

Трудноизвлекаемые нефти: физико-химические свойства и экологические последствия их добычи

И.Г. Яценко

к.г. м.н., зав. лаб.¹
sric@ipc.tsc.ru

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия

Объемы добычи и потребления нефти как наиболее технологичного и экологичного вида топливного сырья, неуклонно возрастают. Расширяются и области его промышленного использования, особенно в таких отраслях, как транспорт, полимерная нефтегазовая химия, металлургия и пр. Одновременно с ростом добычи нефти истощается наиболее качественная часть ее ресурсов. Включаются в разработку трудноизвлекаемые запасы, которые увеличивают экологические последствия при их добычи. В статье определены критерии отнесения нефтей к трудноизвлекаемым. С использованием базы данных по физико-химическим свойствам нефти проведен анализ пространственного распределения трудноизвлекаемых нефтей основных нефтегазоносных бассейнов мира, выявлены особенности физико-химических свойств, как нефтей с аномальными свойствами, так и нефтей в сложных условиях залегания (большая глубина, аномальные пластовые температуры, неблагоприятные коллекторы).

Материалы и методы

База данных ИХН СО РАН по физико-химическим свойствам нефти общим объемом информации 22180 описаний образцов нефти мира, методы геостатистического и пространственного анализа.

Ключевые слова

трудноизвлекаемые нефти, тяжелые нефти, вязкие нефти, сернистые нефти, смолистые нефти, парафинистые нефти, нефтегазоносный бассейн, физико-химические свойства нефтей, сероводород, пластовая температура, глубина, коллекторы, экологические последствия

Введение

Как известно, более половины всех топливно-энергетических потребностей мира обеспечиваются нефтью и газом. Одновременно с ростом добычи нефти в мире прирост ее запасов уже длительное время не компенсируется, истощается наиболее качественная часть ее ресурсов, в частности наиболее легкие, маловязкие, малосернистые нефти. Включаются в разработку трудноизвлекаемые запасы с высокой плотностью, вязкостью, сернистостью и смолистостью. Это резко меняет не только технологические параметры нефтяного сырья с неблагоприятными свойствами, но и увеличивает экологические издержки при его освоении и усиливает негативное влияние на окружающую среду. Своевременное изучение физико-химических свойств трудноизвлекаемых нефтей (ТИН) может предотвратить или хотя бы уменьшить эту нагрузку на окружающую среду, позволит своевременного принять защитные меры ещё на стадии выбора технологий добычи, транспортировки и переработки такого нефтяного сырья.

К трудноизвлекаемым относятся запасы нефтей, заключенные в геологически сложнопостроенных пластах и залежах или представленные малоподвижной нефтью (например, с высокой вязкостью, плотностью и высоким содержанием твердых парафинов). Они характеризуются сравнительно низкими дебитами скважин, обусловленными низкой продуктивностью пластов, неблагоприятными условиями залегания нефти

(газонефтяные залежи, глубина более 4500 м и др.) или аномальными физико-химическими свойствами (рис. 1) [1–6].

Основу анализа свойств ТИН составила выборка от 50 до 5000 образцов ТИН из базы данных (БД) по физико-химическим свойствам нефти Института химии нефти СО РАН, которая в настоящее время включает описания 22180 образцов нефти. Более подробно данная информация представлена в таб. 1.

Физико-химические свойства аномальных трудноизвлекаемых нефтей

Известно, что тяжелые и вязкие нефти обогащены тяжелыми элементами-примесями, многие из которых имеют ярко выраженные токсические свойства. Это резко меняет не только технологические параметры углеводородного сырья, но и увеличивает экологические издержки при его освоении. Установлено, что тяжелые нефти наиболее обогащены металлокомплексами, особенно ванадием и никелем. По экспертной оценке мировые потенциальные ресурсы ванадия в тяжелой нефти и битумах составляют примерно 125 млн. т., а извлекаемые попутно с нефтью — около 20 млн. т [7–11]. Сейчас ванадий и никель теряются при сжигании нефтепродуктов, нанося большой ущерб окружающей среде. Причем, по мере исчерпания запасов легкой нефти и перехода на массовую разработку тяжелой нефти с высоким содержанием ванадия, никеля и других токсических элементов, объемы металлокомплексов попутно извлекаемых

