



«СургутНИПИнефть»
ПАО «Сургутнефтегаз»

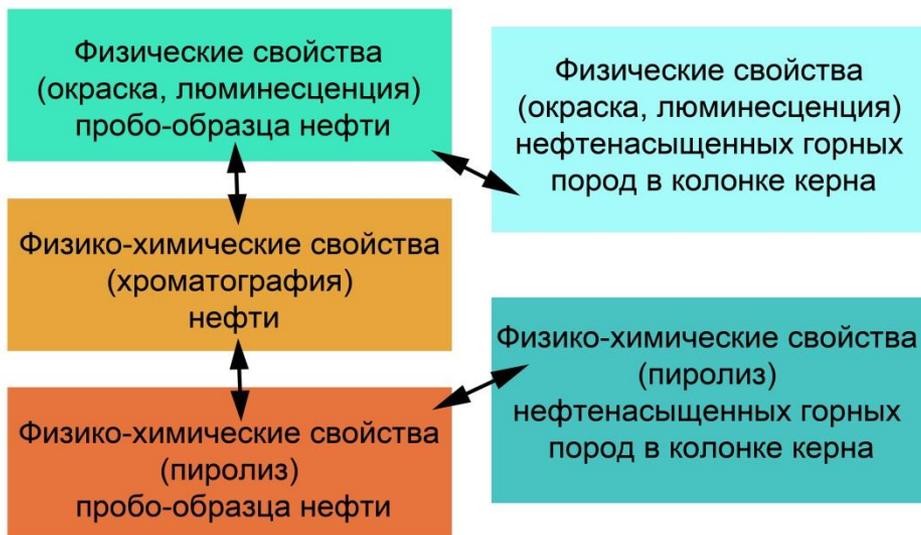
Изучение свойств нефти на образцах керна

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



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 из
поверхностных и глубинных проб
со свойствами нефтенасыщения
горных пород в колонке керна.

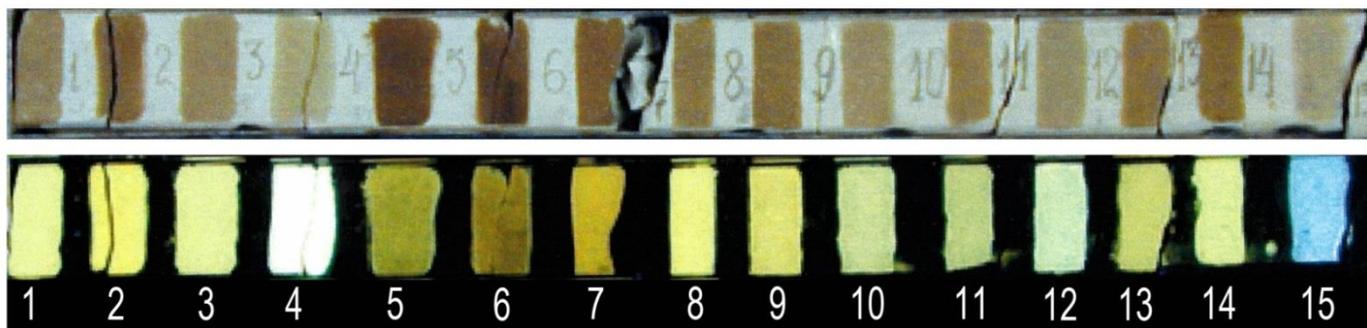
Рисунок 1. Схема корреляции между свойствами нефтей, свойствами пробо-образцов нефти и свойствами нефтенасыщенных горных пород



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° 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, перед основной частью работы 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 на скважине. В работе - **проба нефти**. В английском тексте термин проба обозначен как L-samples (liquid-samples).
- **Пробо-образец** – образец горной породы, насыщенной флюидом из поверхностной или глубинной пробы. В работе - **пробо-образец нефти**. Термин введен для использования в данной работе. В английском тексте термин пробо-образец обозначен как L-S-samples (liquid-solid-samples).

