



«СургутНИПИнефть»
ПАО «Сургутнефтегаз»

Изучение свойств нефти на образцах керна

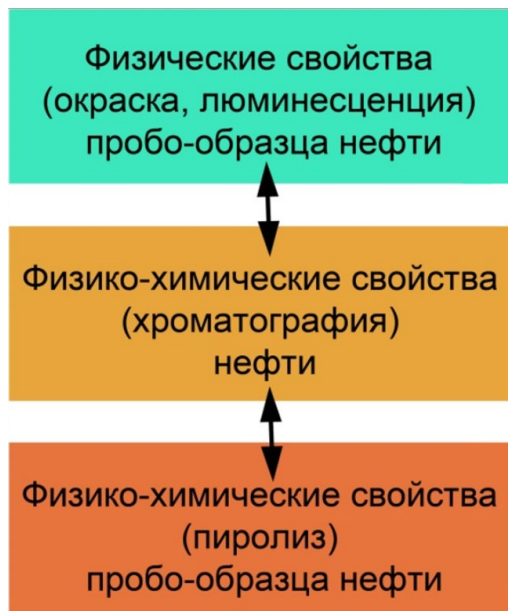
Е.Н. Трофимова, Р.Р. Губайдуллин,
А.В. Дякина, **К.Р. Мухтарова**, И.Л. Цесарж
«СургутНИПИнефть», ПАО «Сургутнефтегаз»



«СургутНИПИнефть» ПАО «Сургутнефтегаз»

ВВЕДЕНИЕ

В работе освещены результаты изучения нефти в пористой среде керна.
Для изучения применен метод, разработанный и опробованный в ПАО «Сургутнефтегаз»
в период 2023-2024 годов.



Цель изучения: корреляция свойств нефти со свойствами нефтенасыщенных горных пород в колонке керна.

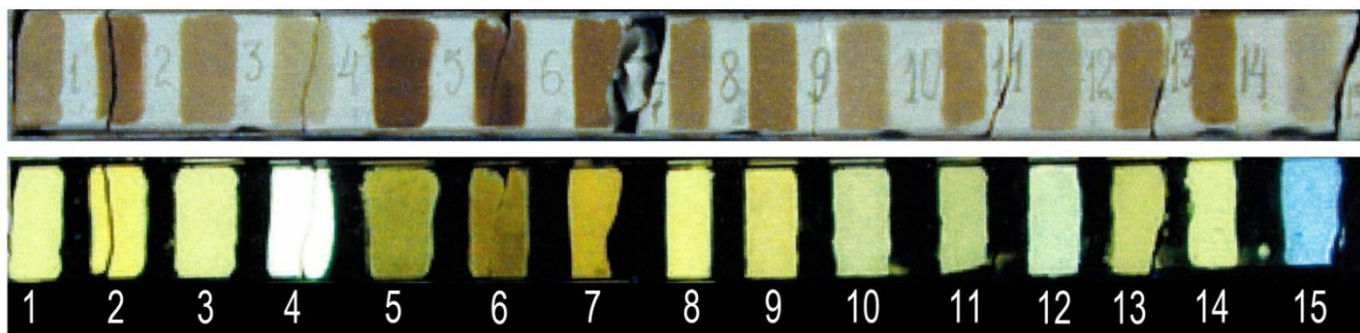
Рисунок 1. Схема корреляции между свойствами нефтей, свойствами пробо-образцов нефти и свойствами нефтенасыщенных горных пород



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, нанесенных на поверхность водонасыщенного песчаника, показало относительную корреляцию между окраской, люминесценцией и физико-химическими свойствами нефти. Однозначная корреляция наблюдалась только у нефтей (пробы 15, 12, 5) с одного месторождения.



Номер Пробы нефти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Плотность нефти при температуре 20 ⁰ С, кг/м ³	866,0	895,3	854,0	814,5	867,6	861,3	844,8	864,0	877,3	849,2	863,8	842,9	871,1	867,9	790,3

Рисунок 2. Характер окраски и люминесценции нефтей, нанесенных на поверхность керна. Изображение 2001 года

ТЕРМИНЫ

Для смысловой однозначности приведен ряд ключевых терминов.

- **Образец** - образец горной породы, полученный из колонки керна. В работе - **образец песчаника**. В английском тексте термин образец обозначен как S-samples (solid-samples).
- **Проба** – часть флюида, полученного из скважины. В работе - **проба нефти**. В английском тексте термин проба обозначен как L-samples (liquid-samples).
- **Пробо-образец** – образец горной породы, насыщенный флюидом. Термин введен для использования в данной работе. В английском тексте термин пробо-образец обозначен как L-S-samples (liquid-solid-samples).

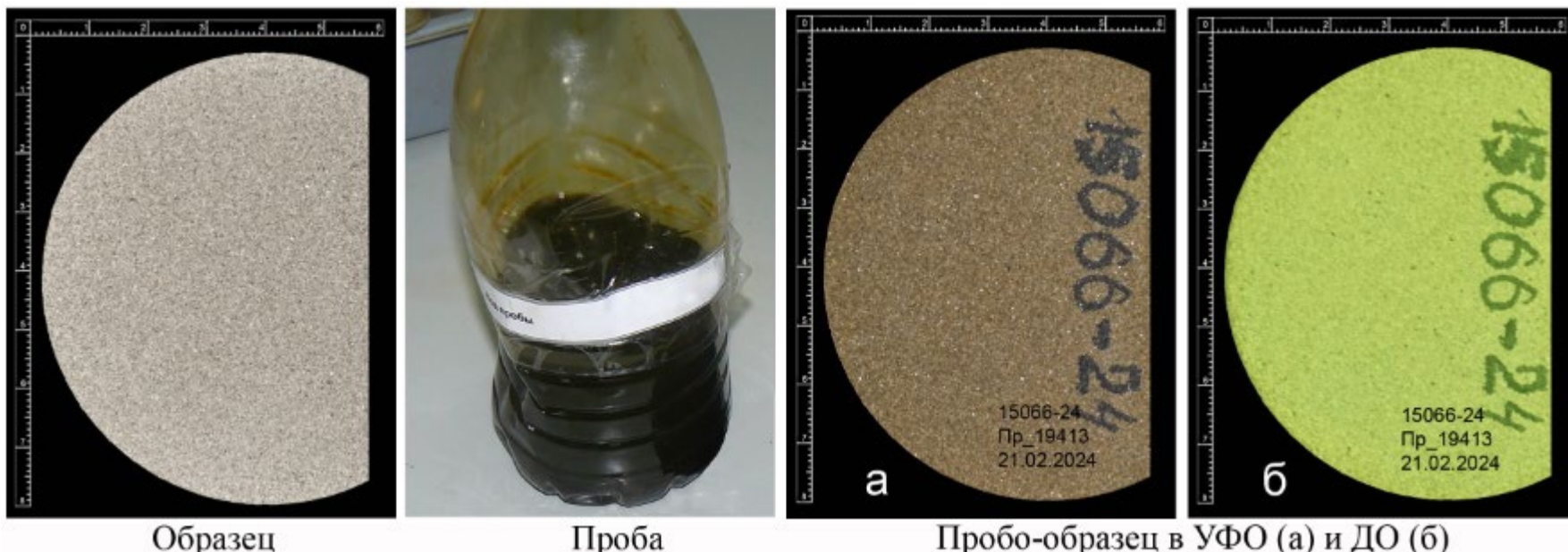


Рисунок 3. Изображения ключевых терминов (а - ДО, б - УФО)

ТЕРМИНЫ

■ **Нефтенасыщение** – наличие в породе углеводородов (УВ) нефтяного ряда, которое определяется по комплексу признаков – окраска, запах, гидрофобность, люминесценция в ультрафиолетовом освещении (УФО).