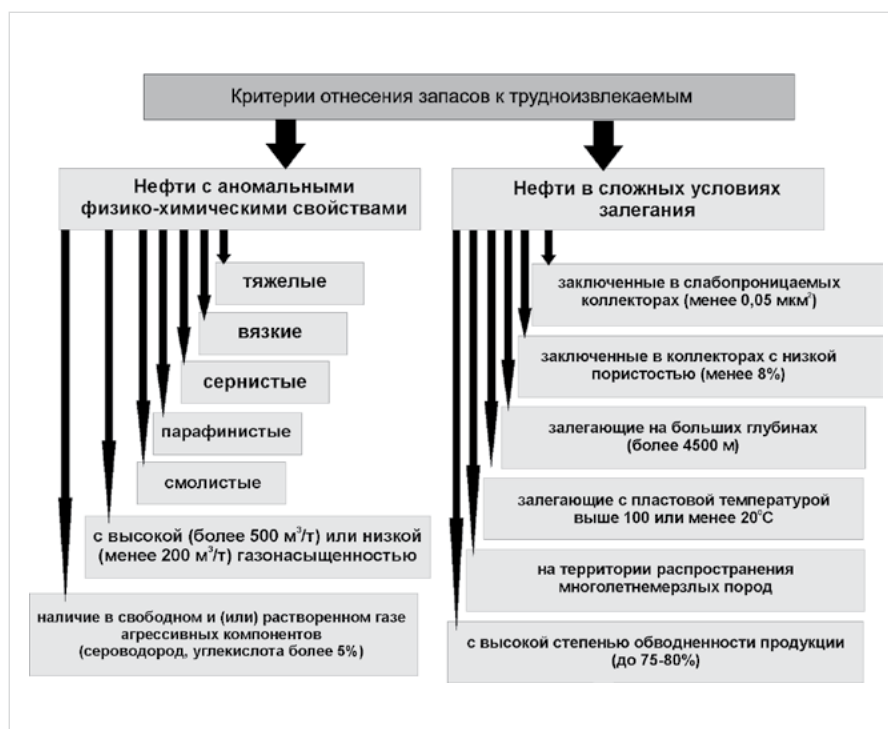


Рис. 1 — Основные критерии отнесения нефти к трудноизвлекаемой

с нефтью будут неизбежно возрастать и без соответствующих мер по их очистке для защиты окружающей среды осваивать их будет недопустимо.

Высокое содержание серы в нефти влияет как на технологию её освоения, транспорта, переработки и утилизации, так и на степень неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Все это вынуждает технологов исследовать содержание серы в нефтях более детально. Высокое содержание смол в нефтях также является причиной технологических осложнений как при добыче и транспортировке нефти, так и в процессах их переработки, а

именно, способствует образованию кокса в процессе нефтепереработки, что приводит к закоксовыванию поверхности катализаторов, вызывая большой экономический ущерб при нефтепереработке.

Известно, что в объеме добытой в России в 2006 г. нефти более 70% составили нефти с высоким содержанием парафинов. Постоянное увеличение в общем объеме добываемой нефти доли парафинистых нефтей ставит перед нефтяниками ряд сложных технических проблем. Повышенное содержание парафинов приводит к образованию устойчивых трудноразрушаемых

твердых фракций парафина, ухудшающих не только качество подготовки товарной нефти, но и степень очистки сточных вод, закачиваемых в пласт. Отложения парафинов в призабойной зоне пласта и на поверхности нефтепромыслового оборудования является одним из серьезных осложнений при эксплуатации скважин и трубопроводного транспорта. Парафиновые отложения снижают фильтрационные характеристики пласта, закупоривают поры, уменьшают полезное сечение насосно-компрессорных труб и, как следствие, значительно осложняют добычу и транспортировку нефти, увеличивают расход электроэнергии при механизированном способе добычи, приводят к повышенному износу оборудования, что несет угрозу возникновения экологических последствий нефтеразливов.

Физико-химические свойства тяжелых, вязких, сернистых, парафинистых и смолистых нефтей представлены в таб. 2, из которой видно, что такие нефти относятся к вязким (особенно сернистые нефти), высокосмолистым и среднепарафинистым (за исключением парафинистых нефтей, которые являются высокопарафинистыми и мало-сернистыми), с низким содержанием фракций и газовым фактором. Газовый фактор аномальных нефтей изменяется от 22 до 104 м³/т, что также является одним из критериев ТИН (рис. 1). Пластовые температуры залежей изменяются от 34 до 72°C.

Как уже отмечалось на рис. 1, к трудноизвлекаемым нефтям относятся нефти с газовым фактором ниже 200 м³/т и выше 500 м³/т. Рассмотрим физико-химические свойства нефти с низким газосодержанием. Выборка таких нефтей составила 2668 образцов из 1090 месторождений 67 нефтегазоносных бассейнов (НГБ). Отличаются большим количеством месторождений с низкой газонасыщенностью Волго-Уральский НГБ (ВУНГБ) — 398 месторождений, Западно-Сибирский НГБ (ЗСНГБ) — 171 месторождение, в Афгано-Таджикском, Северо-Кавказском и Тимано-Печорском (ТПНГБ) таких месторождений от 25 до 56. Физико-химические свойства рассматриваемых нефтей представлены в таб. 3, из которой видно, что нефти относятся к нефтям со средней плотностью, высоковязким, сернистым, среднепарафинистым, среднесмолистым и малоасфальтеновым, со средним содержанием фракций.

Нефтей с высоким газосодержанием (более 500 м³/т) в БД оказалось не очень много — всего 51 образец из 39 месторождений 22 НГБ (таб. 1). Они распределены по континентам следующим образом: 1 — в Африке, 10 — в Америке и остальные 11 — в Евразии. Больше всего месторождений с высоким содержанием газа находится в США — 19 месторождений, в России — 7 месторождений (Розовское в ВУНГБ, Варьеганское, Лугинецкое, Западно-Лугинецкое и Вынгайинское в ЗСНГБ и два месторождения Гудермесское и Хаян-Корттовское в Северо-Кавказском НГБ), Казахстане — 3 месторождения (Жанажол, Тенгиз и Новобогатинское). В таб. 3 показано, что такие нефти относятся к легким, маловязким, малосернистым, умеренно парафинистым, малосмолистым и малоасфальтеновым, с высоким содержанием фракций.

