	0.9231
Вязкость при 20 °С, мм ² /с Viscosity at 20 °C, mm ² /s	752.87	2548.38	396.87	268.11
Температура застывания, °С Solidification temperature, °C	5.70	10.56	-30.88	-29.41
Химических показатели / Chemical indicators				
Содержание парафинов, мас. % Paraffins content, % by wt.	2.82	6.07	1.55	2.84
Содержание смол, мас. % Resin content, % by wt.	10.70	8.89	10.15	10.00
Содержание асфальтенов, мас. % Asphaltene content, % by wt.	5.70	4.83	1.82	1.50
Содержание серы, мас. % Sulfur content, % by wt.	2.23	1.96	0.48	0.50
Газосодержание, м ³ /т Gas content, m ³ /t	31.03	66.74	38.21	—
Содержание ванадия, мас. % Vanadium content, % by wt.	0.0128	0.0030	0.0025	0.0006
Содержание никеля, мас. % Nickel content, % by wt.	0.0053	0.0032	0.0004	0.0004

**Таблица 9.** Содержание парафинов, смол, асфальтенов и серы в соответствующих ТИН в европейской и сибирской частях АЗР**Table 9.** The content of paraffins, resins, asphaltenes and sulfur in the corresponding HRO in the European and Siberian parts of AZR

Регионы Арктической зоны России Regions of the Arctic zone of Russia	Содержание в нефти, мас. % / Oil content, by wt. %			
	Парафины в парафинистой нефти Paraffins in paraffin oil	Смолы в смолистой нефти Resins in resinous oil	Асфальтены в асфальтеновой нефти Asphaltenes in asphaltene oil	Сера в сернистой нефти Sulfur in sulfurous oil
Европейская часть Арктической зоны России European part of the Arctic zone of Russia	11.15	15.93	12.71	3.35
Сибирская часть Арктической зоны России Siberian part of the Arctic zone of Russia	9.39	20.63	15.96	4.66

Сравнительный анализ физико-химических свойств нефтей всей Арктики показал, что свойства нефтей шельфовых месторождений на примере месторождений скандинавского сектора Арктики существенно отличаются от остальных — нефти по плотности средние, мало- или средневязкие, с наименьшим содержанием серы, асфальтенов и металлов, но повышенным содержанием парафинов и нефтяного газа.

Проведен анализ распределения арктических нефтей с аномальными физико-химическими свойствами — тяжелых, вязких, парафинистых, смолистых, асфальтеновых и сернистых. Выявлено, что российский сектор занимает лидирующие позиции по количеству тяжелых и вязких нефтей, в североамериканском секторе находится 18 % тяжелых нефтей всей Арктики и около 10 % вязких нефтей. В скандинавском секторе вязких нефтей не выявлено, доля тяжелых нефтей мала и составляет всего 2.3 %.

Установлено, что в европейской части Российской Арктики сосредоточено больше половины всех тяжелых и вязких российских арктических нефтей (58.8 и 64.8 % соответственно), а также наибольшее количество смолистых, асфальтеновых и сернистых нефтей. В сибирской части находится больше всего парафинистых нефтей и минимальное количество сернистых нефтей.

Сравнительный анализ физико-химических свойств тяжелых и вязких нефтей всей Арктики показал, что тяжелые и вязкие нефти российского сектора являются самыми тяжелыми и вязкими, содержат значительно больше серы и парафинов (выше почти в 1.5—2 раза). Тяжелые нефти североамериканского сектора отличаются высоким содержанием асфальтенов, а тяжелые нефти скандинавского сектора легче всех остальных и маловязкие, с низким содержанием серы и асфальтенов. При сравнении свойств тяжелых и вязких нефтей на российской арктической территории установлено, что европейские арктические нефти являются в среднем наиболее тяжелыми, вязкими, содержание парафинов, асфальтенов, серы и металлов также более высокое по сравнению с сибирскими нефтями АЗР. Однако смолистые, асфальтеновые и сернистые нефти европейской АЗР обладают меньшим содержанием смол, асфальтенов и серы соответственно по сравнению с аналогичными нефтями сибирской территории, разница концентраций составляет в среднем от 20 до 30 %.