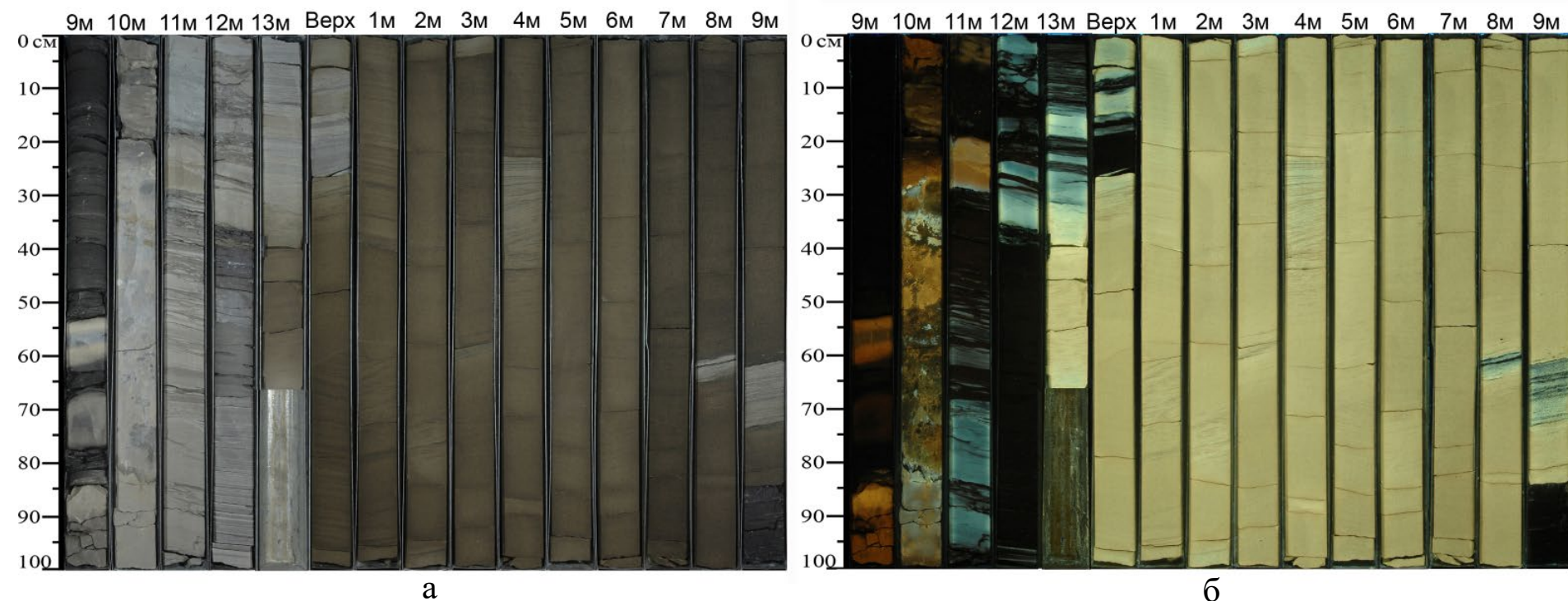


Рисунок 4. Характер нефтенасыщения горных пород в колонке керна Фотоизображения керна в ДО (а) и УФО (б)

ТЕРМИНЫ

На сегодняшний день **люминесценция** является основным признаком определения нефтенасыщения, но не уникальным.

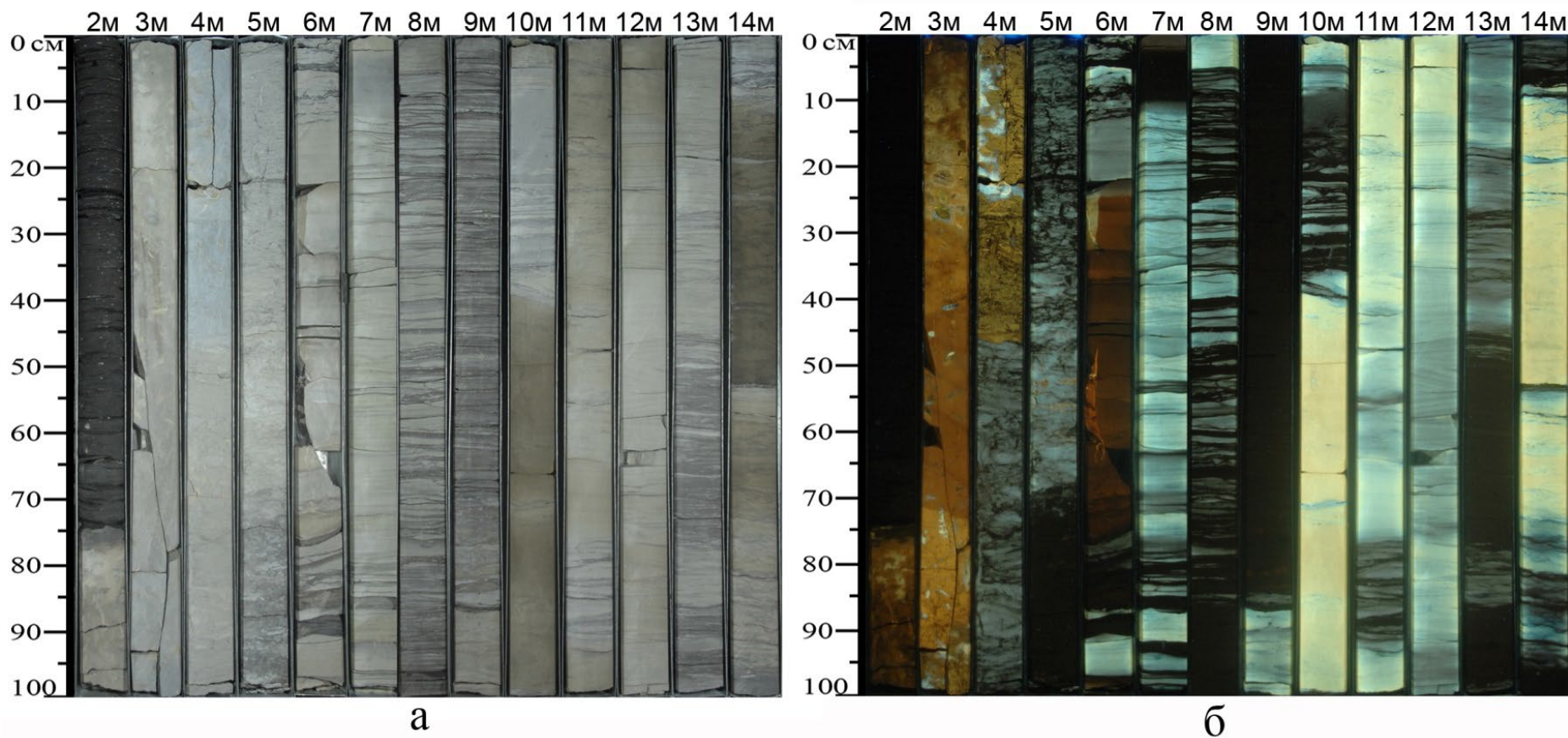


Рисунок 5. Характер нефтенасыщения горных пород в колонке керна. Фотоизображения керна в ДО (а) и УФО (б)

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ

При разработке и опробовании метода использовались: а) пробы нефти полученные из скважин месторождений Западной Сибири; б) образцы, изготовленные из пористой среды керна с проницаемостью от 50 до 200 мД (месторождения отмечены на карте для визуального восприятия исследованного объема).



Рисунок 6. Фрагмент карты Западно-Сибирской территории деятельности ПАО «Сургутнефтегаз». Красным обозначены скважины, из которых были использованы пробы нефти

Рисунок 7. Образцы песчаника с Кпр 50-200 мД

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ

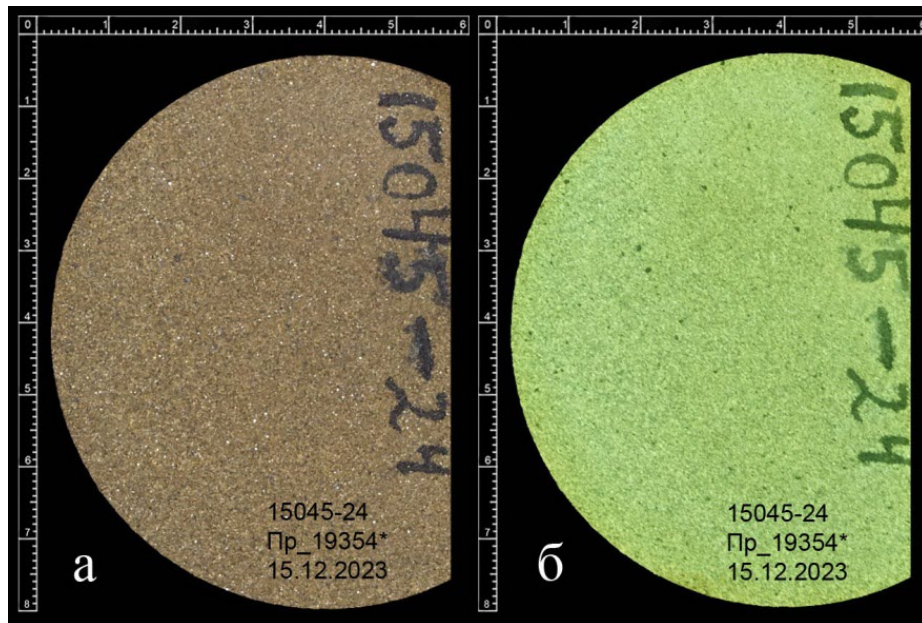


Рисунок 8. Пробо-образец (D 8см)