Наличие в нефти химически агрессивного сернистого газа концентрацией более 5% также осложняет добычу нефти, несет

Трудноизвлекаемые нефти		Объем выборки из БД	Количество нефтегазоносных бассейнов	Количество месторождений
Нефти с аномальными свойствами	Тяжелая (плотность более 0,88 г/см ³)	5104	119	1725
	Вязкая (вязкость более 35 мм ² /с при 20°C)	2510	63	892
	Сернистая (содержание серы более 3%)	865	40	358
	Смолистая (содержание смол более 13%)	2030	52	702
	Парафинистая (содержание парафинов более 6%)	2327	58	807
	С высокой газонасыщенностью (более 500 м ³ /т)	51	22	39
	С низкой газонасыщенностью (менее 200 м ³ /т)	2668	67	1090
	С высоким содержанием сероводорода (более 5%)	81	20	57
Нефти в сложных условиях залегания	В слабопроницаемых коллекторах (менее 0,05 мдм ²)	479	33	345
	В коллекторах с низкой пористостью (менее 8%)	96	12	63
	Большие глубины залегания (более 4500 км)	407	25	206
	Пластовая температура выше 100°C	839	47	438
	Пластовая температура ниже 20°C	316	35	169

Таб. 1 — Количественная характеристика описаний трудноизвлекаемых нефтей в БД

Физико-химические показатели	тяжелая	вязкая	сернистая	парафинистая	смолистая
Плотность, г/см ³	0,9203	0,9144	0,9320	0,8494	0,8497
Вязкость при 20°C, мм ² /с	1866,12	2168,17	3361,37	99,38	38,76
Содержание серы, %	1,98	1,91	4,15	0,55	2,08
Содержание парафинов, %	3,91	4,21	3,89	12,98	4,73
Содержание смол, %	17,55	16,43	23,57	7,78	21,76
Содержание асфальтенов, %	5,15	4,70	8,40	1,89	5,62
Фракция н.к. 200°C, %	12,35	12,84	13,74	20,63	15,42
Фракция н.к. 300°C, %	28,46	29,01	28,66	40,42	30,81
Газосодержание в нефти, м ³ /т	38,16	25,56	22,36	104,47	43,32
Термобарические условия залегания					
Температура пласта, °C	42,68	35,94	34,33	71,59	41,08
Пластовое давление, МПа	15,68	14,28	14,53	24,54	16,56

Таб. 2 — Физико-химические свойства тяжелой, вязкой, сернистой, парафинистой и смолистой нефти

коррозийную нагрузку на оборудование, увеличивая тем самым экологическую опасность нефтедобычи, требуя применения специального оборудования при бурении скважин и добыче нефти. Сероводородной коррозии подвергаются как открытые поверхности металлов, так и находящиеся под слоем золотых отложений. Для сероводородной коррозии характерно образование язв на поверхности металла, растрескиваний, а также увеличение хрупкости металлов под действием выделяющегося водорода. Сероводородная коррозия влияет на внутренние поверхности нефтепроводов, как в тонком пленочном слое, адсорбированном на поверхности труб, так и в объеме электролита, образующегося в нижней части трубопровода из скапливающейся воды. Довольно сильной сероводородной коррозии подвергаются днище и нижний пояс резервуаров, соприкасающиеся с отделяемой от нефти водой. В газовой фазе интенсивность сероводородной коррозии резервуара весьма велика, поэтому крыша и верхние внутренние части корпуса корродируют особенно сильно.

При совместной транспортировке нефти с высоким содержанием сернистого газа и воды в виде водонефтяной эмульсии термодинамические нарушения транспортной среды могут приводить к выделению сернистого газа из нефти и обогащению им попутных вод. В связи с этим возникает острая необходимость организации глубокой дегазации и деэмульсации нефти и глубокой очистки сточных вод с отводом газа в систему газосбора, а сточных вод — в систему технического водоснабжения, снизив интенсивность коррозионных процессов подземного и наземного нефтепромышленного оборудования и создав благоприятные условия для предотвращения экологических рисков [7, 12].

В БД образцов нефти с высоким содержанием сероводорода оказалось 81 из 57 месторождений 20 НГБ (таб. 1). Больше всего этих месторождений находится в России (24), Канаде (6), Казахстане и США (по 5 месторождений). Физико-химические свойства таких нефтей представлены в таб. 4, из которой видно, что они относятся к нефтям средней плотности и повышенной вязкости, сернистым, среднепарафинистым, среднеасфальтовыми и умеренно смолистыми, с низкой газонасыщенностью.