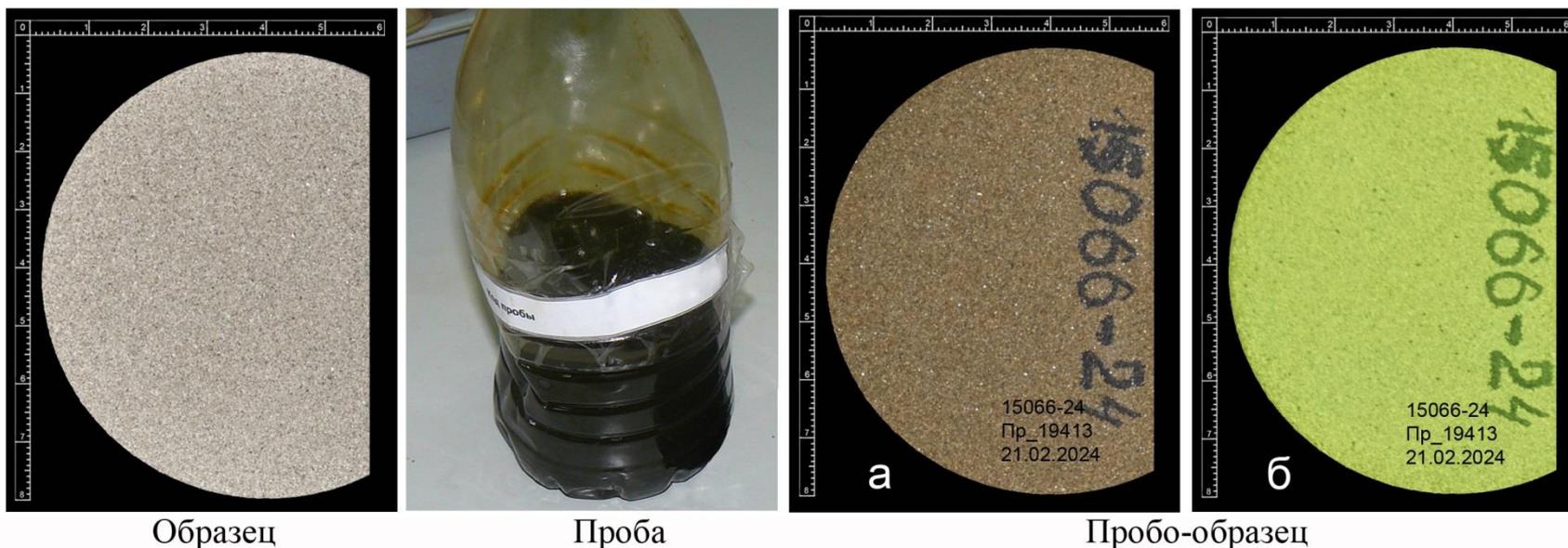


Рисунок 3. Изображения ключевых терминов (а - ДО, б - УФО)

ТЕРМИНЫ

■ **Нефтенасыщение** – наличие в породе углеводородов (УВ) нефтяного ряда, которое определяется по комплексу признаков – окраска, запах, гидрофобность, люминесценция в ультрафиолетовом освещении (УФО). Термин применяется при литологическом изучении керна. В английском тексте термин образец обозначен как oil-saturation.