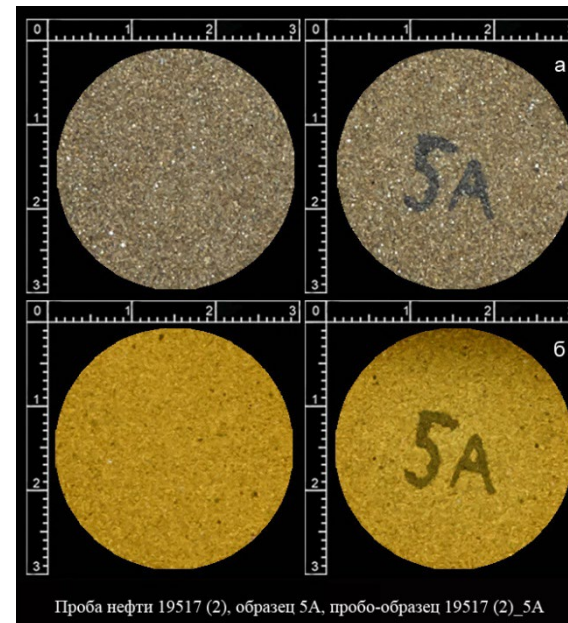


Рисунок 9. Пробо-образец (D 3см)

Лабораторный номер	Легкая фракция УВ до 180С, мг УВ/г породы	Легкая фракция УВ до 180С, % масс	Тяжелая фракция УВ, мг УВ/г породы	Тяжелая фракция УВ, % масс	Смолисто-асфальтеновые УВ NSO, мг УВ/г породы	Смолисто-асфальтеновые УВ NSO, % масс	Низкотемпературные карбонаты, % масс	Температура пиролиза тяжелой фракции, °С	Температура пиролиза смолисто-асфальтеновых, °С	Относительное содержание подвижных УВ	Общее содержание органического углерода, % масс	Смолисто-асфальтеновые (ОхУНСО), мг/г породы	Доля смолисто-асфальтеновых (ОхУНСО), % масс	Смолисто-асфальтеновые УВ, мг УВ/г породы	Водородный индекс, мг УВ/г С орг.	Кислородный индекс, мг СО ₂ /г С орг.	Количество СО ₂ , выделившегося в процессе пиролиза, мг СО ₂ /г породы
15045-24	24,18	50,16	19,71	40,88	4,32	8,96	0,09	239	405	0,95	4,02	2,05	4,25	2,27	1149	8,27	0,33

Рисунок 10. Данные пиролиза пробо-образца нефти

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ

Процесс опробования метода условно разделен на 5 главных этапов: 1) изготовление образца, 2) регистрация и маркировка образца; 3) насыщение образца нефтью – получение пробо-образца; 4) фотографирование пробо-образца в ДО и УФО; 5) консервация пробо-образца и пиролиз.

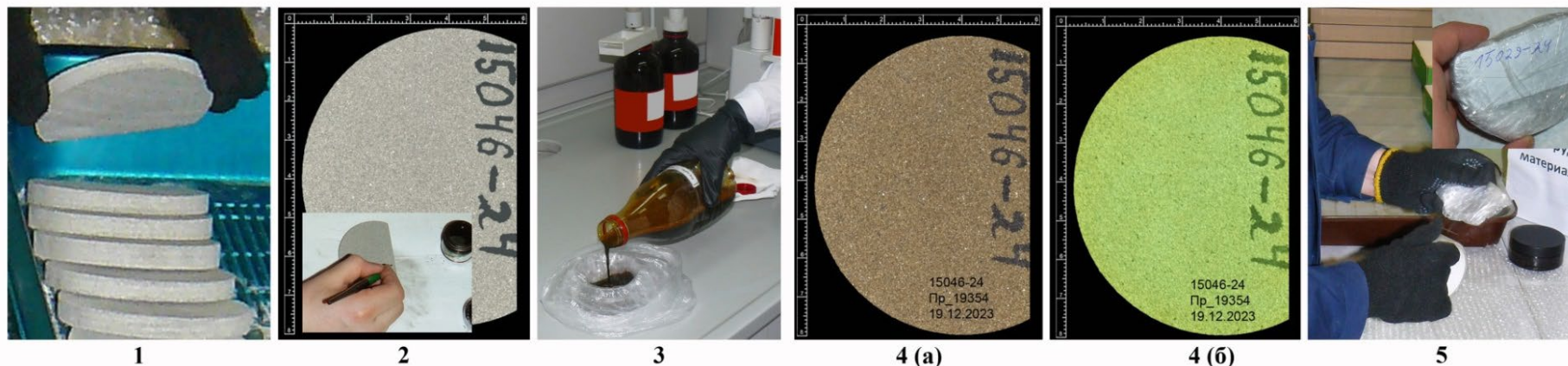


Рисунок 11. Главные позиции метода

Способ	Изготовление образца	Регистрация и маркировка образца	Помещение образца в емкость	Маркировка банки	Заливка образца нефтью	Маркировка банки	Насыщение образца (24 часа)	Электронная регистрация пробо-образца	Фотографирование пробо-образца	Консервация пробо-образца для пиролиза	Пиролиз пробо-образца
1	d 8 см, h 5-10 мм	лабораторный номер	герметичная банка d 90 мм	номер образца		номер пробы		номер пробы			
Способ	Изготовление образца	Регистрация и маркировка образца	Отбор пробы нефти в емкость	Маркировка банки	Помещение образца в банку с нефтью	Маркировка банки	Насыщение образца (24 часа)	Электронная регистрация пробо-образца	Фотографирование пробо-образца	Помещение образца в банку с нефтью	Пиролиз пробо-образца
2	d 3-5 см, h 20 -10 мм	технический номер	герметичная банка d 40-60 мм	номер пробы		номер образца		лабораторный номер			

Рисунок 12. Порядок позиций в разных методических способах

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ

Форма образца в подходах разная, но тем не менее дает: а) оптимальную площадь, ограниченную ровными срезами, для качественного отображения характера люминесценции на фотоизображениях; б) оптимально-минимальный объем для равномерного насыщения в таре с плотно закручивающейся крышкой.

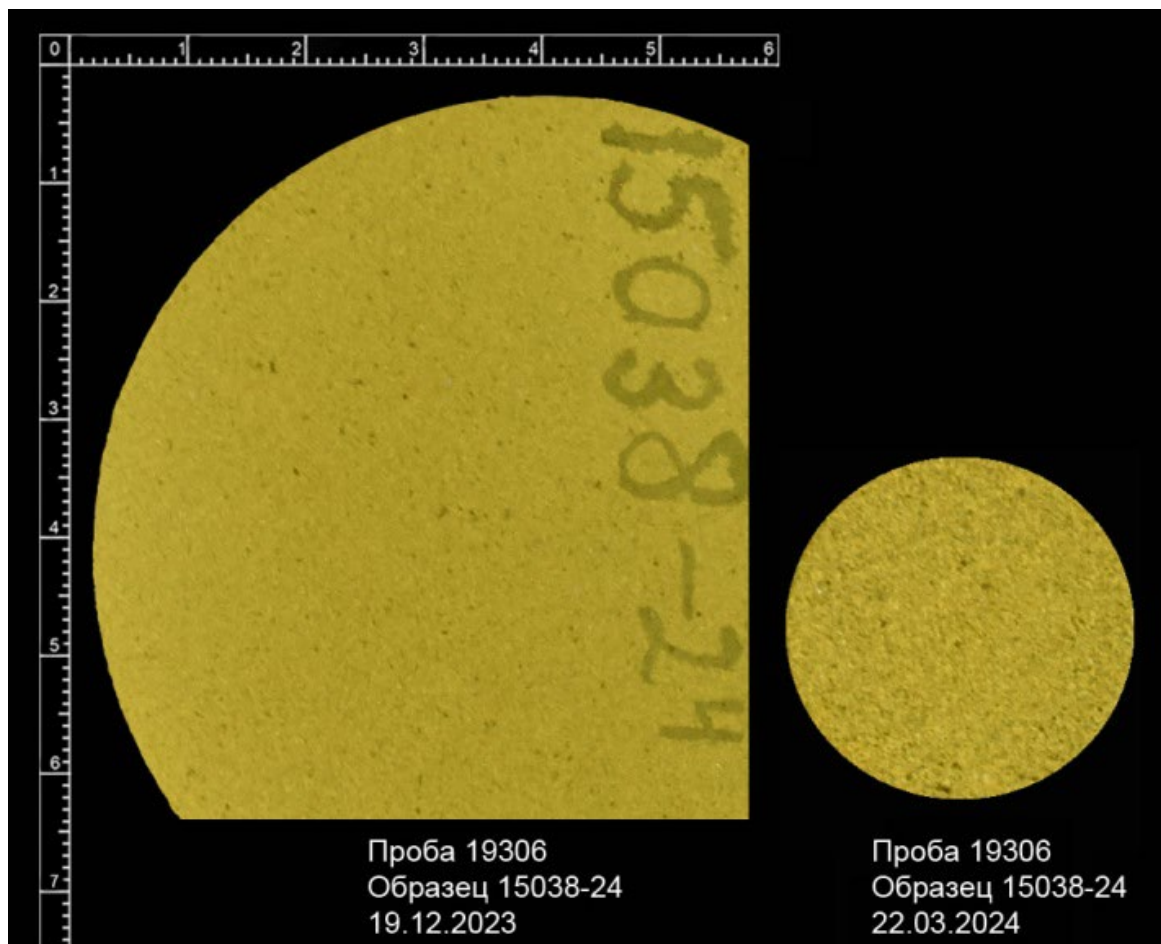


Рисунок 13. Изображения (в УФО) пробо-образцов в разных методических способах



Рисунок 14. Изготовление пробо-образцов нефтью

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

В результате проделанной работы получены:

- 1) индивидуальные фотоизображения пробо-образцов в ДО (а) и УФО (б);
- 2) комплексные фотоизображения пробо-образцов в ДО (а) и УФО;
- 3) экспериментальные фотоизображения пробо-образцов в ДО (а) и УФО.

