

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ НЕФТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ГЛУБИННЫХ ПРОБ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ КЕРНА

Трофимова Е.Н., Губайдуллин Р.Р.,
Дякина А.В., Цесарж И.Л.
(ПАО «Сургутнефтегаз», «СургутНИПИнефть»)

ВВЕДЕНИЕ

В работе освещен метод изучения нефти поверхностных и глубинных проб в пористой среде керна. Данный метод аналогичен методу изучения нефтенасыщения в колонке керна, который включает изучение: а) физических свойств (окраска, люминесценция) нефтенасыщенных горных пород на фотоизображениях в дневном освещении (далее ДО) и ультрафиолетовом освещении (далее УФО); б) физико-химических особенностей углеводородной составляющей по результатам пиролитического анализа нефтенасыщенных пород.

Метод разработан и опробован в период с 13.11.2023 по 26.01.2024, впервые озвучен 06.02.2024 на 44 научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «СургутНИПИнефть» ПАО «Сургутнефтегаз».

Предложенный метод позволит: расширить область изучения нефтей поверхностных и глубинных проб; сформировать банк данных по люминесценции нефтей; найти закономерные связи между характером люминесценции нефтей и их аналитическими данными (хроматография, пиролиз). Банк данных люминесценции нефтей найдет применение при цифровизации нефтенасыщения в колонке керна. Корреляция свойств нефти из пробы и из керна даст возможность выделять участки эффективных коллекторов и участки трудноизвлекаемых запасов.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Идея изучения люминесценции нефти поверхностных и глубинных проб в пористой среде керна появилась более 20 лет назад в научно-производственном комплексе геологии «СургутНИПИнефть».

В 2001 году изучение ряда проб нефти (рисунок 1), нанесенных на поверхность водонасыщенного песчаника, показало относительную корреляцию между окраской, люминесценцией и физико-химическими свойствами нефти. Однозначная корреляция (таблица 1) наблюдалась только у нефтей с одного месторождения.

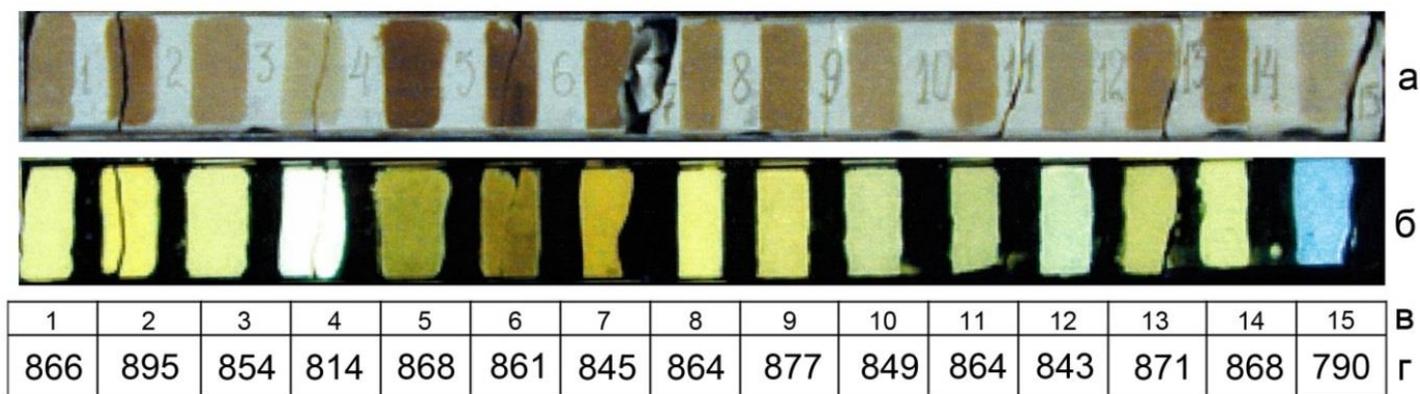


Рисунок 1. Физические свойства (окраска, люминесценция, плотность) проб нефти, нанесенных на поверхность керна (а - ДО, б - УФО, в - № пробы, г - плотность (кг/м³) нефти при температуре 20°C).