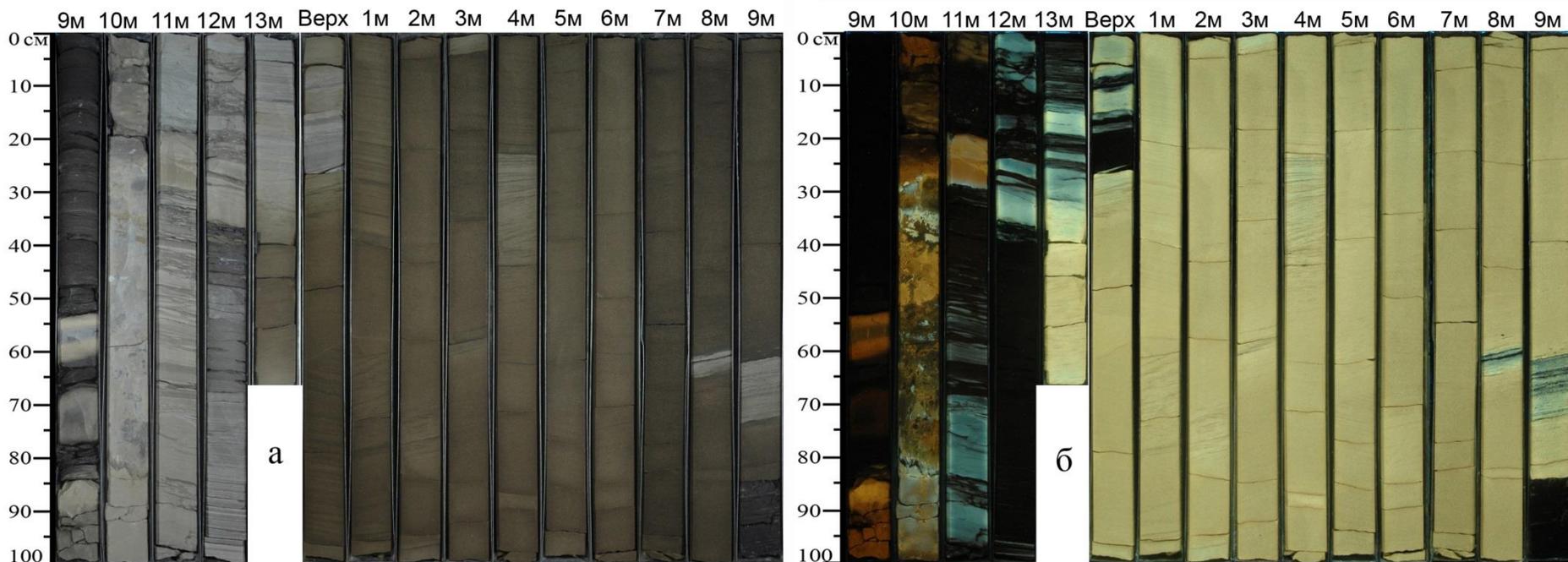


Рисунок 4. Характер нефтенасыщения горных пород в колонке керна Фотоизображения керна в ДО (а) и УФО (б)

ТЕРМИНЫ

На сегодняшний день люминесценция является основным признаком определения нефтенасыщения, но не уникальным. Не редко цветовая окраска люминесценции нефтенасыщенных пород идентична окраске люминесценции пород без нефтенасыщения, не редко - отсутствует. По характеру распределения в горных породах нефтенасыщение делится на сплошное и дискретное. По характеру изменения окраски и (или) люминесценции, нефтенасыщение породы может быть равномерным или неравномерным, моноцветным или полицветным т.е. с изменяющимся объемом и групповым (фракционным, химическим) составом углеводородного флюида. Зоны относительно равномерного нефтенасыщения (до 10м) отмечаются редко. В разрезе пласта нефтенасыщение, как правило, неравномерное и полицветное.