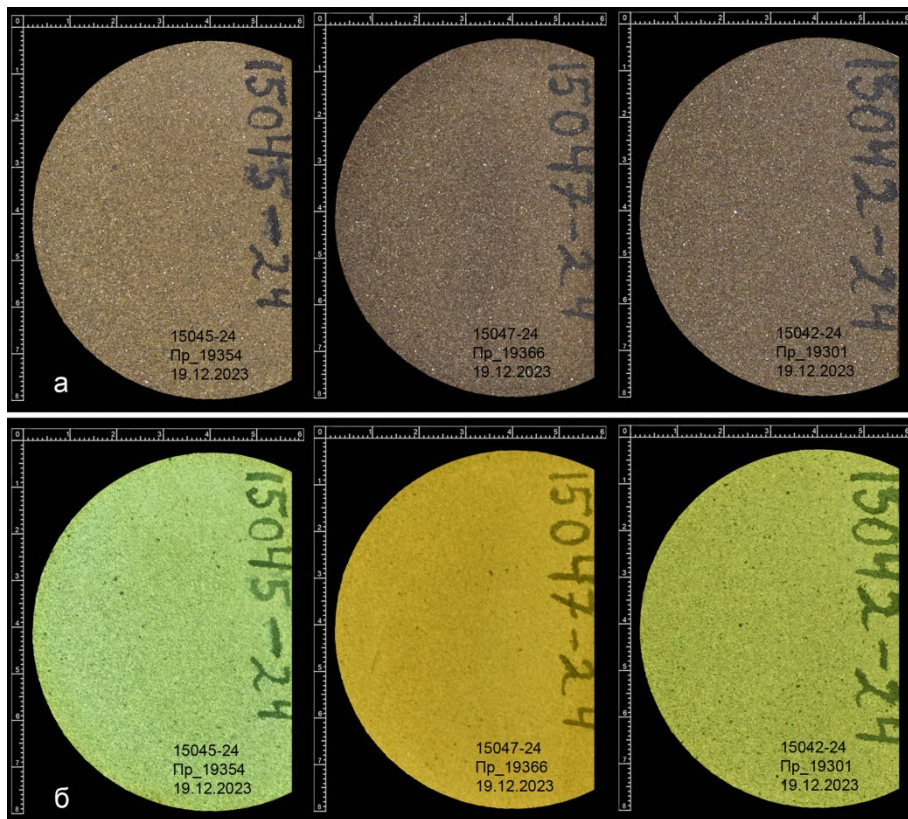


Рисунок 15. Индивидуальные изображения пробо-образцов в ДО и УФО

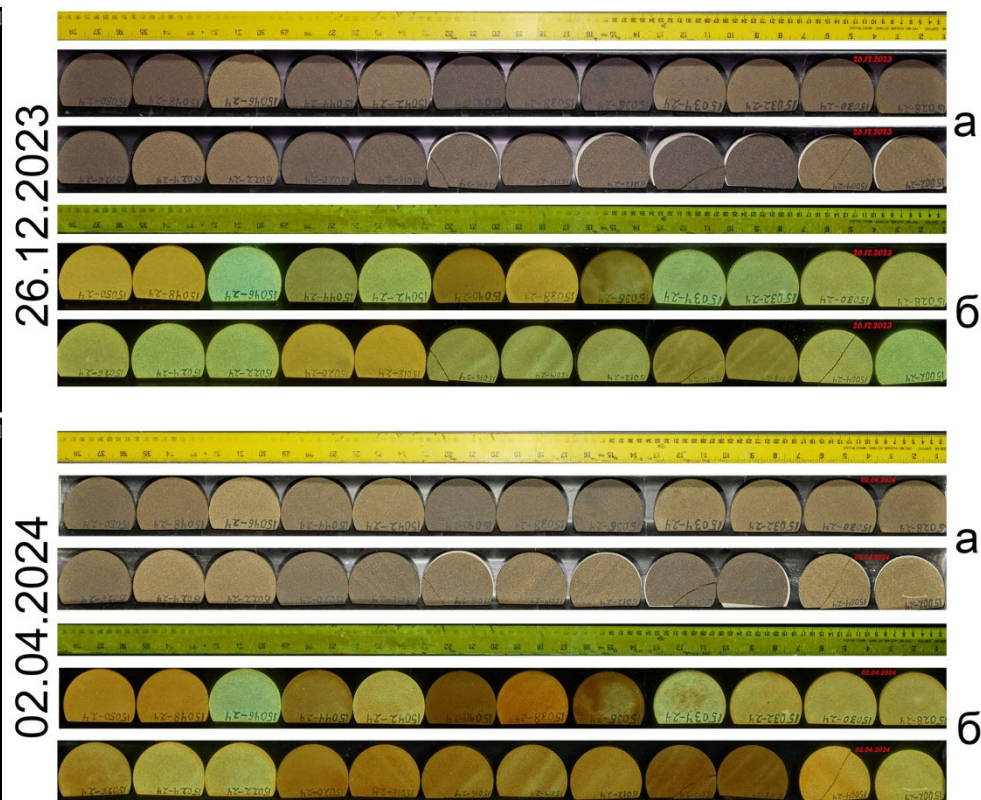


Рисунок 16. Комплексные изображения пробо-образцов в ДО и УФО.
Изменение окраски и цветности люминесценции в атмосферных условиях

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

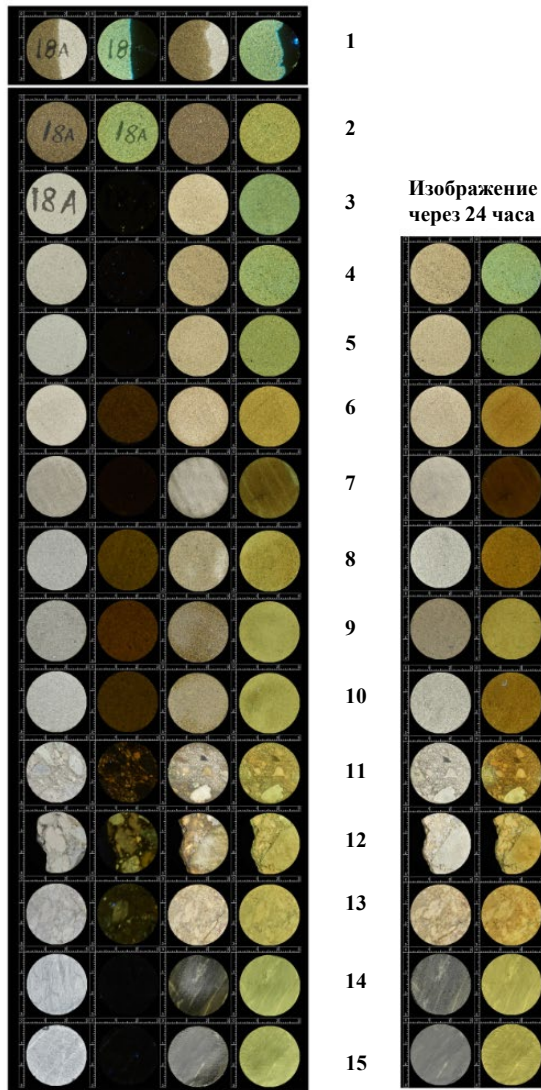


Рисунок 19. Экспериментальное изображение пробо-образца в ДО и УФФ. Характер люминесценции при полном и частичном насыщении, в образцах с разной литологией и ПФП