Физико-химические свойства трудноизвлекаемой нефти в сложных условиях залегания

В перечень основных критериев выделения трудноизвлекаемых запасов нефтей входит аномальная пластовая температура — выше 100°C либо ниже 20°C [1, 3]. Знание значения пластовой температуры важно для экологической оценки свойств нефтей. Их поведение в приповерхностных условиях, т.е. в условиях температур, как правило, ниже 40–45°C, остается сравнительно благоприятным — нефти мало растворимы, а следовательно, и мало миграционно-подвижны. Но если, к примеру, добыча высоковязких нефтей сопровождается применением парогенераторов, или методов подземного горения, экологическая ситуация резко меняется. Их растворимость в нарастающем ряду от метановых

к нафтеновым и ароматике увеличивается, причем в 2–3 раза. К примеру, малорастворимые в воде при нормальных условиях бензол, толуол, бенз (а)-пирены, многие смоло-асфальтеновые фракции становятся растворимыми. Они выносятся с горячими водами из зоны добычи, загрязняя тем самым водоносные горизонты. Это же свойство нефтей растворяться в «горячих» пластовых водах (более 100°C) особенно с минерализацией менее 100 г/л следует учитывать и при сбросе нефтяных пластовых вод, попадающих на поверхность при добыче нефти с больших глубин, обычно более 4000 м в бассейнах с высоким тепловым потоком [7].

В БД выделено 839 образцов нефти из 438 месторождений 47 НГБ, залегающих в пластах с «горячими» пластовыми водами (более 100°C) (таб. 1). Больше всего залежей с высокой пластовой температурой на территории России находится в ЗСНГБ и Северо-Кавказском НГБ, недра которых характеризуются и самым высоким тепловым потоком [7, 13–16]. В этих бассейнах пластовая температура может

изменяться от 100 до 190°C, например, в месторождениях Гудермесское, Эльдаровское, Бойчаровское, Северо-Малгобское, Брагунское в Северо-Кавказском НГБ и Быстринское в ЗСНГБ. Высокотемпературные залежи месторождений (пластовая температура более 160°C) находятся в бассейнах Мексиканский залив и Западный Внутренний в Северной Америке, в Восточно-Австралийском НГБ в Австралии, в Евразии — Амударьинском, Венском, Западно-Сибирском, Паннонском, Северо-Кавказском и Центрально-Европейском НГБ. Из таб. 5 следует, что нефти в высокотемпературных пластах являются легкими, со средней вязкостью, малосернистыми, малосмолистыми и малоасфальтеновыми, но умеренно парафинистыми.

Аномально низкая пластовая температура (ниже 20°C) ведет к экологическим последствиям добычи нефти из-за низкой разницы между пластовой температурой и температурой застывания парафинов и смол в нефти. В БД образцов нефти, залегающих в пластах с низкой температурой, определено в количестве 316 из 169 месторождений 35 НГБ.

Физико-химические показатели	Нефти с низкой газонасыщенностью (менее 200 м³/т)		Нефти с высокой газонасыщенностью (более 500 м³/т)	
	Объем выборки	Среднее значение	Объем выборки	Среднее значение
Плотность, г/см³	2522	0,86	45	0,83
Вязкость при 20°C, мм²/с	1659	181,84	7	3,09
Содержание серы, %	1877	1,29	38	0,36
Содержание парафинов, %	1719	5,63	12	6,25
Содержание смол, %	1399	10,71	12	7,94
Содержание асфальтенов, %	1427	2,80	10	2,48
Фракция н.к. 200°C, %	214	24,66	3	35,10
Фракция н.к. 300°C, %	212	42,86	2	52,80
Газосодержание в нефти, м³/т	2667	62,85	50	707,07
Термобарические условия залегания				
Температура пласта, °C	2084	55,05	24	87,19
Пластовое давление, МПа	2130	19,75	21	27,17

Таб. 3 — Физико-химические свойства нефти с различной газонасыщенностью

Физико-химические показатели	Объем выборки	Среднее значение
Плотность, г/см³	23	0,87
Вязкость при 20°C, мм²/с	10	49,33
Содержание серы, %	19	2,18
Содержание парафинов, %	13	4,05
Содержание смол, %	12	14,56
Содержание асфальтенов, %	11	6,23
Фракция н.к. 200°C, %	2	24,90
Газосодержание в нефти, м³/т	15	109,97
Термобарические условия залегания		
Температура пласта, °C	27	74,75
Пластовое давление, МПа	31	31,50

Таб. 4 — Физико-химические свойства нефти с высоким содержанием сернистого газа в нефти (более 5 %)

Наибольшее число месторождений выявлено в ВУНГБ — 81, в Лено-Тунгусском бассейне — 10, по 7 месторождений в Западно-Канадском, Прикаспийском и ТПНГБ. Физико-химические свойства нефтей, залегающих в пластах с низкой температурой, представлены в таб. 5. В среднем эти нефти могут быть отнесены к нефтям с повышенной плотностью, сверхвязким, сернистым, среднепарафинистым, умеренно смолистым, среднеасфальтеновым и с низким газосодержанием в нефти.

Сравнение данных из таб. 5 показало, что свойства нефти сильно зависят от температурных условий залегания. Наилучшими качественными показателями обладают нефти в пластах с высокой пластовой температурой.