В целом установлено, что свойства арктических нефтей имеют существенные различия как на планетарном, так и региональном уровне, что требует внедрения новых методов и технологий для поиска, разведки, разработки, добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья арктических территорий. Проведенные в статье анализ и обобщение информации по трудноизвлекаемой арктической нефти полезны для определения перспектив нефтегазодобычи шельфовых и континентальных территорий Арктики, оценки запасов арктических УВ и прогноза их качества.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 121031500048-1).

Литература

1. Алсуфьев А. В., Шнайдер А. Г. Перспективы включения Лешуконского и Пинежского муниципальных районов Архангельской области в состав Арктической зоны Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. 2016. № 3 (23). С. 58—66.
2. Асхабов А. М., Бурцев И. Н., Кузнецов С. К., Тимонина Н. Н. Арктический вектор геологических исследований: нефтегазовые и минерально-сырьевые ресурсы // Вестник Института геологии Коми НЦ Уро РАН. 2014. № 9. С. 3—10.
3. Богоявленский В. И. Поиск, разведка и разработка месторождений углеводородов в Циркумарктическом регионе // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2 (10). С. 62—71.
4. Бортников Н. С. Стратегические минеральные ресурсы Российской Арктики и проблемы их освоения // Научно-технические проблемы освоения Арктики: Научная сессия общего собрания членов РАН 16 декабря 2014 г. Российская академия наук. М.: Наука, 2014. С. 40—47.
5. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В., Галямов А. Л., Мурашов К. Ю. Арктические ресурсы цветных и благородных металлов в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. 2015. № 1 (17). С. 38—46.
6. Брехунцов А. М., Петров Ю. В., Прыкова О. А. Экологические аспекты развития природно-ресурсного потенциала Российской Арктики // Арктика: экология и экономика. 2015. № 1 (17). С. 47—54.



экономика. 2020. № 3 (39). С. 34–47. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-34-47.

7. *Ветров В. А., Кузовкин В. В., Манзон Д. А.* Кислотность атмосферных осадков и атмосферные выпадения серы и азота в Арктической зоне Российской Федерации по данным мониторинга химического состава снежного покрова // Арктика: экология и экономика. 2014. № 3 (15). С. 46–51.

8. *Городецкий А. Е., Иванов В. В., Филин Б. Н.* Правовые и методические проблемы стратегического планирования развития арктических регионов России // Арктика: экология и экономика. 2014. № 4 (16). С. 4–13.

9. *Забанбарк А., Лобковский Л. И.* Геологическое строение и нефтегазоносность арктической части Северо-Американского континента // Арктика: экология и экономика. 2013. № 3 (11). С. 64–75.

10. *Зайков К. С., Калинина М. Р., Кондратов Н. А., Тамицкий А. М.* Стратегические приоритеты научных исследований России и зарубежных государств в Арктическом регионе // Арктика: экология и экономика. 2016. № 3 (23). С. 29–37.

11. *Ибраев В. И.* Прогнозирование напряженного состояния коллекторов и флюидоупоров нефтегазовых залежей в Западной Сибири. Тюмень: Тюменский дом печати, 2006. 208 с.

12. *Кобылкин Д. Н.* Ресурсы арктического шельфа — это наш стратегический запас // Энергетическая политика: Общественно-деловой научный журнал под руководством Министерства энергетики. 14.11.2019. URL: <https://energypolicy.ru/resursy-arkticheskogo-shelfa-eto-nash/business/2019/22/14/> (дата обращения: 26.01.2022).

13. *Конторович А. Э.* Энергоресурсы Российского сектора Арктики, главные направления и методы их освоения // Научно-технические проблемы освоения Арктики: Научная сессия общего собрания членов РАН 16 декабря 2014 г. / Российская академия наук. Москва: Наука, 2014. С. 31–39.

14. *Лаверов Н. П., Богоявленский В.И., Богоявленский И. В.* Сейсморазведка и освоение морских месторождений нефти и газа Арктики и Западного полушария // Арктика: экология и экономика. 2011. № 3. С. 16–27.

15. *Лисовский Н. Н., Халимов Э. М.* О классификации трудноизвлекаемых запасов // Вестник ЦКР Роснедра. 2009. № 6. С. 33–35.