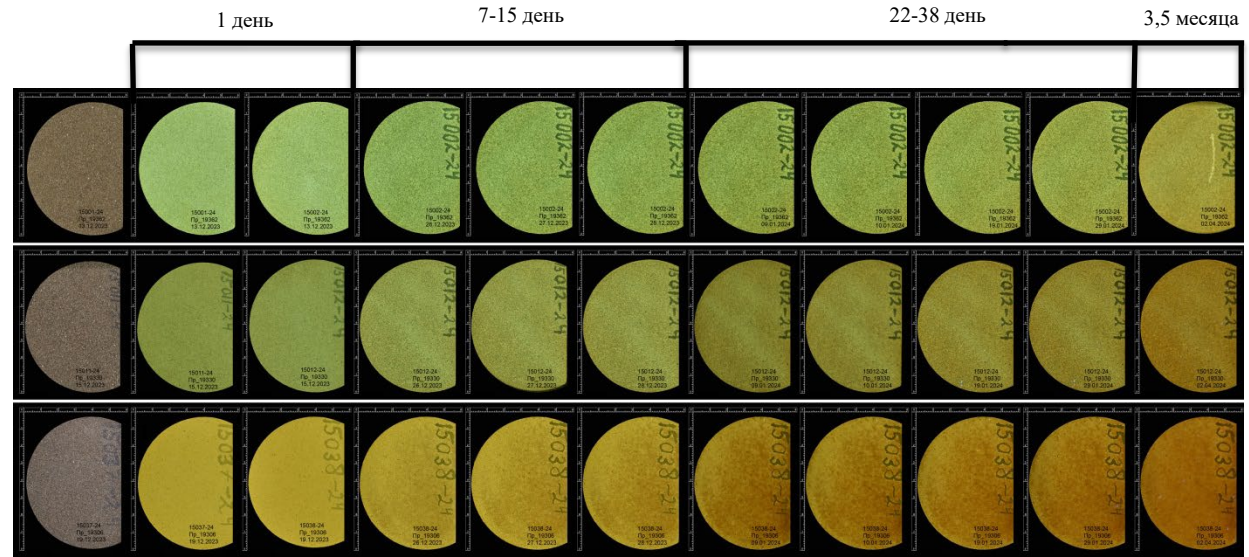


Рисунок 17. Индивидуальные изображения пробо-образцов. Изменение цветности люминесценции в атмосферных условиях

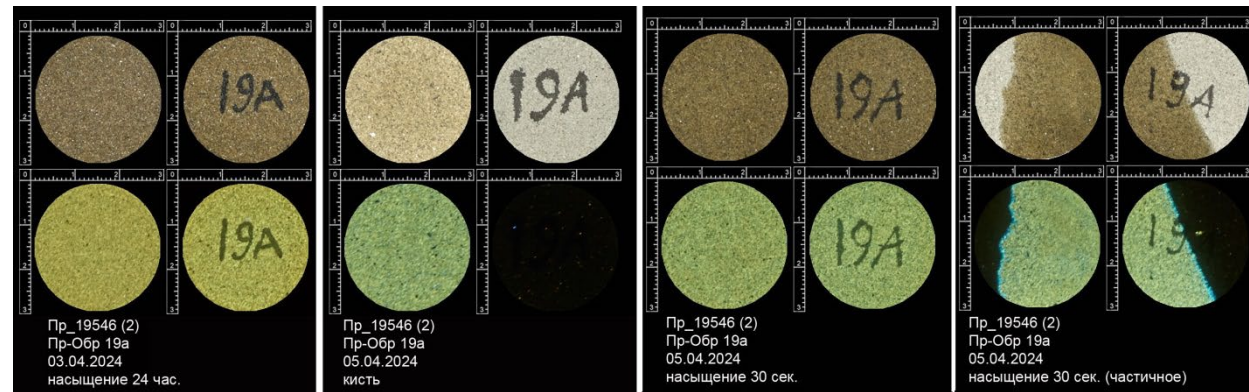


Рисунок 18. Экспериментальное изображение пробо-образца в ДО и УФФ. Характер люминесценции при полном и частичном насыщении

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

Индивидуальные изображения пробо-образцов по цвету люминесценции были разделены на 3 ряда. Средние значения данных (табл. 1) по каждому ряду не противоречат международному делению нефтей на 3 основных категории – легкие (<850), средние (850-870) и тяжелые (>870).

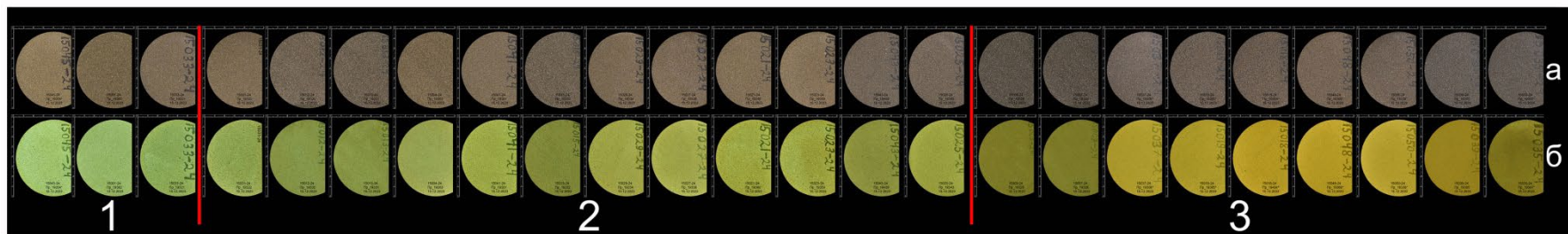


Рисунок 20. Индивидуальные изображения пробо-образцов по цвету люминесценции

Ряд	Плотность нефти при T 20 °С, кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /с		Массовое содержание, %				Начало кипения, °С
		при T 20 °С	при T 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

Рисунок 21. Средние значения физико-химических свойств нефти в рядах пробо-образцов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

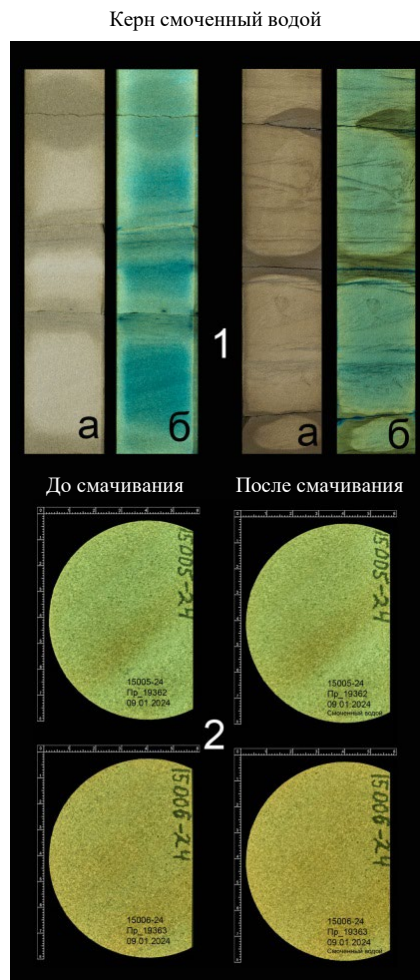


Рисунок 22. Влияние наличия воды на люминесценцию нефтенасыщения керна и на люминесценцию нефти в пробо-образцах. Фотоизображения (1) керна в ДО (а) и УФО (б). Изображения (2) пробо-образцов нефти в УФО до и после смачивания

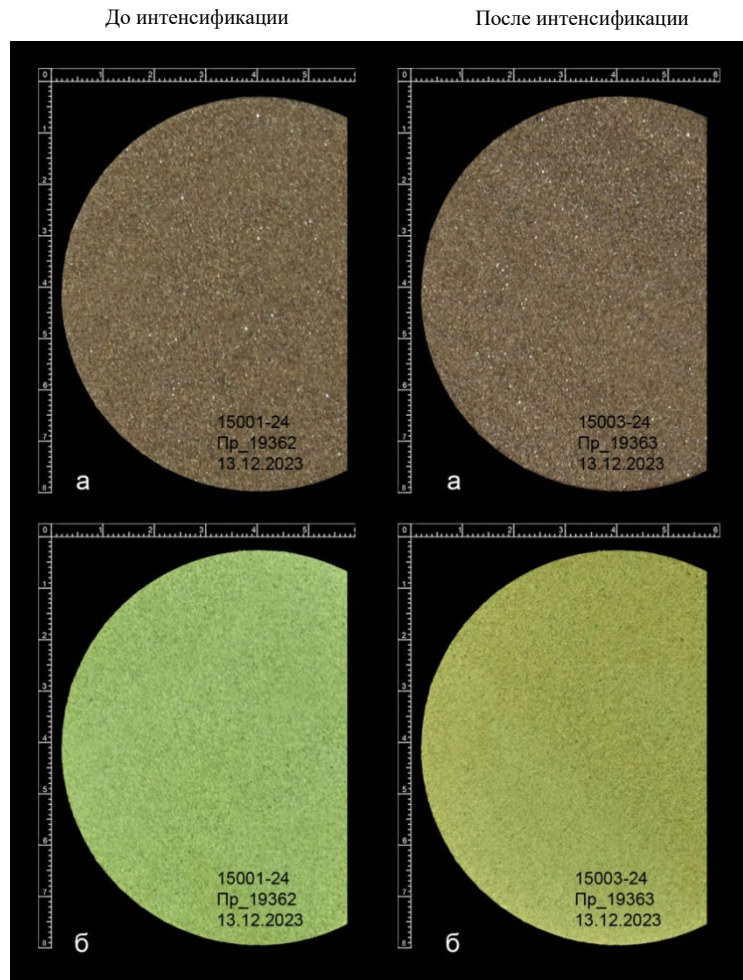


Рисунок 23. Характер люминесценции нефти в пробо-образцах до интенсификации (проба 19362) и после интенсификации (проба 19363). Изображения пробо-образцов нефти в ДО (а) и УФО (б)