Таблица 1. Физико-химические свойства проб нефти

Месторождение, №	1	1	1
Отложения	Нижняя Юра	Верхняя Юра	Мел
Проба нефти, №	15	12	5
Фото пробы в ДО			
Фото пробы в УФО			
Тип нефти	Легкая	Средняя	Тяжелая
Плотность нефти при T 20 ⁰ С, кг/м ³	790,3	842,9	867,6
Кинематическая вязкость, мм ² /с (T 20 ⁰ С)	1,93	8,21	17,92
Молекулярная масса, г/моль	138,3	189,9	226,1
Массовое содержание асфальтенов, %	0,07	0,40	2,11
Массовое содержание смол силикагелевых, %	1,12	4,32	7,80
Объемное содержание светлых фракций до 300 ⁰ С, %	74,3	51,0	42,4

ТЕРМИНЫ

Важной стороной в описании любого метода является правильное использование терминов, особенно ключевых.

Поэтому, для смысловой однозначности, перед основной частью работы приведен ряд ключевых терминов (рисунок 2).

Образец - образец горной породы, полученный из колонки керна. В работе - образец песчаника.

Проба – часть флюида, полученного на скважине. В работе - проба нефти.

Пробо-образец – образец горной породы, насыщенной флюидом из поверхностной или глубинной пробы. В работе - пробо-образец нефти. Термин номинальный, введен для использования в данной работе.

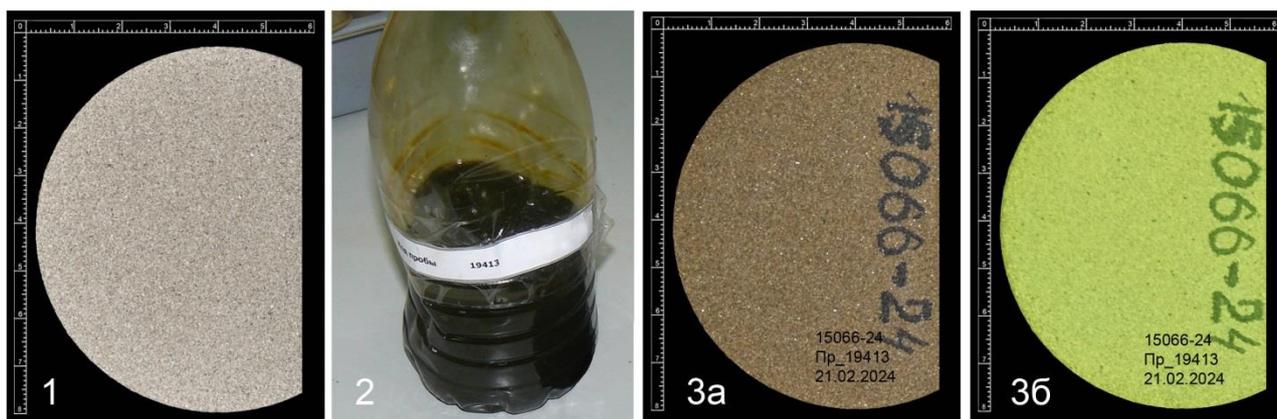


Рисунок 2. Изображения ключевых терминов: 1 – образец песчаника; 2 – проба нефти; 3 – пробо-образец нефти (а - ДО, б - УФО)

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ

Суть предлагаемого метода заключается в изучении нефти поверхностных и глубинных проб с помощью пробо-образцов.

Цель метода - корреляция (рисунок 3) свойств нефти со свойствами нефтенасыщенных горных пород.

При разработке метода использовались: а) нефти 24 проб из 15 скважин (рисунок 4) Западно-Сибирской территории деятельности ПАО «Сургутнефтегаз»; б) образцы, изготовленные из пористой среды керна.