16. *Лукин Ю. Ф.* Арктические вызовы России // Россия: общество, политика, история. 2022. № 2 (2). С. 59–85.

17. *Нефтегазодобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность: тенденции и прогнозы / Рейтинговое агентство ООО «РИА Рейтинг» // Аналитический бюллетень Вып. 45, итоги 2021 года. 49 с.*

18. *Новак А.* Арктика — инвестиции в будущее углеводородов // Нефтегазовая вертикаль. 2019. № 4. С. 10–11. URL: file:///C:/Users/yig/Downloads/Kolonka_Novak.pdf (дата обращения: 20.03.2022).

19. *О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» от 27 июня 2017 г. № 287: Указ Президента РФ.* URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201706270043.pdf>.

20. *О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296: Указ Президента РФ.* URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201405050030.pdf>.

21. *Присяжная А. А., Круглова С. А., Хрисанов В. Р., Снакин В. В.* Картографирование охраняемых на феде-

ральном уровне видов растений в Арктической зоне Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. 2018. № 4 (32). С. 43–54. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-43-54.

22. *Прищепина О. М.* Состояние сырьевой базы и добычи трудноизвлекаемых запасов нефти в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 5(168). С. 14–20.

23. *Прищепина О. М., Меткин Д. М., Боровиков И. С.* Углеводородный потенциал Арктической зоны России и перспективы его освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 3(166). С. 14–28.

24. *Пуртова И. П., Варшченко А. И., Штуров И. В.* Трудноизвлекаемые запасы нефти. Терминология. Проблемы и состояние освоения в России // Наука и ТЭК. 2011. № 6. С. 21–26.

25. *Робинсон Б. В., Татаренко В. И.* Проблемы освоения углеводородных ресурсов Российской Арктики // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. Т. 3. № 1. С. 108–114.

26. *Рудский В. В.* Экология и природопользование Российской Арктики: состояние. Проблемы, перспективы // Северный регион: наука, образование, культура. 2015. № 2. С. 187–198.

27. *Сафонова Т. Ю.* Перспективы российской нефтегазодобычи в Арктике: от обвала до развития // Креативная экономика. 2020. Том 14. № 10. С. 2569–2590. DOI: 10.18334/се.14.10.111085.

28. *Ткачев Б. П.* Риски природопользования нефтегазодобывающих регионов Севера (Арктика) // Северный регион: наука, образование, культура. 2015. № 2. С. 210–215.

29. «Трудная» нефть: вызовы и перспективы. 2018: Аналитический доклад ЦСП «Платформа». URL: <https://pltf.ru/2019/03/05/trudnaja-neft-vyzovy-i-perspektivy/> (дата обращения: 26.02.2022).

30. *Фаузер В. В., Смирнов А. В.* Мировая Арктика: природные ресурсы, расселение населения, экономика // Арктика: экология и экономика. 2018. № 3 (31). С. 6–22. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-6-22.

31. *Халимов Э. М.* Геотехнологии разведки и разработки нефтяных месторождений. Избранные труды (1958–2000 гг.). М.: ИГиРГИ, 2001. 656 с.

32. *Халимов Э. М.* Концепция дифференцированной ставки налога на добычу полезных ископаемых // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. № 11. С. 44–50.

33. *Хлюпин П. А., Хазиева Р. Т., Вахеди А.* Разработка новых электротехнологических систем и комплексов в добыче трудноизвлекаемых запасов нефти // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2021. № S. С. 125–137.

34. *Юдин С. С., Череповицын А. Е.* Концептуальные подходы обеспечения устойчивости промышленных нефтегазовых систем Арктики // Российский экономический интернет-журнал. 2021. № 4. URL: <http://www.e-rej.ru/upload/iblock/e2b/e2b5ed53638f66f692ec364b69af5a5b.pdf> (дата обращения: 18.03.2022 г.).

35. *Якуцени С. П.* Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков. СПб.: Недра, 2005. 372 с.

36. *Яценко И. Г.* Глубокозалегающие трудноизвлекаемые нефти — закономерности размещения и физико-химические свойства // Вестник Института геологии Коми научного центра УрО РАН. 2014. № 11(239). С. 3–6.



37. 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.