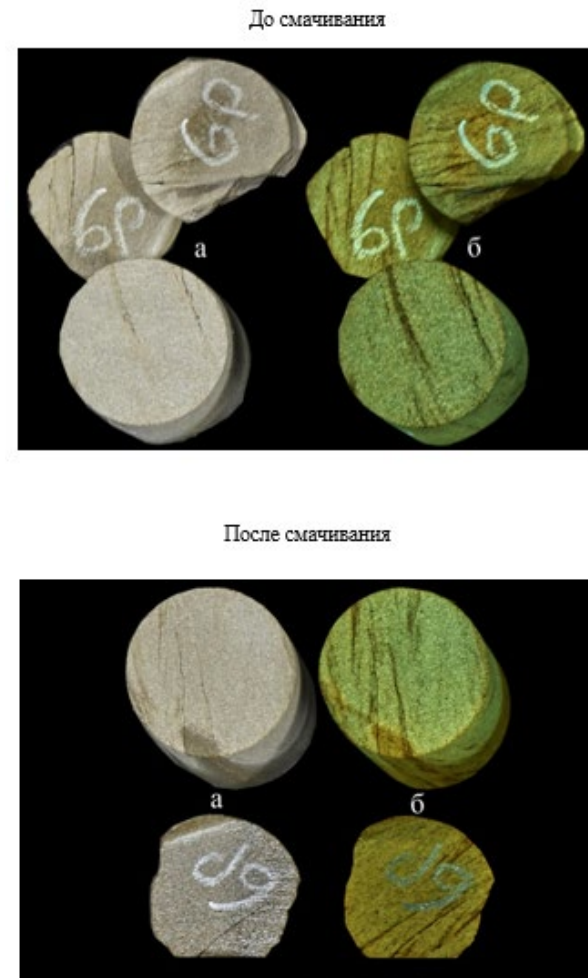


Рисунок 24. Пример тушения и восстановления цветности люминесценции нефтенасыщения в песчанике при наличии воды. Фотоизображения образцов песчаника в ДО (а) и УФО (б)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

Анализ комплексных изображений пробо-образцов в атмосферных условиях показал изменение люминесценции со временем и изменение состава нефти, подтвержденное данными пиролиза.

Проба	Лабораторный номер пробо-образца	Дата насыщения	Дата консервации	Легкая фракция УВ до 180С, мг УВ/г породы	Легкая фракция УВ до 180С, % масс	Тяжелая фракция УВ, мг УВ/г породы	Тяжелая фракция УВ, % масс	Смолисто-асфальтеновые УВ NSO, мг УВ/г породы	Смолисто-асфальтеновые УВ NSO, % масс
19363	15003-24	12.12.2023	13.12.2024	25,02	40,82	29,06	47,41	7,22	11,78
	15004-24	12.12.2023	02.04.2024	11,83	25,31	28,19	60,31	6,72	14,38
19366	15047-24	18.12.2023	19.12.2024	13,52	29,98	20,95	46,46	10,62	23,55
	15048-24	18.12.2023	02.04.2024	10,96	23,50	24,13	51,74	11,55	24,76

Рисунок 25. Данные пиролиза по пробо-образцам нефти

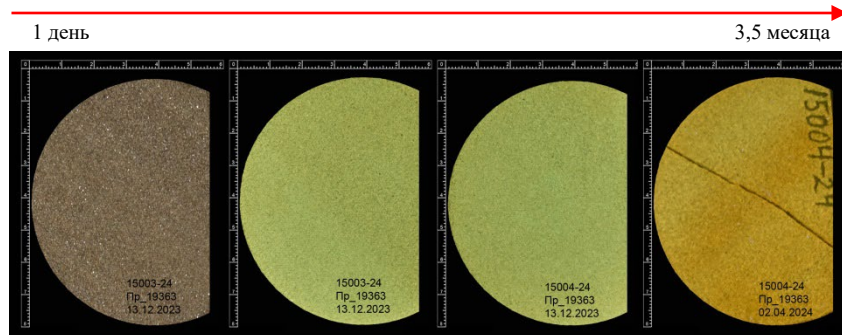


Рисунок 26. Изменение люминесценции со временем. Изображения пробо-образцов. Проба 19363

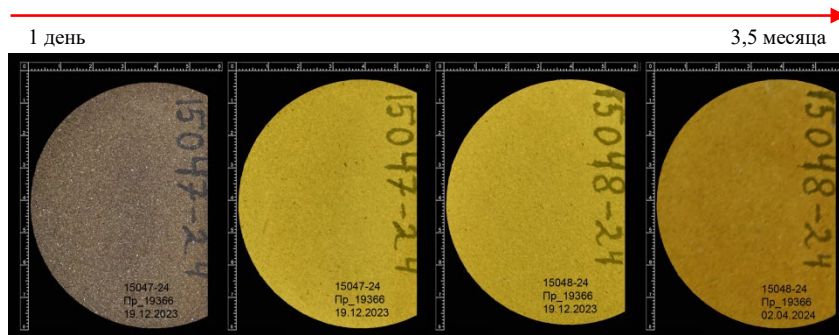
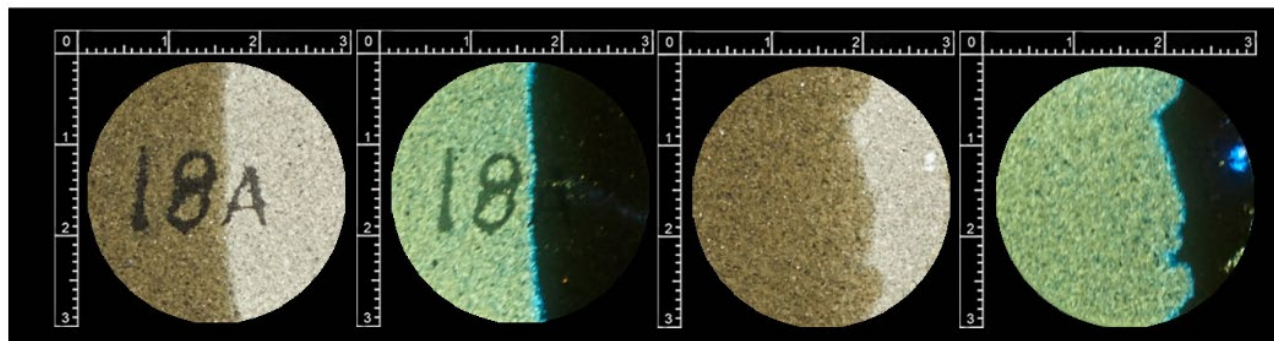
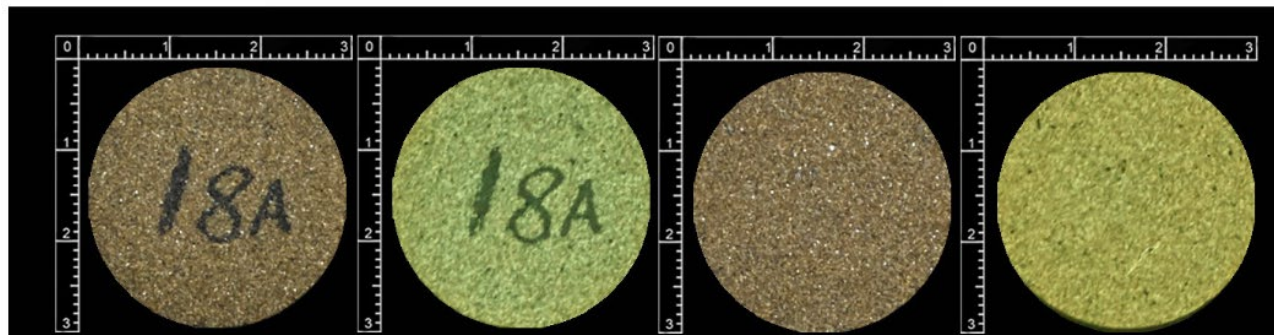


Рисунок 27. Изменение люминесценции со временем. Изображения пробо-образцов. Проба 19366

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ



Частичное
нефтенасыщение



Полное
нефтенасыщение

Рисунок 28. Изображения пробо-образцов. Характер люминесценции при полном и частичном насыщении.