Глубокозалегающие нефти (более 4500 м) также относятся к трудноизвлекаемым нефтям (рис. 1). В БД таких нефтей оказалось

407 из 206 месторождений 25 НГБ. Наибольшее число НГБ с глубокозалегающими нефтями относится к Евразии (60%), 5 бассейнов в Северной Америке, 4 — в Южной Америке и бассейн Перт в Австралии. Установлено, что в Северо-Кавказском бассейне таких месторождений 35, в ЗСНГБ — 33, в Прикаспийском — 18, по 16 месторождений в бассейнах Мексиканского залива и Таримском. Самые большие глубины залегания (более 7000 м) характерны для следующих западно-сибирских месторождений — Гыданское, Ен-Яхинское и Мохтиковское, в Западно-Канадском НГБ — это Гилби, Медисин-Ривер, Кроссфилд, Вилесден-Грин и Ферриер, в Днепровско-Припятском НГБ — Шевченковское месторождение и для китайских месторождений Чутунг (Северо-Тайваньский НГБ) и Халахатанг (Таримский НГБ).

Физико-химические свойства приведены в таб. 6, где показано, что в среднем глубоко-

козалегающие нефти могут быть отнесены к легким, с повышенной вязкостью, средне-сернистым, среднепарафинистым, малосмолистым, малоасфальтеновым, с высоким содержанием фракции н.к. 200°C и средним содержанием фракции н.к. 300°C. Выявлено высокое газосодержание в этих нефтях. Как видно из таб. 6, в среднем пластовая температура в зоне добычи с больших глубин выше 120°C, что может нести угрозу возникновения экологических последствий добычи и освоения высокотемпературных нефтей, как было сказано выше.

Трудноизвлекаемыми нефтями в соответствии с рис. 1 считаются нефти, заключенные в неблагоприятных коллекторах, к которым относятся слабопроницаемые (проницаемость менее 0,05 мкм²) и низкопористые (пористость менее 8%) [1, 3].

Рассмотрим физико-химические свойства ТИН в слабопроницаемых коллекторах. В БД образцов нефти, залегающих в слабопроницаемых коллекторах, определено в количестве 479 из 345 месторождений 33 НГБ (таб. 1). В России низкая проницаемость неблагоприятных коллекторов является одним из основных геологических факторов, осложняющим эффективную добычу. Именно проблемы низкой проницаемости сдерживают освоения ряда месторождений Ханты-Мансийской впадины в Западной Сибири, а также продуктивного рифея Юрубчено-Тохомской зоны Лено-Тунгусского бассейна. Наибольшее число месторождений с неблагоприятными коллекторами выявлено в ВУНГБ — 118, в Пермском бассейне (Северная Америка) — 57, в ЗСНГБ — 27, в Северо-Кавказском — 26, ТПНГБ — 25, в Уиллистонском и Западно-Канадском (Северная Америка) — 13 и 12 месторождений соответственно. По нашим данным в России самые слабопроницаемые коллектора находятся в Тимано-Печорском (Ярегское, Джьерское, Западно-Тэбукское, Хосолтинское, Василковское, Кумжинское и др.), Северо-Кавказском (Джигинское), Западно-Сибирском (Заозерное и Ново-Аганское), Волго-Уральском (Мальшевское), Лено-Вилюйском (Средне-Вилюйское) и Прикаспийском (Астраханское) бассейнах. Физико-химические свойства нефтей, залегающих в коллекторах с низкой проницаемостью, представлены в таб. 7. В среднем эти нефти могут быть отнесены к нефтям со средней плотностью, сверхвязким, сернистым, среднепарафинистым, среднесмолистым, среднеасфальтеновым, с высоким содержанием фракции н.к. 200°C и средним содержанием фракции н.к. 300°C и с низким газосодержанием в нефти.

Рассмотрим физико-химические свойства ТИН в низкопористых коллекторах (пористость менее 8%). В БД находится 95 образцов из таких коллекторов 63 месторождений 12 бассейнов на территориях Венесуэлы, Италии, Канады, Китая, России и США. Наибольшее число месторождений с коллекторами низкой пористости выявлено в ВУНГБ — 21, в Западно-Канадском бассейне таких месторождений 16, в Пермском — 8, по 4 месторождения в Северо-Кавказском и Тимано-Печорском бассейнах. Очень низкой пористостью коллекторов отличаются месторождения ВУНГБ (Бузовьязовское,

Физико-химические показатели	Нефти с высокой пластовой температурой (более 100°C)		Нефти с низкой пластовой температурой (менее 20°C)	
	Объем выборки	Среднее значение	Объем выборки	Среднее значение
Плотность, г/см ³	432	0,8251	221	0,8855
Вязкость при 20°C, мм ² /с	155	12,03	165	12929,34
Содержание серы, %	237	0,36	137	1,46
Содержание парафинов, %	228	9,85	126	3,87
Содержание смол, %	214	5,36	112	14,52
Содержание асфальтенов, %	203	1,27	106	3,98
Фракция н.к. 200°C, %	75	29,41	24	18,75
Фракция н.к. 300°C, %	64	49,10	24	33,13
Газосодержание в нефти, м ³ /т	117	163,63	104	36,82
Термобарические условия залегания				
Температура пласта, °C	838	119,40	318	15,37
Пластовое давление, МПа	665	38,31	267	10,04