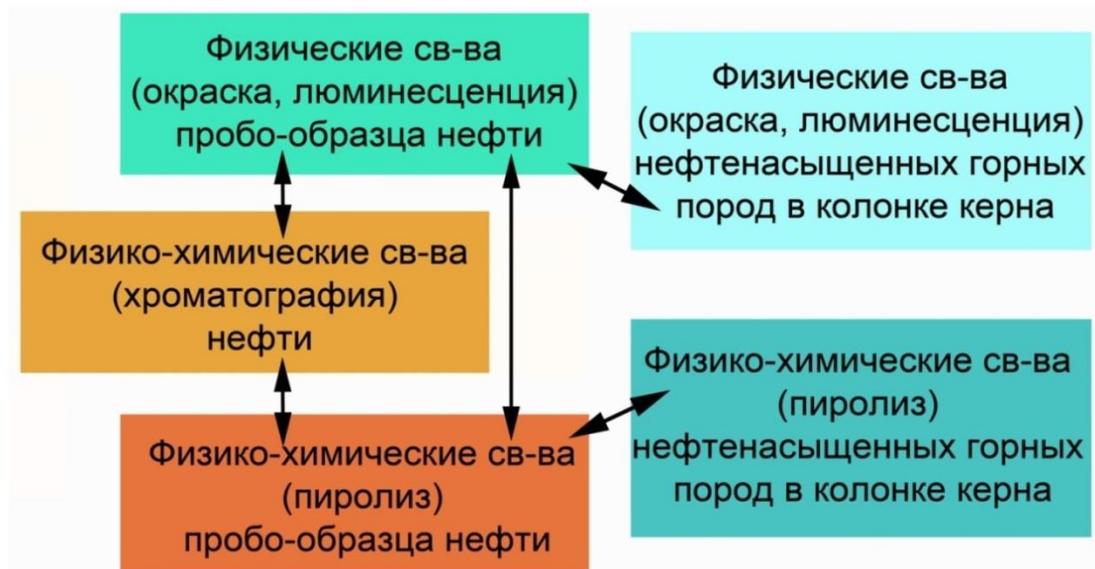


Рисунок 3. Схема корреляции между свойствами нефтей, свойствами пробо-образцов нефти и свойствами нефтенасыщенных горных пород

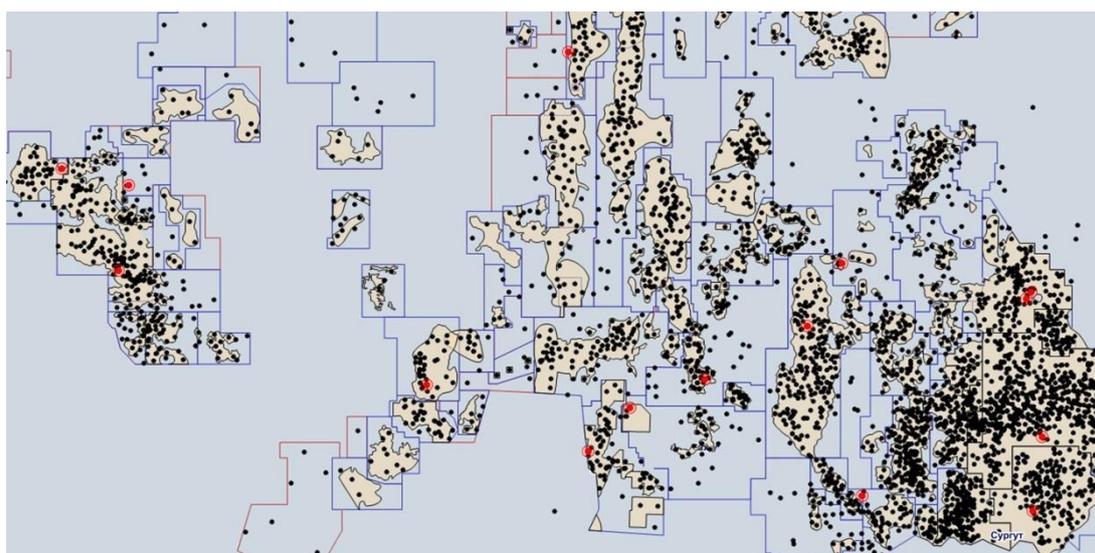


Рисунок 4. Фрагмент карты Западно-Сибирской территории деятельности ПАО «Сургутнефтегаз». Красным обозначены скважины, из которых были использованы пробы нефти

Процесс опробования метода условно можно разделить на 5 позиций.

1) Изготовление образца.

Для изготовления был выбран относительно однородный песчаник с проницаемостью 50-200 мД, который дополнительно характеризовался гидрофильностью и отсутствием люминесценции. Каждый образец является поперечным срезом распиленной колонки (D 8 см) керна. Толщина изготовленных образцов варьировала от 3 мм до 10 мм, вес - от 26 гр до 74 гр.

Выбранная форма образца дает: а) максимально возможную площадь, ограниченную ровными срезами, для качественного отображения характера люминесценции на фотоизображениях; б) минимально возможную толщину для равномерного насыщения даже из малого объема пробы нефти.