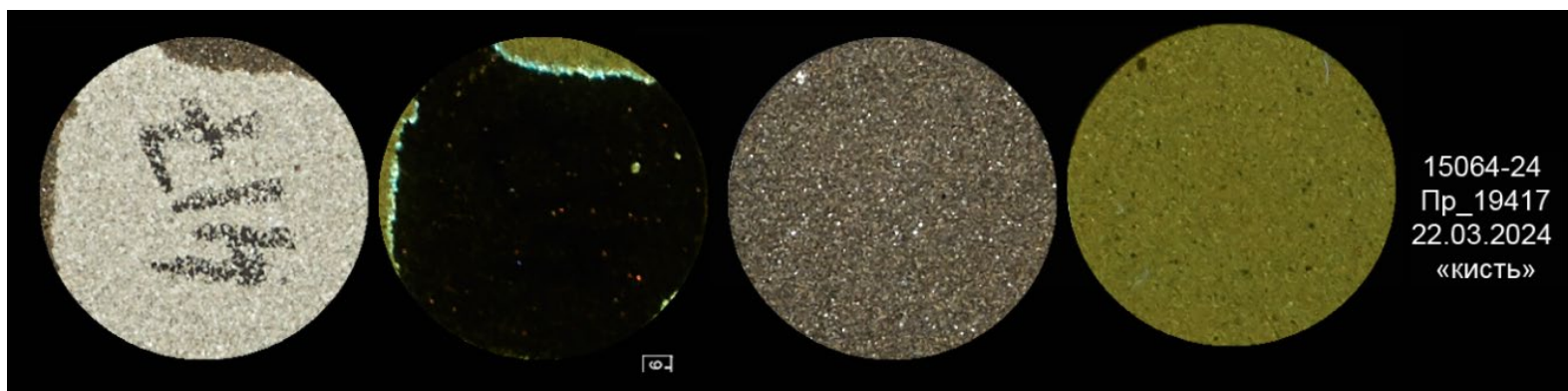
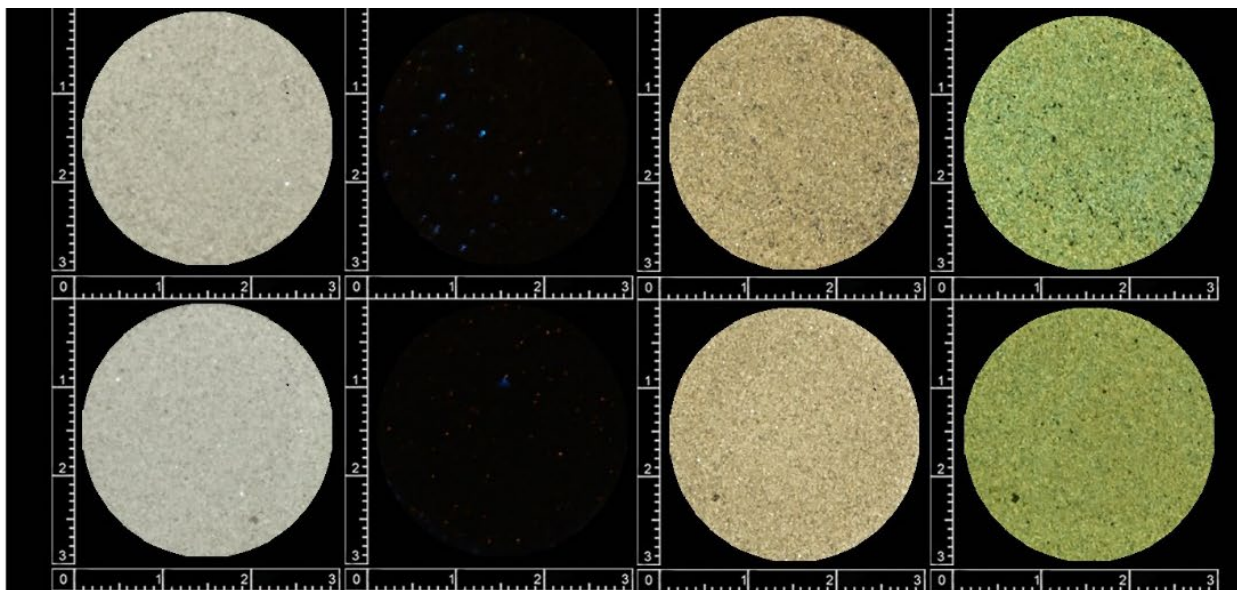


Рисунок 29. Изображения пробо-образца (871 кг/м³). Характер люминесценции при частичном насыщении.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

Анализ изображений пробо-образцов с разными петрофизическими параметрами, показал, что:

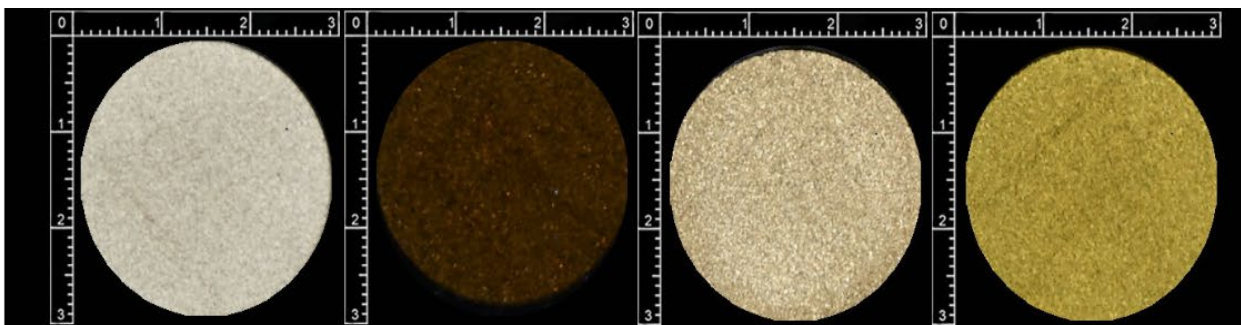
- 1) фильтрационно-емкостные свойства образцов не влияют на цветность люминесценции нефти;
- 2) первоначальная люминесценция горных пород изменяет люминесценцию нефти.



Пр_19546-1
25.04.2024
№11, Кпр 50-200мД
насыщение, 30 сек.

Пр_19546-1
25.04.2024
№9, Кпр 2-6мД
насыщение, 30 сек.

Рисунок 30. Изображения пробо-образцов, насыщенных одной пробой нефти (19546-1), с разными ФЕС.



Пр_19546-1
25.04.2024
№8, Кпр <1мД
насыщение, 30 сек.

Рисунок 31. Изображения пробо-образца, насыщенного пробой нефти (1954-1), доказывающее влияние истинной люминесценции горных пород на люминесценцию нефти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты изучения показали состоятельность метода и результативность его применения.

В методе 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.

Данный способ дает возможность проводить корреляцию свойств нефти со свойствами нефтенасыщенных горных пород в колонке керн.

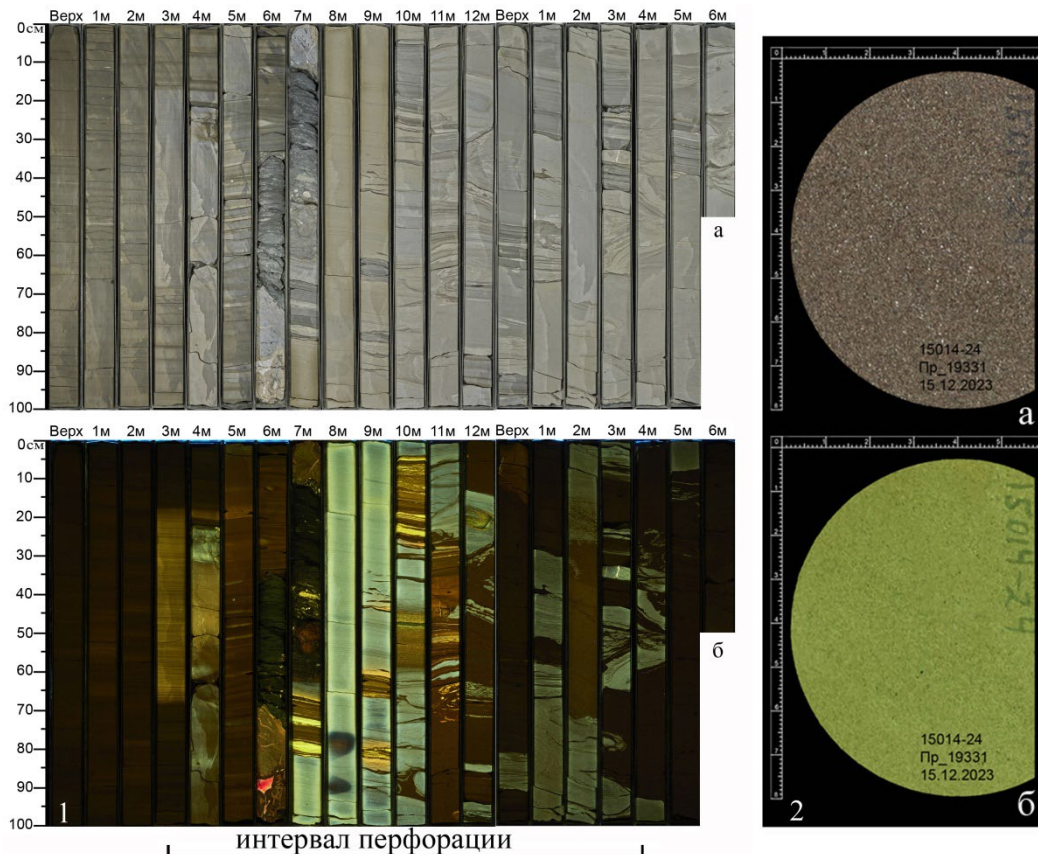


Рисунок 32. Характер люминесценции нефтенасыщения горных пород и нефти в пробо-образце керн. Фотоизображения керн (1) в ДО (а) и УФО (б) и фотоизображение пробо-образца (2) в ДО (а) и УФО (б) из поверхностной пробы №19331.