38. Arctic potential: realizing the promise of US Arctic oil and gas resources. National Petroleum Council, 2019. 106 p. URL: <https://www.npcarcticreport.org/> (дата обращения: 18.03.2022).

39. Arctic potential: realizing the promise of US Arctic oil and gas resources // Committee on Arctic Research Rex W. Tillerson, Chair. National Petroleum Council, 2015, 87 p. URL: https://www.npcarcticreport.org/pdf/AR-Executive_Summary-Final.pdf (дата обращения: 18.03.2022).

40. Harsem O., Eide A., Heen K. Factors influencing future oil and gas prospects in the Arctic // Energy Policy. 2011. vol. 39. No. 12. pp. 8037–8045. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.058>.

41. Kaminskii V. D., Suprunenko O. I., Suslova V. V. The continental shelf of the Russian Arctic region: the state of the art in the study and exploration of oil and gas resources // Russian Geology and Geophysics. 2011. vol. 52. No. 8. pp. 760–767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.07.001>.

42. Kaminsky V. D., Suprunenko O. I., Smirnov A. N. Mineral Resources of the Russian Arctic Continental Margin and Prospects for Their Development // The Arctic: ecology and economy. 2014. No. 3 (15). С. 52–61.

43. Kontorovich A. E., Epov M. I., Burshtein L. M., Kaminskii V. D., Kurchikov A. R., Malyshev N. A., Prischepa O. M., Safonov A. F., Stupakova A. V., Suprunenko O. I. Geology and hydrocarbon resources of the continental shelf in Russian Arctic seas and the prospects of their development // Russian Geology and Geophysics. 2010. vol. 51. No. 1. pp. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2009.12.003>.

44. Laverov N. P., Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlensky I. V. Fundamental aspects of the rational development of oil and gas resources of the Arctic and Russian shelf: strategy, prospects and challenges // The Arctic: ecology and economy. 2016. No. 2 (22). pp. 4–13.

45. Lukyanov E. E., Trenin Yu. A., Derevyagin A. A. Reliability of Geological and Geophysical Information for Oil Reserves Evaluation // Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». 2008. № 1. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Lukyanov/Lukyanov_1.pdf (дата обращения: 26.02.2022).

46. Piskarev A. L., Shkatov M. Yu. Potential Oil-and-Gas Presence in the Sedimentary Basins of the Arctic Seas of Russia as Compared with the Largest Developed Basins of the World Ocean // Developments in Petroleum Science. 2012. vol. 58. pp. 197–276. DOI: 10.1016/B978-0-444-53784-3.00004-X.

47. Polichtchouk Yu. M., Yaschenko I. G. Statistical Analysis of Regional Variation in the Chemical Composition of Eurasian Crude Oils // Petroleum Chemistry. 2001. Vol. 41. No. 4. pp. 247–251. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00110-9](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00110-9).

48. Polichtchouk Yu. M., Yashchenko I. G. Possible Correlations between Crude Oil Chemical Composition and Reservoir Age // Journal of Petroleum Geology. 2006. Vol. 29. No. 2. pp. 189–194. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2006.00189.x>.

49. Prischepa O. M., Nefedov Y. V., Ibatullin A. K. Raw material source of hydrocarbons of the arctic zone of Russia // Periodico Tche Quimica, 2020. No. 17(36). pp. 506–526. DOI: 10.52571/PTQ.v17.n36.2020.521_Periodico36_pgs_506_526.pdf.

50. Prischepa, O. M., Nefedov, Y. V., Kochneva, O. E. Raw material base of hard-to-extract oil reserves of Russia // Periodico Tche Quimica, 2020. No. 17(34). pp. 915–924.

51. Sidortsov R. A perfect moment during imperfect times: Arctic energy research in a low-carbon era // Energy Research & Social Science. 2016. vol. 16. pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.03.023>.

References

1. Alsuf'ev A. V., Shnajder A. G. *Perspektivy vklucheniya Leshukonskogo i Pinezhskogo municipal'nyh rajonov Arhangel'skoj oblasti v sostav Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Prospects for the inclusion of the Leshukonsky and Pinezhsky municipal districts of the Arkhangelsk region in the Arctic zone of the Russian Federation. Arctic: ecology and economy). 2016, No. 3 (23), pp. 58–66.