Для каждой пробы нефти было изготовлено по два образца для изучения изменения физических (окраска, люминесценция) и физико-химических (пиролиз) свойств нефти со временем.

2). Регистрация и маркировка образца.

Каждому пробо-образцу был присвоен лабораторный номер, так чтобы каждой пробе нефти соответствовали два пробо-образца с рядом стоящими номерами с нечетной и четной позицией.

После изготовления на спил каждого образца был нанесен тушью индивидуальный лабораторный номер, который хорошо виден на фотоизображениях пробо-образцов в ДО и в УФО (рисунок 5).

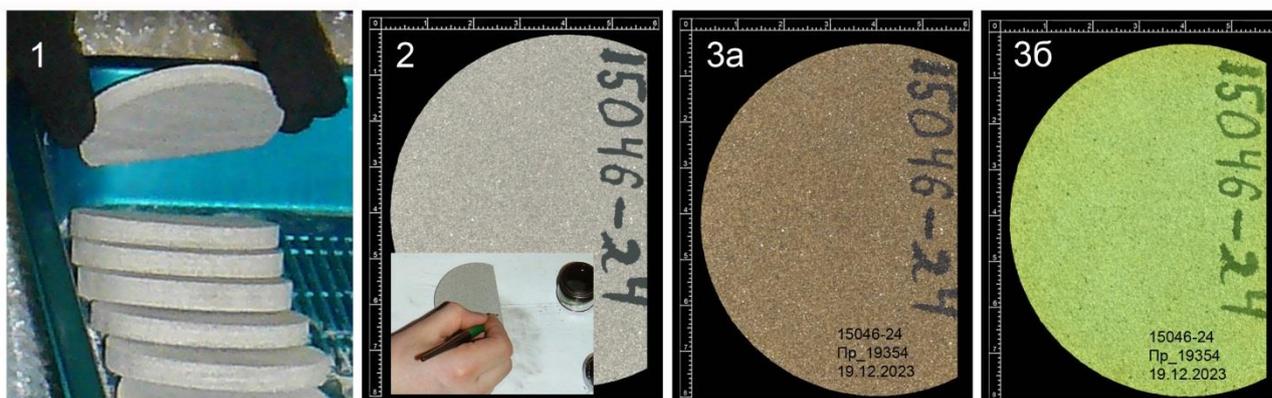


Рисунок 5. Маркировка образцов (1 – форма образца, 2 – лабораторный номер на поверхности образца, 3 - лабораторный номер на поверхности пробо-образца, а – в ДО, б – в УФО)

3). Насыщение образца нефтью.

Для насыщения образцы каждой пробы были помещены в пластиковую банку (D 90мм) с плотно закручивающейся крышкой. Каждая банка была промаркирована номером пробы и номерами образцов. В целях экономии и герметичности образцы в банку помещались в полиэтиленовых мешках.

Соединение образцов с флюидом проводилось в лабораторных условиях научно-исследовательской лаборатории физико-химических исследований пластовых флюидов. Процесс заключался в заливке образцов нефтью из бутылки пробы (рисунок 6). Время насыщения – 24 часа.



Рисунок 6. Процесс соединения образцов с пробой нефти

4). Фотографирование пробо-образца.

После насыщения все пробо-образцы фотографировались в ДО и УФО на рабочем месте фотографирования керна.

Оригиналы фотоизображений двух пробо-образцов имеют разрешение 300 пикс/дюйм и размер в формате TIF ~ 300 МБ. Размер конечного (после обрезки) изображения одного пробо-образца в формате TIF ~ 4 МБ.

5). Консервация пробо-образца для пиролиза.

Консервация – процесс изоляции пробо-образца от внешней среды до проведения пиролиза. При консервации каждый пробо-образец помещался в два полиэтиленовых пакета и обматывался скотчем (рисунок 7).



Рисунок 7. Процесс консервации пробо-образца нефти

По каждой пробе нефти один пробо-образец (с нечетным номером) был законсервирован сразу после фотографирования, второй (с четным номером) – после нахождения в атмосферных условиях в течение трех месяцев. Аналитическое подтверждение (посредством пиролиза) изменения физико-химических свойств нефти со временем было необходимо для обоснования консервации.