Таб. 5 — Физико-химические свойства нефти с различной пластовой температурой

Физико-химические показатели	Объем выборки	Среднее значение
Плотность, г/см ³	183	0,8363
Вязкость при 20°C, мм ² /с	78	70,84
Содержание серы, %	123	0,50
Содержание парафинов, %	80	7,49
Содержание смол, %	70	5,42
Содержание асфальтенов, %	74	1,69
Фракция н.к. 200°C, %	60	31,31
Фракция н.к. 300°C, %	41	48,21
Газосодержание в нефти, м ³ /т	14	301,75
Термобарические условия залегания		
Температура пласта, °C	84	120,33
Пластовое давление, МПа	85	68,30

Таб. 6 — Физико-химические свойства нефти с большой глубиной залегания (более 4500 м)

Нагорное, Ерсубайкинское), Северо-Кавказского (Благовещенское, Джигинское, Ключевское), ЗСНГБ (Мыльджинское и Средне-Итурское) и Западно-Канадского (Джофре) бассейнов. Физико-химические свойства нефтей, залегающих в коллекторах с низкой пористостью, представлены в таб. 7. В среднем эти нефти могут быть отнесены к нефтям со средней плотностью, сверхвязким, сернистым, среднепарафинистым, среднесмолистым, среднеасфальтеновым, с высоким содержанием фракции н.к. 200°C и средним содержанием фракции н.к. 300°C и с низким газосодержанием в нефти.

В заключение можно сказать, что в связи с сокращением запасов легкодоступных нефтей в мире наблюдается рост доли трудноизвлекаемых запасов в общем объеме добываемой нефти, что в свою очередь ведет к усилению их негативного влияния на окружающую среду при добычи, транспортировке и переработке.

Итоги

Проведен пространственный анализ размещения трудноизвлекаемых нефтей мира. Выявлены закономерности залегания этих нефтей и особенности их свойств. Проведен сравнительный анализ физико-химических свойств трудноизвлекаемых нефтей. Описаны экологические последствия добычи трудноизвлекаемых нефтей.

Выводы

В статье определены критерии отнесения нефтей к трудноизвлекаемым нефтям. С использованием базы данных по физико-химическим свойствам нефти проведен анализ пространственного распределения трудноизвлекаемых нефтей основных нефтегазоносных бассейнов мира, выявлены особенности физико-химических свойств, как нефтей с аномальными свойствами, так и нефтей в сложных условиях залегания (большая глубина, аномальные пластовые температуры, неблагоприятные коллекторы). Данные исследования могут использоваться для прогноза ареалов планетарного распространения месторождений с трудноизвлекаемыми нефтями в России и основных нефтегазоносных бассейнах мира и определения основ стратегии превентивной защиты окружающей среды при освоении трудноизвлекаемых нефтей. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых экологически безопасных и усовершенствовании существующих методов и технологий нефтедобычи, транспортировки нефтей с аномальными физико-химическими свойствами, а также при решении других задач нефтяной отрасли.

Список используемой литературы

- Пуртова И.П., Вариченко А.И., Шпуров И.В. Трудноизвлекаемые запасы нефти. Терминология. Проблемы и состояние освоения в России // Наука и ТЭК. 2011. № 6. С. 21–26.
- Ибраев В.И. Прогнозирование напряженного состояния коллекторов и флюидопоров нефтегазовых залежей в Западной Сибири. Тюмень: Тюменский дом печати, 2006. 208 с.

- Лисовский Н.Н., Халимов Э.М. О классификации трудноизвлекаемых запасов // Вестник ЦКР Роснедра. 2009. № 6. С. 33–35.
- Халимов Э.М. Геотехнологии разведки и разработки нефтяных месторождений. Избранные труды (1958–2000 гг.). М.: ИГиРГИ, 2001. 656 с.
- Халимов Э.М. Концепция дифференцированной ставки налога на добычу полезных ископаемых // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. № 11. С. 44–50.
- Лукиянов Э.Г., Тренин Ю.А., Деревягин А.А. Достоверность геолого-геофизической информации для оценки извлекаемых (рентабельных) запасов нефти // Нефтегазовое дело. 2008. № 1.
- Якуцени С.П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков. СПб.: Недра, 2005. 372 с.
- Яценко И.Г. Тяжелые ванадиевоносные нефти России // Известия Томского политехнического университета. Науки о Земле. 2012. Т. 321. № 1. С. 105–111.
- Яценко И.Г. Ресурсы тяжелых нефтей мира и сравнительный анализ их физико-химических свойств // Экспозиция Нефть Газ. 2012. № 5 (23). С. 47–53.
- Яценко И.Г. О металлоносности тяжелой нефти России // Нефть Газ Новации. 2012. № 8. С. 11–16.
- Яценко И.Г. Токсоопасные тяжелые нефти России: региональные и качественные особенности // Экологический вестник России. 2013. № 6. С. 26–33.
- Курбанбаев М.И., Абитова А.Ж., Муллаев Б.Т. и др. Глубокая очистка сточных вод, закачиваемых в продуктивные пласты — непереносимое условие повышения их нефтеотдачи. Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов: Материалы IV Международного научного симпозиума, 18–19 сентября 2013, Москва. В 2 т. Т. 2. М.: Всероссийский нефтегазовый научно-исследовательский институт, 2013. С. 143–151.
- Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Изучение связи свойств нефтей с геотермическими характеристиками нефтеносных территорий // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2005. № 3. С. 26–34.
- Яценко И.Г. Взаимосвязь свойств вязких нефтей и уровня теплового потока на территориях Волго-Уральского, Западно-Сибирского и Тимано-Печорского бассейнов // Известия Томского политехнического университета. Науки о Земле. 2007. Т. 311. № 1. С. 73–76.
- Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Анализ статистической зависимости химического состава нефтей от уровня теплового потока на нефтеносных территориях России // Геология нефти и газа. 2007. № 4. С. 39–42.
- Яценко И.Г., Полищук Ю.М. Взаимосвязь свойств тяжелых нефтей и уровня теплового потока на территориях Волго-Уральского, Западно-Сибирского и Тимано-Печорского бассейнов // Известия Томского политехнического университета. Науки о Земле. 2008. Т. 313. № 1. С. 59–63.