2. Askhabov A. M., Burtsev I. N., Kuznetsov S. K., Timonina N. N. *Arkticheskij vektor geologicheskikh issledovanij: neftegazovye i mineralno-syrevye resursy* (Arctic vector of geological research: oil and gas and mineral resources). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2014, No. 9, pp. 3–10.

3. Bogoyavlenskij V. I. *Poisk, razvedka i razrabotka mestorozhdenij uglevodorodov v Cirkumarkticheskom regione. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Search, exploration and development of hydrocarbon deposits in the Circumarctic region. Arctic: ecology and economy). 2013, No. 2 (10), pp. 62–71.

4. Bortnikov N. S. *Strategicheskie mineralnye resursy Rossijskoj Arktiki i problemy ih osvoeniyau Nauchno-tekhnicheskie problemy osvoeniya Arktiki: Nauchnaya sessiya obshchego sobraniya chlenov RAN 16 dekabrya 2014 g.* (Strategic mineral resources of the Russian Arctic and problems of their development. Scientific and technical problems of the development of the Arctic: Scientific session of the general meeting of members of the Russian Academy of Sciences December 16, 2014). Moscow: Nauka, 2014, pp. 40–47.

5. Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V., Galyamov A. L., Murashov K. Yu. *Arkticheskie resursy cvetnyh i blagorodnyh metallov v globalnoj perspektive. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Arctic resources of non-ferrous and noble metals in the global perspective. Arctic: ecology and economy). 2015, No. 1 (17), pp. 38–46.

6. Brekhuncov A. M., Petrov Yu. V., Prikova O. A. *Ekologicheskie aspekty razvitiya prirodno-resursnogo potenciala rossijskoj Arktiki. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Ecological aspects of the development of the natural resource potential of the Russian Arctic. Arctic: ecology and economy). 2020, No. 3 (39), pp. 34–47. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-34-47.

7. Vetrov V. A., Kuzovkin V. V., Manzon D. A. *Kislotnost atmosferynyh osadkov i atmosferynye vypadeniya sery i azota v Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii po dannym monitoringa himicheskogo sostava snezhnogo pokrova. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Acidity of atmospheric precipitation and atmospheric deposition of sulfur and nitrogen in the Arctic zone of the Russian Federation according to monitoring of the chemical composition of the snow cover. Arctic: ecology and economy). 2014, No. 3 (15), pp. 46–51.

8. Gorodeckij A. E., Ivanov V. V., Filin B. N. *Pravovye i metodicheskie problemy strategicheskogo planirovaniya razvitiya arkticheskikh regionov Rossii, Arktika: ekologiya i ekonomika* (Legal and methodological problems of strategic planning for the development of the Arctic regions of Russia. Arctic: ecology and economy). 2014, No. 4 (16), pp. 4–13.