В опробовании применен самый доступный способ консервации. При производственном процессе при консервации можно применять парафинирование, вакууммирование, заморозку.

Выше описанный процесс был опробован для ситуации, когда после фотографирования нет возможности сразу проводить пиролиз. Например, когда пробо-образцы нефти из города Сургут, пиролизируются в городе Тюмень, а промежуток времени между насыщением образца и пиролизом составляет недели и месяцы. Результаты фотографирования пробо-образцов с четными номерами показали изменение люминесценции через 5 дней.

При наличии прибора, пиролиз нужно проводить сразу после фотографирования пробо-образца. Для консервации достаточно плотного полиэтиленового пакета. Пробо-образцы, как и пробы нефти должны храниться в темном и прохладном месте.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЫ

В результате проделанной работы получены:

1) индивидуальные фотоизображения (рисунок 8) в ДО и УФО пробо-образцов нефти (24 шт.), законсервированных для пиролиза после насыщения;

2) комплексные фотоизображения (8 шт.) в ДО и УФО пробо-образцов нефти, законсервированных для пиролиза 02.04.2024, после нахождения в атмосферных условиях. На рисунке 9 изображены только фотографии в первый и последний день съемки.

Все данные по пробам, образцам, пробо-образцам и керну (при его наличии) сведены в сводную таблицу. Все изображения пробо-образцов переданы специалистам научно-исследовательского отдела исследования пластовых флюидов для изучения физических (окраска, люминесценция) свойств нефтей.

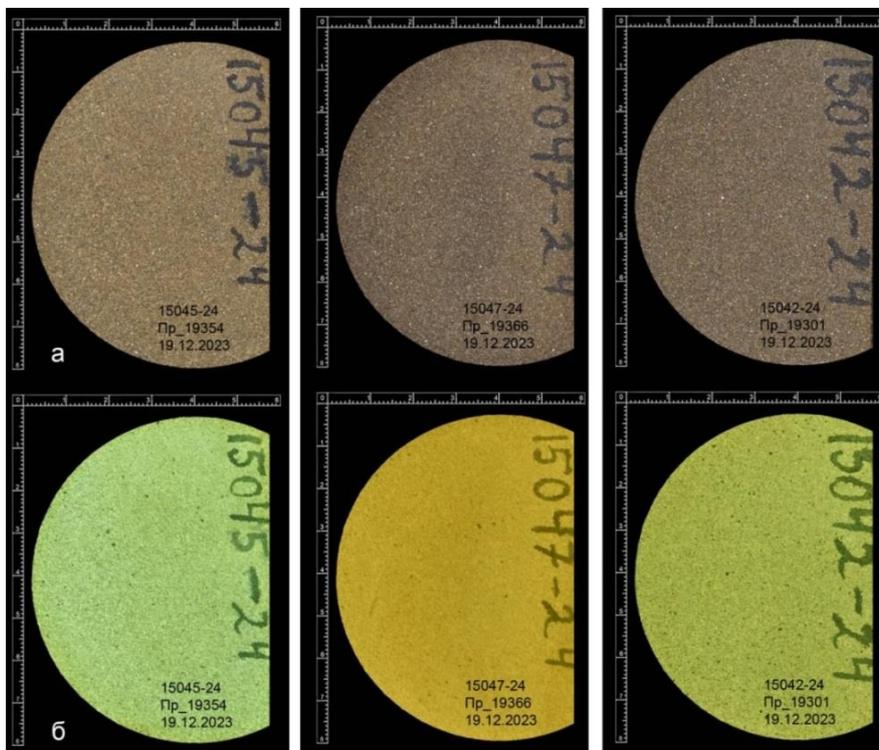


Рисунок 8. Физические свойства (окраска, люминесценция) пробо-образцов нефти на индивидуальных фотоизображениях (а - ДО, б - УФО)