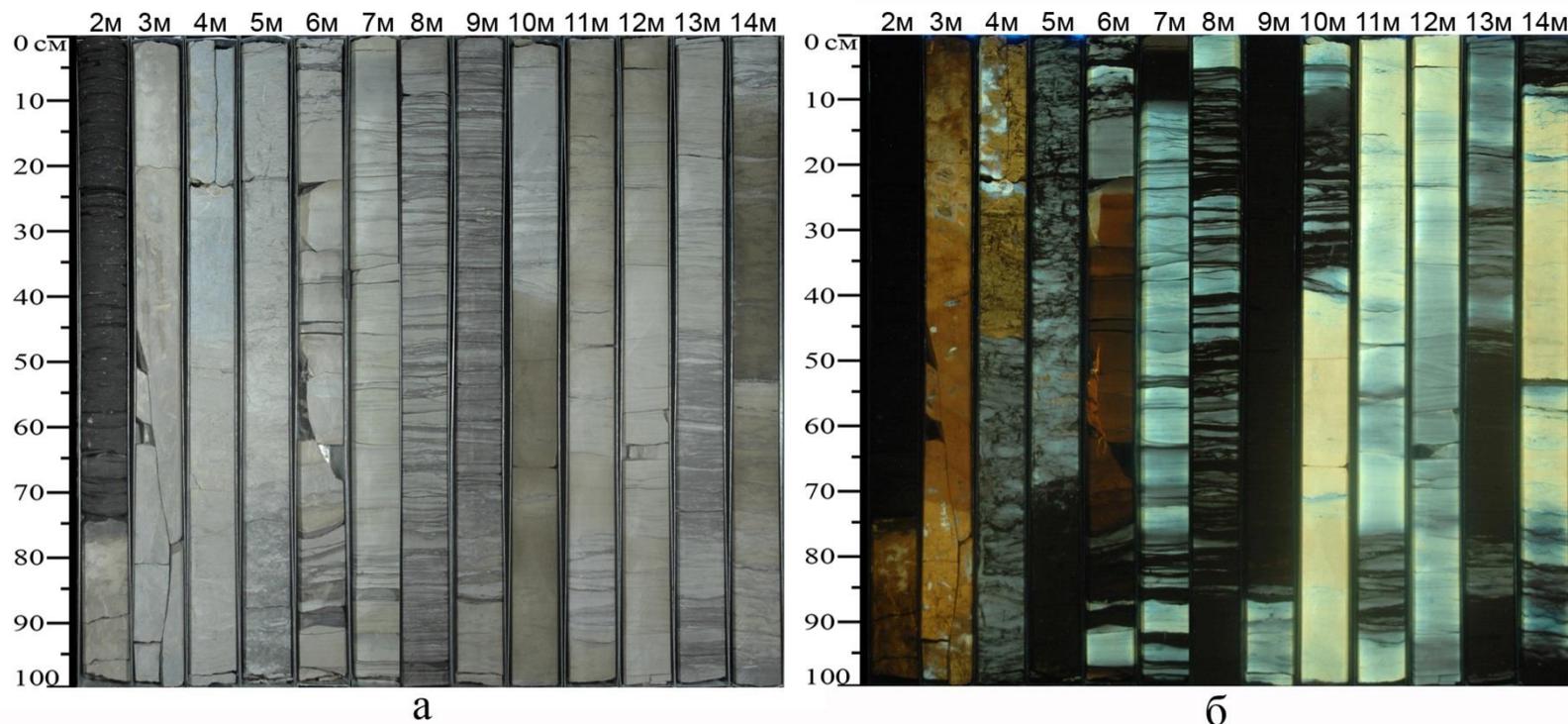


Рисунок 5. Характер нефтенасыщения горных пород в колонке керна. Фотоизображения керна в ДО (а) и УФО (б)

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ

Метод разработан для научного и практического применения на производстве, как метод изучения физических (окраска, люминесценции) свойств нефтей поверхностных и глубинных проб..

При разработке и опробовании метода использовались: а) нефти 44 проб из 40 скважин 27 месторождений Западной Сибири; б) образцы, изготовленные из пористой среды керна (Кпр 50-200 мД).

Техническая часть метода заключается в насыщении нефтью образцов керна с чистым и свободным пористым пространством, т.е. в подготовке пробо-образцов нефти.

Аналитическая часть метода включает изучение физических свойств (окраска, люминесценция) пробо-образцов нефти на фотоизображениях в дневном (ДО) и ультрафиолетовом освещении (УФО) и физико-химических особенностей углеводородной составляющей из результатов пиролитического анализа пробо-образцов нефти.

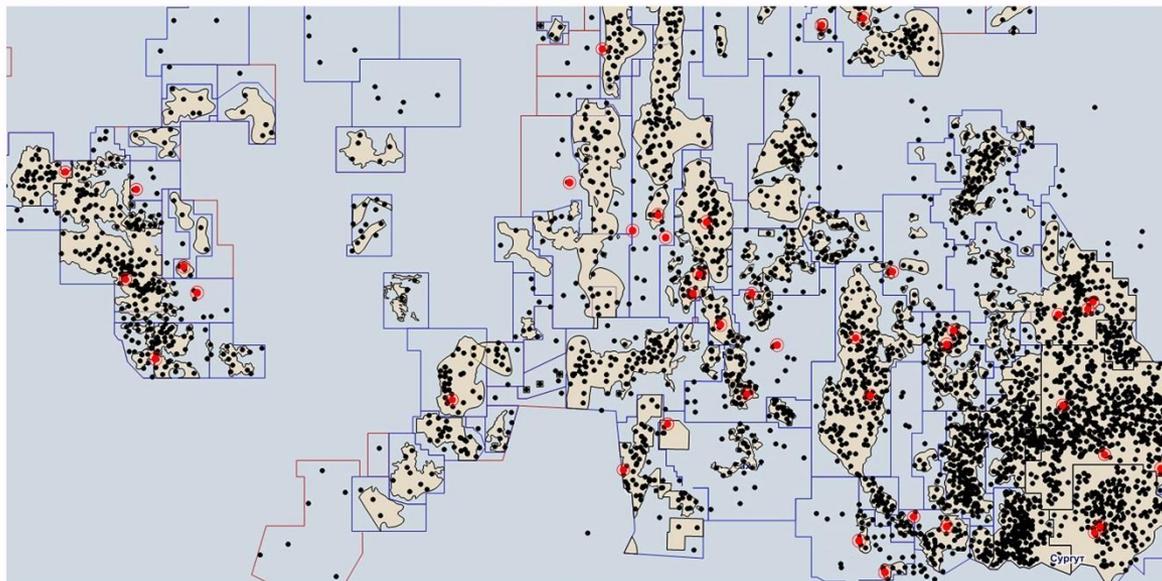


Рисунок 6. Фрагмент карты Западно-Сибирской территории деятельности ПАО «Сургутнефтегаз». Красным обозначены скважины, из которых были использованы пробы нефти