9. Zabanbark A., Lobkovskij L. I. *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' arkticheskoy chasti Severo-Amerikanskogo kontinenta. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Geological structure and oil and gas potential of the Arctic part of the North American continent. Arctic: ecology and economy). 2013, No. 3 (11), pp. 64–75.
10. Zajkov K. S., Kalinina M. R., Kondratov N. A., Tamickij A. M. *Strategicheskie priority nauchnykh issledovanij Rossii i zarubezhnykh gosudarstv v arkticheskom regione. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Strategic priorities of scientific research in Russia and foreign countries in the Arctic region. Arctic: ecology and economy). 2016, No. 3 (23), pp. 29–37.
11. Ibraev V. I. *Prognozirovanie napryazhennogo sostoyaniya kollektorov i flyuidouporov neftegazovykh zalezhej v Zapadnoj Sibiri* (Prediction of the stress state of reservoirs and seals of oil and gas deposits in Western Siberia). Tyumen: Tyumen Publishing house, 2006, 208 p.
12. Kobylkin D. N. *Resursy arkticheskogo shelfa — eto nash strategicheskij zapas* (Resources of the Arctic shelf is our strategic reserve). Social and business scientific journal "Energy Policy" under the leadership of the Ministry of Energy. 14.11.2019. URL: <https://energypolicy.ru/resursy-arkticheskogo-shelfa-eto-nash/business/2019/22/14/> (data of access: 26.01.2022).
13. Kontorovich A. E. *Energoresursy Rossijskogo sektora Arktiki, glavnye napravleniya i metody ih osvoeniya* (Energy resources of the Russian sector of the Arctic, main directions and methods of their development). Scientific and technical problems of the development of the Arctic: Scientific session of the general meeting of members of the Russian Academy of Sciences on December 16 Arctic vector of geological research: oil and gas and mineral resources. Russian Academy of Sciences. Moscow: Nauka, 2014, pp. 31–39.
14. Laverov N. P., Bogoyavlenskij V. I., Bogoyavlenskij I. V. *Sejsmorazvedka i osvoenie morskikh mestorozhdenij nefti i gaza Arktiki i Zapadnogo polushariya. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Seismic exploration and development of offshore oil and gas fields in the Arctic and the Western Hemisphere. Arctic: Ecology and Economics). 2011, No. 3, pp. 16–27.
15. Lisovskij N. N., Halimov E. M. *O klassifikacii trudnoizvlekaemykh zapasov* (On the classification of hard-to-recover reserves). Vestnik CKR Rosnedra, 2009, No. 6, pp. 33–35.
16. Lukin Yu. F. *Arkticheskie vyzovy Rossii. Rossiya: obshchestvo, politika, istoriya* (Arctic challenges of Russia. Russia: society, politics, history). 2022, No. 2 (2), pp. 59–85.
17. *Neftegazodobyvayushchaya i neftepererabatyvayushchaya promyshlennost': tendencii i prognozy. Rejtingovoe agentstvo OOO «RIA Rejting»* (Oil and gas producing and oil refining industry: trends and forecasts. Rating agency RIA Rating LLC). No. 45, 2021, 49 p.
18. Novak A. *Arktika — investicii v budushchee uglevodorodov. Neftegazovaya vertikal* (The Arctic - investment in the future of hydrocarbons. Oil and gas vertical). 2019, No. 4, pp. 10–11. URL: file:///C:/Users/yig/Downloads/Kolonka_Novak.pdf (data of access: 20.03.2022).
19. *O vnesenii izmenenij v Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 2 maya 2014 g. № 296 "O suhoputnykh territoriyah Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii" ot 27 iyunya 2017 g. № 287: Ukaz Prezidenta RF* (On Amendments to Decree of the President of the Russian Federation of May 2, 2014 No. 296 "On the Land Territories of the Arctic Zone of the Russian Federation" of June 27, 2017 No. 287: Decree of the President of the Russian Federation). URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201706270043.pdf>.