Физико-химические показатели	Нефти, залегающих в коллекторах с низкой проницаемостью (менее 0,05 мкм ²)		Нефти, залегающих в коллекторах с низкой пористостью (менее 8%)	
	Объем выборки	Среднее значение	Объем выборки	Среднее значение
Плотность, г/см ³	443	0,8712	86	0,8603
Вязкость при 20°C, мм ² /с	404	1597,91	80	6590,91
Содержание серы, %	86	1,19	17	1,41
Содержание парафинов, %	79	4,41	13	3,21
Содержание смол, %	52	10,17	7	8,20
Содержание асфальтенов, %	40	3,54	7	1,96
Фракция н.к. 200°C, %	17	39,79	5	28,72
Фракция н.к. 300°C, %	11	48,92	5	51,76
Газосодержание в нефти, м ³ /т	78	47,84	17	107,43
Термобарические условия залегания				
Температура пласта, °C	258	52,93	60	67,62
Пластовое давление, МПа	117	18,25	43	18,67

Таб. 7 — Физико-химические свойства нефтей, залегающих в неблагоприятных коллекторах

Difficult-to-recover oils: physical and chemical properties and environmental impacts of production

UDC 553.982

Authors:

Irina G. Yashchenko — geology and mineralogy ph.d, head of the laboratory¹; src@ipc.tsc.ru

¹Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

Abstract

The volume of oil production and consumption as the most technologically advanced and environmentally friendly type of fuel materials has been steadily increasing. Expanded to the area and its industrial use, especially in industries such as transportation, oil and gas polymer chemistry, metallurgy, etc. Along with the growth of oil production is depleted most of its high-quality resources. Included in the development as reserves, which increase the environmental consequences of their prey. The paper defines the criteria for classifying oils to hard-to. Using a database of physical and chemical properties of oil analysis of the spatial distribution of hard-core petroleum gas basins of the world, the peculiarities of physical and chemical properties, such as oils with anomalous properties, and petroleum in the difficult conditions of occurrence (greater depth, the abnormal formation temperatures, adverse collectors).

Materials and methods

Database IPC SB RAS on physico-chemical properties of oil, information scope 22180 samples oils of the world, methods of geostatistical and spatial analysis

Results

Spatial analysis of the distribution of difficult-to-recover oils of the world held. Patterns of the occurrence of these oils and features of their properties. Comparative analysis of the physico-chemical properties of difficult-to-recover oils held. Describes the environmental effects of extraction of difficult-to-recover oils.

Conclusion

The paper defines the criteria of the oil to the difficult-to-recover oils. Using a database of physical and chemical properties of oil analysis of the spatial distribution of difficult-to-recover oils of oil-gas bearing basin the world, the peculiarities of physical and chemical properties, such as oils with

anomalous properties, and petroleum in the difficult conditions of occurrence (greater depth, the abnormal formation temperatures, adverse collectors). These studies can be used to predict the distribution of areas of planetary fields with difficult-to-recover oils in Russia and the major hydrocarbon basins of the world and determine the basic strategy of preventive protection of the environment during the development of difficult-to-recover oils. The results can be used to develop new environmentally friendly and improvement of existing methods and technologies of oil production and transportation of oil with abnormal physical and chemical properties, as well as to solve other problems of the oil industry.