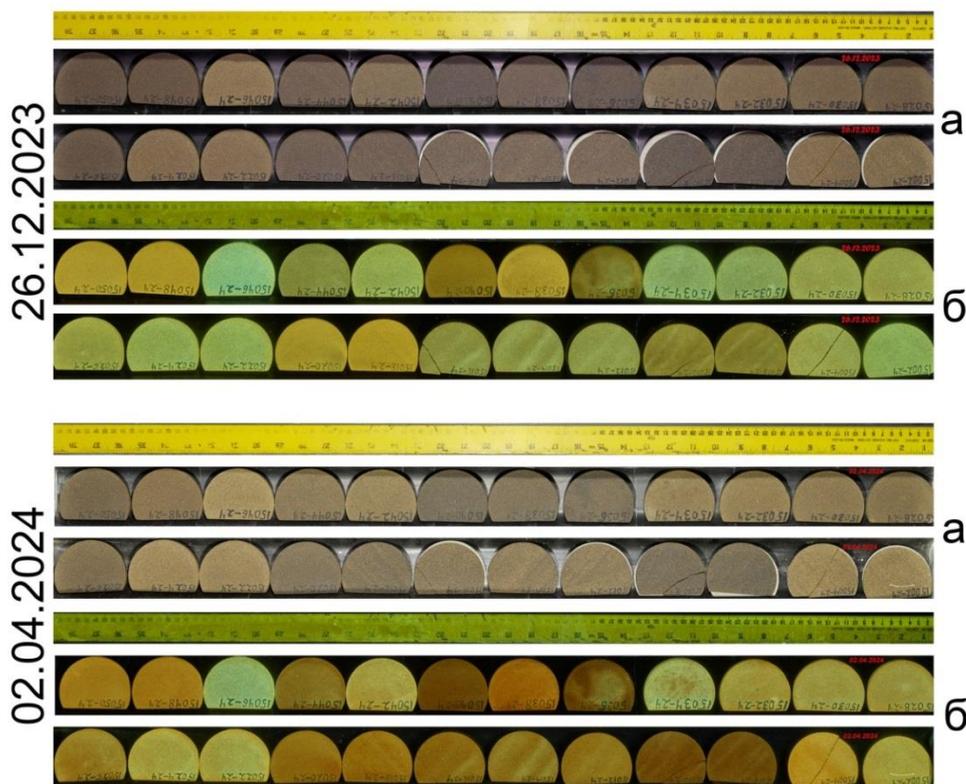


Рисунок 9. Физические свойства (окраска, люминесценция) пробо-образцов нефти на комплексных фотоизображениях (а - ДО, б - УФО)

Индивидуальные изображения пробо-образцов нефти выстроены по свечению в линию, которая по цвету люминесценции разделена на 3 ряда (рисунок 10). В сводной таблице (таблица 2) по каждому ряду приведены средние значения данных, которые не противоречат делению нефтей на 3 основных категории – легкие, средние и тяжелые. Две пробы, относящиеся к особо легкой и особо тяжелой категории, по люминесценции пробо-образцов в отдельные ряды не выделились.

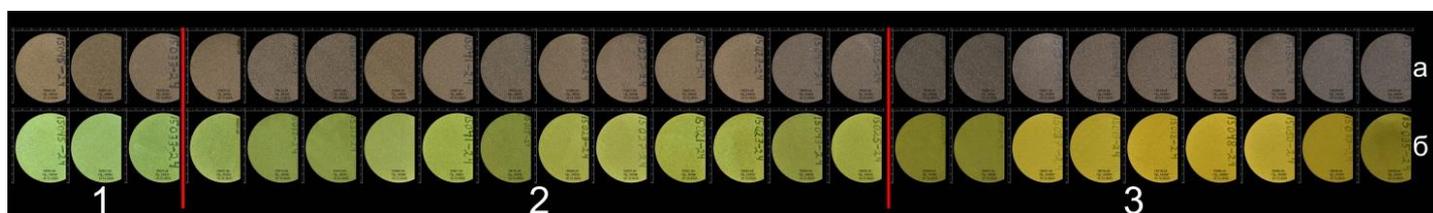


Рисунок 10. Физические свойства (окраска, люминесценция) всех пробо-образцов нефти на индивидуальных фотоизображениях (1-3 – номер ряда, а - ДО, б - УФО)

По итогам опробования метода прописаны основные позиции, влияющие на конечный результат: 1) для равномерного насыщения образца флюидом необходим однородный пористый материал (естественный, искусственный); 2) при насыщении образец должен быть чистым и сухим; 3) каждый образец должен насыщаться нефтью в индивидуальной герметичной емкости; 4) для качественного отображения поля люминесценции у фотографируемого образца должна быть ровная горизонтальная поверхность; 5) условия фотографирования и керна, пробо-образцов нефти должны быть идентичны; 6) при фотографировании и в ДО, и в УФО должна использоваться единая палетка цвета; 7) на неравномерность окраски и люминесценции пробо-образцов нефти влияют загрязнения и скрытая текстурно-структурная неоднородность; 8) на цветность люминесценции может влиять содержание воды в пробе нефти.