20. *O suhoputnykh territoriyah Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii ot 2 maya 2014 g. № 296: Ukaz Prezidenta RF* (On the land territories of the Arctic zone of the Russian Federation of May 2, 2014 No. 296: Decree of the President of the Russian Federation). URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201405050030.pdf>.
21. Prisyazhnaya A. A., Kruglova S. A., Hrisanov V. R., Snakin V. V. *Kartografirovaniye ohranyaemykh na federal'nom urovne vidov rastenij v Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii. Arktika: ekologiya i ekonomika* (Mapping of federally protected plant species in the Arctic zone of the Russian Federation. Arctic: ecology and economy). 2018, No. 4 (32), pp. 43–54. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-43-54.
22. Prishchepa O. M. *Sostoyaniye syr'evoy bazy i dobychi trudnoizvlekaemykh zapasov nefti v Rossii. Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie* (The state of the raw material base and production of hard-to-recover oil reserves in Russia. Mineral Resources of Russia. Economics and Management). 2019, No. 5(168), pp. 14–20.
23. Prishchepa O. M., Metkin D. M., Borovikov I. S. *Uglevodorodnyj potencial Arkticheskoy zony Rossii i perspektivy ego osvoeniya. Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie* (Hydrocarbon potential of the Arctic zone of Russia and prospects for its development. Mineral Resources of Russia. Economics and management). 2019, No. 3(166), pp. 14–28.
24. Purtova I. P., Varichenko A. I., Shpurov I. V. *Trudnoizvlekaemye zapasy nefti. Terminologiya. Problemy i sostoyaniye osvoeniya v Rossii* (Hard-to-recover oil reserves. Terminology. Problems and state of development in Russia). Nauka i TEK, 2011, No. 6, pp. 21–26.
25. Robinson B. V., Tatarenko V. I. *Problemy osvoeniya uglevodorodnykh resursov Rossijskoj Arktiki* (Problems of development of hydrocarbon resources in the Russian Arctic). Interkespo Geo-Sibir, 2009, V. 3, No. 1, pp. 108–114.
26. Rudskij V. V. *Ekologiya i prirodopol'zovanie rossijskoj Arktiki: sostoyaniye. Problemy, perspektivy. Severnyj region: nauka, obrazovanie, kul'tura* (Ecology and nature management of the Russian Arctic: the state. Problems, prospects. Northern region: science, education, culture). 2015, No. 2, pp. 187–198.
27. Safonova T. Yu. *Perspektivy rossijskoj neftegazodobychi v Arktike: ot obvala do razvitiya. Kreativnaya ekonomika* (Prospects for Russian oil and gas production in the Arctic: from collapse to development. Creative Economy). 2020, V 14, No. 10, pp. 2569–2590. DOI: 10.18334/ce.14.10.111085.
28. Tkachev B. P. *Riski prirodopol'zovaniya neftegazodobyvayushchih regionov Severa (Arktika). Severnyj region: nauka, obrazovanie, kul'tura* (Risks of nature management in oil and gas producing regions of the North (Arctic). Northern region: science, education, culture). 2015, No. 2, pp. 210–215.
29. *«Trudnaya» neft': vyzovy i perspektivy. 2018: Analiticheskij doklad CSP «Platforma»* ("Difficult" oil: challenges and prospects. 2018: Analytical report of the CSP "Platform"). URL: <https://pltf.ru/2019/03/05/trudnaja-neft-vyzovy-i-perspektivy/> (data of access: 26.02.2022).
30. Fauzer V. V., Smirnov A. V. *Mirovaya Arktika: prirodnye resursy, rasselenie naseleniya, ekonomika. Arktika: ekologiya i ekonomika* (World Arctic: natural resources, population resettlement, economy. Arctic: ecology and economy). 2018, No. 3 (31), pp. 6–22. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-6-22.
31. Halimov E. M. *Geotekhnologii razvedki i razrabotki neftyanykh mestorozhdenij. Izbrannye trudy (1958–2000 gg.)* (Geotechnologies of exploration and development of oil fields. Selected Writings (1958–2000)). Moscow: IGIRGI, 2001, 656 p.