Хроматография						Пиролиз							
Код пробы	Плотность нефти при T 20 °С, кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /с		Т застывания, °С	Молекулярная масса, г/моль	Массовое содержание, %					Легкая фракция УВ до 180С, % масс	Тяжелая фракция УВ, % масс	Смолисто-асфальтовые УВ NSO, % масс
		при T 20°С	при T 50°С			воды	серы	асфальтенов	смола	силикагелевых			
19331	865,50	13,63	5,78	-6	234	0,42	2,08	1,74	8,80	2,44	37,09	46,67	16,25

Рисунок 33. Свойства нефти поверхностной пробы №19331

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы получен главный вывод - в пористой среде керна различный компонентный состав нефти имеет различный спектр люминесценции.

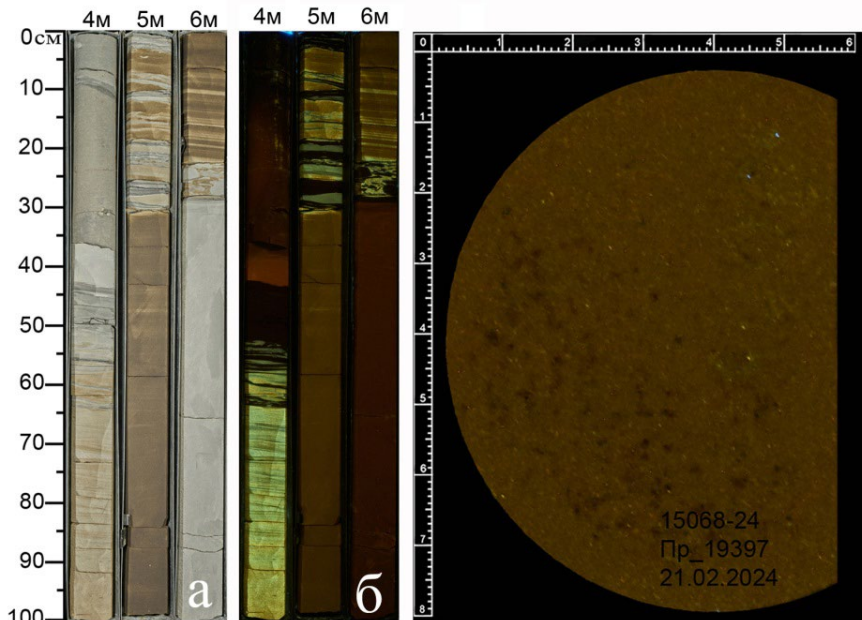


Рис. 36. Фотоизображения керна (1) в ДО (а) и УФО (б) и фотоизображение пробо-образца в УФО из поверхностной пробы №19397.

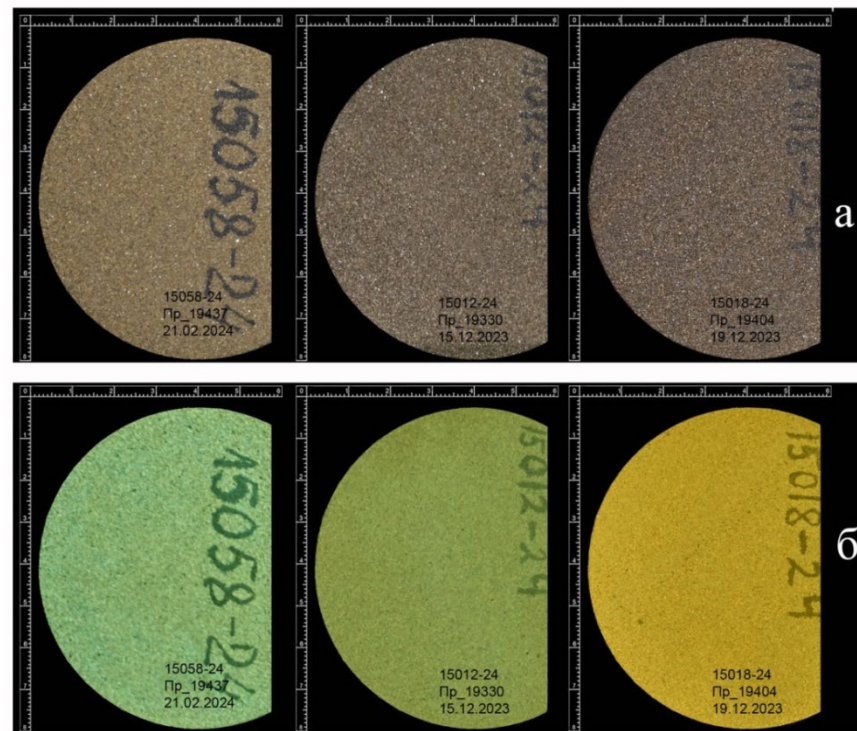


Рис 34. Фотоизображения пробо-образцов в ДО (а) и УФО (б), насыщенных нефтью из поверхностных проб.

Хроматография											Пиролиз		
Код пробы	Плотность нефти при T 20°C, кг/м³	Кинематическая вязкость, мм²/с		T застывания, °C	Молекулярная масса, г/моль	Массовое содержание, %					Легкая фракция УВ до 180C, % масс	Тяжелая фракция УВ, % масс	Смолисто-асфальтеновые УВ NSO, % масс
		при T 20°C	при T 50°C			воды	серы	асфальтенов	смол	силикателесв			
19397	928,4	1001,0	108,9	11	390	35,9	2,31	12,30	12,10	3,32	21,85	35,20	42,95

Рис.37. Свойства нефти поверхностной пробы

Код пробы	Номер пробо-образца лабораторный	Плотность нефти при T 20°C, кг/м³	Кинематическая вязкость, мм²/с		T застывания, °C	Молекулярная масса, г/моль	Массовое содержание, %					Пиролиз			
			при T 20°C	при T 50°C			воды	серы	асфальтенов	смол	силикателесв	парафинов	Легкая фракция УВ до 180C, % масс	Тяжелая фракция УВ, % масс	Смолисто-асфальтеновые УВ NSO, % масс
19437	15058-24	792,1	2,2	1,4	-30	158	0,01	0,08	0,05	1,63	2,47				
19330	15012-24	877,8	18,8	7,4	-2	239	0,28	2,32	1,88	8,70	2,48	40,87	43,21	15,92	
19404	15018-24	886,2	41,1	13,0	-5	271	1,7	1,95	1,94	9,00	2,75	30,24	44,73	25,04	

Рис.35. Аналитическое подтверждение зависимости цветности люминесценции нефти или нефтенасыщения горных пород от компонентного состава нефти. Свойства нефти поверхностных проб

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производственное применение метода 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).

Хроматография									Пиролиз		
Ряд	Плотность нефти при $T\ 20\ ^\circ\text{C}$, $\text{кг}/\text{м}^3$	Кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$		Массовое содержание, %				Начало кипения, $^\circ\text{C}$	Легкая фракция УВ до 180°C , % масс	Тяжелая фракция УВ, % масс	Смолисто-асфальтеновые УВ NSO, % масс
		при $T\ 20\ ^\circ\text{C}$	при $T\ 50\ ^\circ\text{C}$	серы	асфальтенов	смола силикагелевых	парафинов				
1	837	6	3	0,4	0,4	4	3	49	46	44	10
	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	40,3-50,1	40,8-48,2	8,6-12,6
2	857	13	5	1,1	1,2	7	3	59	40	46	14
	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	36,7-46,3	43,4-49,5	9,7-17,6
3	886	41	13	1,7	2,7	10	3	61	31	43	25
	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	21,8-35,8	35,2-49,2	17,4-42,9

Рис.38. Средние значения физико-химических свойств нефти из проб (хроматография) и свойств нефти из пробо-образцов (пиролиз)

Банк данных люминесценции нефтей необходим для цифровизации нефтенасыщения в колонке керна.



«СургутНИПИнефть»
ПАО «Сургутнефтегаз»

Благодарю за внимание!



«СургутНИПИнефть» ПАО «Сургутнефтегаз»

Литература

1. Метод изучения нефти поверхностных и глубинных проб в пористой среде керна. / Е.Н. Трофимова [и др.] // Статьи для инженеров ПАО «Сургутнефтегаз»: Инновации, НИОКР, интеллектуальная собственность, рационализация: сборник публикаций ПАО «Сургутнефтегаз». – Сургут: РИИЦ «Нефть Приобья» ПАО «Сургутнефтегаз», 2024, август. С.42-47.
2. Метод изучения нефти поверхностных и глубинных проб в пористой среде керна. / Е.Н. Трофимова [и др.] // Пути реализации нефтегазового потенциала Западной Сибири. (Двадцать восьмая научно-практическая конференция) [Электронный ресурс] / Под редакцией А.Г. Копытова, Л.М. Захаровой – Текст: электронный – Ханты-Мансийск. – 2025. – С.181-192. // URL: <http://www.crru.ru>