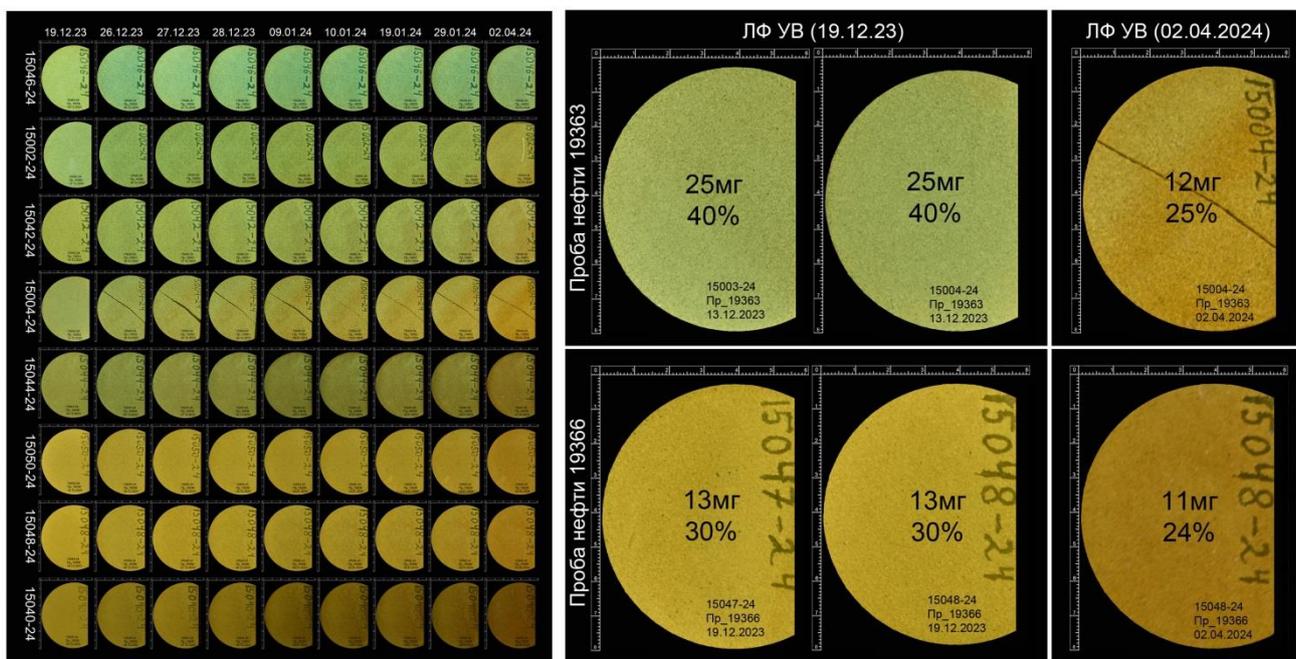
Таблица 2. Средние значения физико-химических свойств проб нефти

Ряд	Плотность нефти при температуре 20 °С, кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /с		Массовое содержание, %				Начало кипения, °С
		при температуре 20 °С	при температуре 50 °С	серы	асфальтенов	смола силикагелевых	парафинов	
1	837	6	3	0,4	0,4	4	3	49
	823,9-844,4	4,2-8,0	2,5-3,7	0,3-0,6	0,2-0,5	2,6-5,0	1,8-3,3	44,4-54,5
2	857	13	5	1,1	1,2	7	3	59
	839,1-877,8	5,3-20,3	2,7-7,5	0,3-2,3	0,5-1,9	4,9-9,3	1,8-5,5	41,0-91,8
3	886	41	13	1,7	2,7	10	3	61
	877,5-914,8	25,4-97,0	9,1-23,7	1,26-2,0	1,1-4,7	7,5-12,0	1,7-3,3	53,5-72,8

Анализ комплексных изображений пробо-образцов нефти в атмосферных условиях показал изменение люминесценции со временем и изменение состава нефти, подтвержденное данными пиролиза (рисунок 11). По результатам пиролиза четных и нечетных номеров потеря легких фракций УВ (до 180°С) варьирует от 18% до 50%.