Keywords

difficult-to-recover oils, heavy oils, viscosity oilshighly oils, sulphite oils, wax oils, oil-gas bearing basin, physical and chemical properties, hydrogen sulphide, reservoir temperature, depth, collectors, environmental impacts

References

- Purtova I.P., Varichenko A.I., Shpurov I.V. *Trudnoizvlekaemye zapasy nefiti. Terminologiya. Problemy i sostoyaniye osvoeniya v Rossii* [Difficult-to-recover oils. The problems and the state of development in Russia]. *Nauka i TEK*, 2011, issue 6, pp. 21–26.
- Ibraev V.I. *Prognozirovaniye napryazhennogo sostoyaniya kollektorov i flyuidoporov neftegazovykh zalezhey v Zapadnoy Sibiri* [Prediction of the stress state of collectors and fluid trap oil and gas deposits in Western Siberia]. Tyumen: Tyumen Printing House, 2006, 208.
- Lisowski N.N., Halimov E.M. *O klassifikatsii trudnoizvlekaemykh zapasov* [About the classification of difficult to recover oils]. *Vestnik TsKR Rosnedra*, 2009, issue 6, pp. 33–35.
- Halimov E.M. *Geotekhnologii razvedki i razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy. Izbrannyye trudy (1958–2000 gg.)* [Geotechnology exploration and development of oil fields. Selected works (1958–2000)]. Moscow: IGI RGI, 2001, 656 p.
- Halimov E.M. *Kontseptsiya differentsirovannoy stavki naloga na dobychu poleznykh iskopaemykh* [The concept of differentiated tax rates on mining]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2004, issue 11, pp. 44–50.
- Lukyanov E.G., Trenin Ju.A., Derevyagin A.A. *Dostovernost' geologo-geofizicheskoy informatsii dlya otsenki izvlekaemykh (rentabel'nykh) zapasov nefiti* [The accuracy of geological and geophysical data to estimate the recoverable (profitable) oil]. *Neftegazovoe delo*, 2008, issue 1.
- Yakutseni S.P. *Rasprostranennost' uglevodorodnogo syr'ya, obogashchennogo tyazhelymi elementami-primesyami. Otsenka ekologicheskikh riskov* [The prevalence of hydrocarbons, enriched in heavy impurities. Environmental risk assessment]. Saint Petersburg: Nedra, 2005, 372 p.
- Yashchenko I.G. *Tyazhelye vanadievonosnyye nefiti Rossii*. [Vanadium carrier heavy oil]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2012, Vol. 321, issue 1, pp. 105–111.
- Yashchenko I.G. *Resursy tyazhelykh neftey mira i sravnitel'nyy analiz ikh fiziko-khimicheskikh svoystv* [Heavy oil resources of the world and a comparative analysis of their physical and chemical properties]. *Exposition Oil Gas*, 2012, issue 5 (23), pp. 47–53.
- Yashchenko I.G. *O metallonosnosti tyazhelyy nefiti Rossii* [About the heavy metal content of oil in Russia]. *Neft Gas Novatsii*, 2012, issue 8, pp. 11–16.
- Yashchenko I.G. *Toksoopasnyye tyazhelye nefiti Rossii: regional'nye i kachestvennyye osobennosti* [Russian current dangerous heavy oil: regional and qualitative features]. *Ekologicheskyy vestnik Rossii*, 2013, issue 6, pp. 26–33.
- Kurbanbaev M.I., Abitova A.G., Mullan B.T. and others. *Glubokaya ochistka stochnykh vod, zakachivaemykh v produktivnyye plasty — nepremennoe uslovie povysheniya ikh nefteotdachi. Teoriya i praktika primeneniya metodov uvelicheniya nefteotdachi plastov: Materialy IV Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma, 18–19 sentyabrya 2013, Moskva. V 2 t. T. 2*. [Deep cleaning of sewage pumped into reservoirs — a necessary condition for improving their recovery. Theory and practice of enhanced oil recovery methods: Proceedings of the IV International Scientific Symposium, 18–19 September 2013, Moscow. In 2 volumes. Vol. 2. Moscow: Russian Oil and Gas Research Institute, 2013, pp. 143–151.
- Polishchuk Y.M., Yashchenko I.G. *Izuchenie svyazi svoystv neftey s geotermicheskimi kharakteristikami neftenosnykh territoriy* [Studies of the relationship of oil properties with geothermal characteristics of oil-bearing areas]. *Bulletin of the NESC FEB RAS*, 2005, issue 3, pp. 26–34.
- Yashchenko I.G. *Vzaimosvyaz' svoystv vyazkikh neftey i urovnya teplovogo potoka na territoriyakh Volgo-Ural'skogo, Zapadno-Sibirskogo i Timano-Pechorskogo basseynov* [Relationship properties of viscous oil and the level of heat flow in the Volga-Urals, West Siberia and Timan-Pechora basin. Tomsk Polytechnic University]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2007, Vol. 311, issue 1, pp. 73–76.
- Polishchuk Y.M., Yashchenko I.G. *Analiz statisticheskoy zavisimosti khimicheskogo sostava neftey ot urovnya teplovogo potoka na neftenosnykh territoriyakh Rossii* [Statistical analysis of the dependence of the chemical composition of the oil on the level of heat flux on the oil-rich territories of Russia]. *Geologiya nefiti i gaza*, 2007, issue 4, pp. 39–42.
- Yashchenko I.G., Polishchuk Y.M. *Vzaimosvyaz' svoystv tyazhelykh neftey i urovnya teplovogo potoka na territoriyakh Volgo-Ural'skogo, Zapadno-Sibirskogo i Timano-Pechorskogo basseynov*. [The relationship of properties of heavy oil and the level of heat flow in the Volga-Urals, West Siberia and Timan-Pechora basin. Tomsk Polytechnic University]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2008, Vol. 313, issue 1, pp. 59–63.