32. Halimov E. M. *Koncepciya differencirovannoj stavki naloga na dobychu poleznyh iskopaemyh. Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij* (The concept of a differentiated tax rate for the extraction of minerals. Geology, geophysics and development of oil and gas fields). 2004, No. 11, pp. 44–50.
33. Hlyupin P. A., Haziieva R. T., Vahedi A. *Razrabotka novyh elektrotekhnologicheskikh sistem i kompleksov v dobyche trudnoizvlekaemyh zapasov nefti. Nauchnye trudy NIPI Neftegaz GNKAR* (Development of new electrotechnological systems and complexes in the extraction of hard-to-recover oil reserves. Scientific works of NIPI Neftegaz SOCAR). 2021, No. S, pp. 125–137.
34. Yudin S. S., Cherepovitsyn A. E. *Konceptual'nye podhody obespecheniya ustojchivosti promyshlennyh neftegazovyh sistem Arktiki* (Conceptual approaches to ensuring the sustainability of industrial oil and gas systems in the Arctic). Russian Economic Internet Journal, 2021, No. 4. URL: <http://www.e-rej.ru/upload/iblock/e2b/e2b5ed53638f66f692ec364b69af5a5b.pdf> (data of access: 18.03.2022)
35. Yakuceni S. P. *Rasprostranennost uglevodorodnogo syrya, obogashchennogo tyazhelymi elementami-primesyami. Ocenka ekologicheskikh riskov* (Prevalence of hydrocarbon raw materials enriched with heavy impurity elements. Assessment of environmental risks). St. Petersburg: Nedra, 2005, 372 p.
36. Yashchenko I. G. *Glubokozalegayushchie trudnoizvlekaemye nefti — zakonomernosti razmeshcheniya i fiziko-himicheskie svoystva* (Deep-seated hard-to-recover oils — location patterns and physical and chemical properties). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2014, No. 11(239), pp. 3–6.
37. Yashchenko I. G., Polishchuk Yu. M. *Trudnoizvlekaemye nefti: fiziko-himicheskie svoystva i zakonomernosti razmeshcheniya* (Hard-to-recover oils: Physico-chemical features and location laws). Ed. A. A. Novikov. Tomsk: V-Spektr, 2014, 154 p.
38. Arctic potential: realizing the promise of u.s. Arctic oil and gas resources. National petroleum council, 2019, 106 p. Url: <https://www.npcarcticreport.org/> (date of access: 18.03.2022).
39. Arctic potential: realizing the promise of US Arctic oil and gas resources. Committee on Arctic Research Rex W. Tillerson, Chair. National Petroleum Council, 2015, 87 p. URL: https://www.npcarcticreport.org/pdf/AR-Executive_Summary-Final.pdf (date of access: 18.03.2022).
40. Harsem O., Eide A., Heen K. Factors influencing future oil and gas prospects in the Arctic. Energy Policy, 2011, V. 39, No. 12. pp. 8037–8045. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.058>.
41. Kaminskii V. D., Suprunenko O. I., Suslova V. V. The continental shelf of the Russian Arctic region: the state of the art in the study and exploration of oil and gas resources. Russian Geology and Geophysics, 2011, V. 52, No. 8, pp. 760–767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.07.001>.
42. Kaminsky V. D., Suprunenko O. I., Smirnov A. N. Mineral Resources of the Russian Arctic Continental Margin and Prospects for Their Development. The Arctic: ecology and economy. 2014, No. 3 (15), pp. 52–61.
43. Kontorovich A. E., Epov M. I., Burshtein L. M., Kaminskii V. D., Kurchikov A. R., Malyshev N. A., Prischepa O. M., Safronov A. F., Stupakova A. V., Suprunenko O. I. Geology and hydrocarbon resources of the continental shelf in Russian Arctic seas and the prospects of their development, Russian Geology and Geophysics, 2010, V. 51, No. 1, pp. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2009.12.003>.
44. Laverov N. P., Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlensky I. V. Fundamental aspects of the rational development of oil and gas resources of the Arctic and Russian shelf: strategy, prospects and challenges. The Arctic: ecology and economy, 2016, No. 2 (22), pp. 4–13.
45. Lukyanov E. E., Trenin Yu. A., Derevyagin A. A. Reliability of Geological and Geophysical Information for Oil Reserves Evaluation. Electronic scientific journal "Oil and Gas Business", 2008, No. 1. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Lukyanov/Lukyanov_1.pdf (дата обращения: 26.02.2022).
46. Piskarev A. L., Shkatov M. Yu. Potential Oil-and-Gas Presence in the Sedimentary Basins of the Arctic Seas of Russia as Compared with the Largest Developed Basins of the World Ocean. Developments in Petroleum Science, 2012, V. 58, pp. 197–276. DOI: 10.1016/B978-0-444-53784-3.00004-X.
47. Polichtchouk Yu. M., Yaschenko I. G. Statistical Analysis of Regional Variation in the Chemical Composition of Eurasian Crude Oils. Petroleum Chemistry, 2001, V. 41, No. 4, pp. 247–251. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00110-9](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00110-9).
48. Polichtchouk Yu. M., Yashchenko I. G. Possible Correlations between Crude Oil Chemical Composition and Reservoir Age. Journal of Petroleum Geology, 2006, V. 29, No. 2, pp. 189–194. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2006.00189.x>.
49. Prischepa O. M., Nefedov Y. V., Ibatullin A. K. Raw material source of hydrocarbons of the arctic zone of Russia. Periodico Tche Quimica, 2020, No. 17(36), pp. 506–526. DOI: 10.52571/PTQ.v17.n36.2020.521_Periodico36_pgs_506_526.pdf.
50. Prischepa, O. M., Nefedov, Y. V., Kochneva, O. E. Raw material base of hard-to-extract oil reserves of Russia. Periodico Tche Quimica, 2020, No. 17(34), pp. 915–924.
51. Sidortsov R. A perfect moment during imperfect times: Arctic energy research in a low-carbon era. Energy Research & Social Science, 2016, V. 16, pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.03.023>.

Received / Поступила в редакцию 30.05.2022