Поэтому пробо-образцы нефти для пиролиза должны обязательно консервироваться, а изучение свойств посредством пиролиза необходимо проводить в кратчайшие сроки.

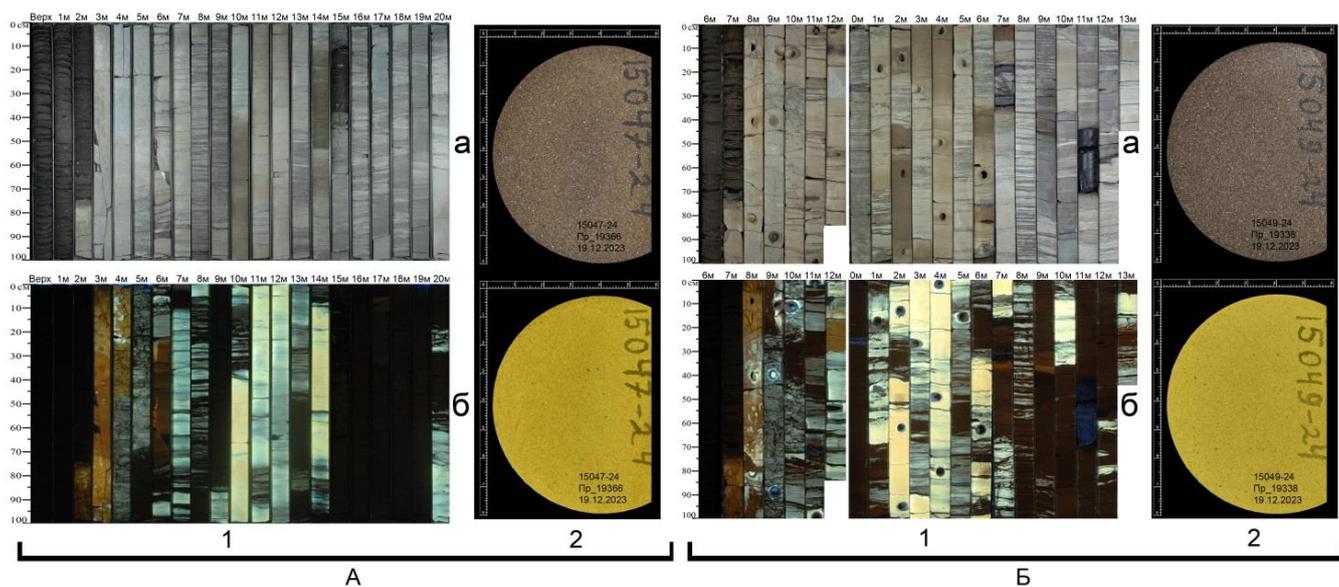
Сравнительный анализ характера люминесценции пробо-образцов нефти и люминесценции нефтенасыщения в колонке керна показал возможность выделения в недрах участков эффективных коллекторов и участков трудноизвлекаемых запасов (ТриЗ). Например, по характеру люминесценции (рисунок 12) пробо-образцов пластовой нефти из разных скважин одного месторождения можно предположить, что приток нефти получен из песчаников с бурой окраской и желтой люминесценцией. Все участки пласта с люминесценцией синего-голубого спектра относятся к ТриЗ.



А

Б

Рисунок 11. Характер изменения люминесценции со временем (А) и содержание (пиролиз) легких фракций (ЛФ) УВ (до 180С, мг УВ/г породы, % масс) в пробо-образцах нефти с четными и нечетными номерами.



А

Б

Рисунок 12. Фотоизображения керна (1) и пробо-образцов (2) пластовой нефти (а - ДО, б – УФО) на разных скважинах (А, Б) одного месторождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прделанная в краткие сроки работа показала состоятельность метода и результативность его применения. Количество проб, примененных при разработке и опробовании, достаточно только для апробации метода. Для изучения нефти данным методом необходим производственный процесс.

В позициях метода можно изменить форму и материал образца, способы насыщения, консервации и фотографирования. Неизменным останется суть метода – способ изучения нефти поверхностных и глубинных проб в пористой среде. Только данный способ дает возможность проводить корреляцию свойств нефти со свойствами нефтенасыщенных горных пород в колонке керна.