Рисунок 7. Образцы песчаника с Кпр 50-200 мД

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ

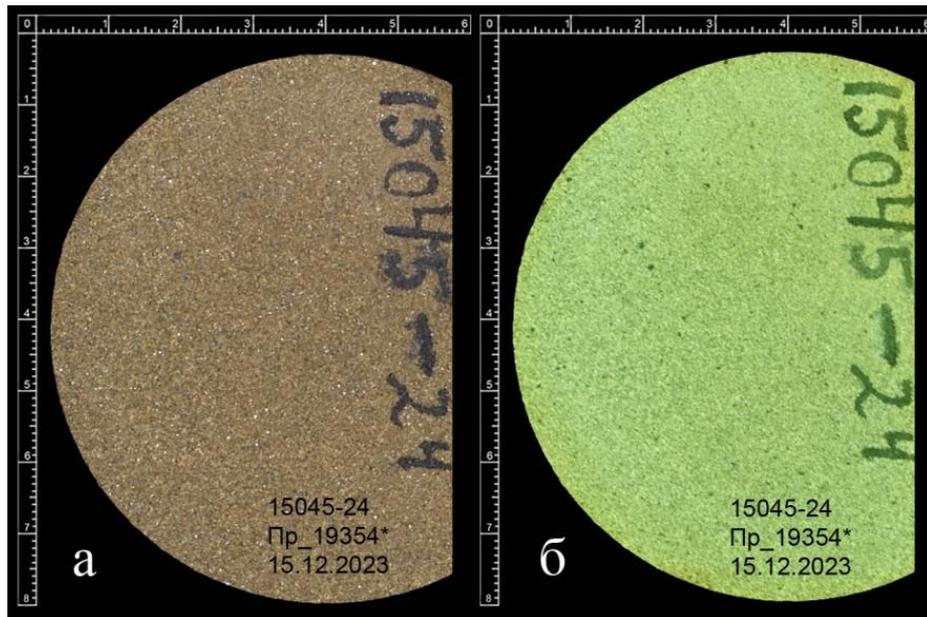


Рисунок 8. Пробо-образец нефти (D 8см)

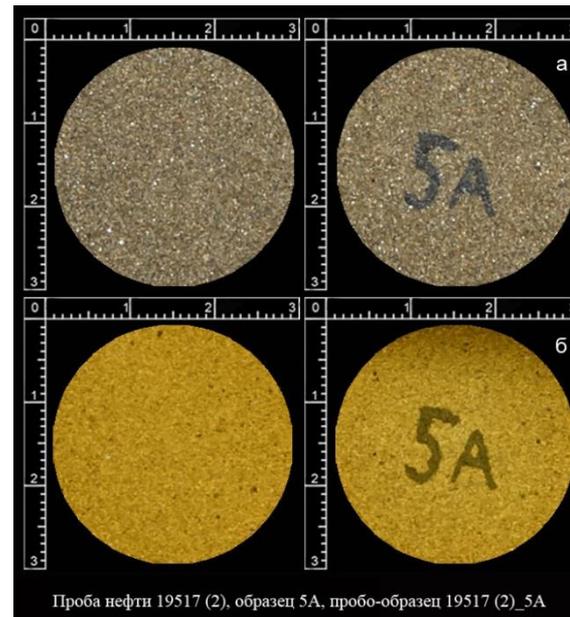


Рисунок 9. Пробо-образец нефти (D 3см)

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 (OxNSO), мг/г породы	Доля смолисто-асфальтеновых (OxNSO), % масс	Смолисто-асфальтеновые УВ, мг УВ/г породы	Водородный индекс, мг УВ/г С орг.	Кислородный индекс, мг CO2/г С орг.	Количество CO2, выделившегося в процессе пиролиза, мг CO2/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 позиций: 1) изготовление образца, 2) регистрация и маркировка образца; 3) насыщение образца нефтью; 4) фотографирование пробо-образца; 5) консервация пробо-образца и пиролиз.

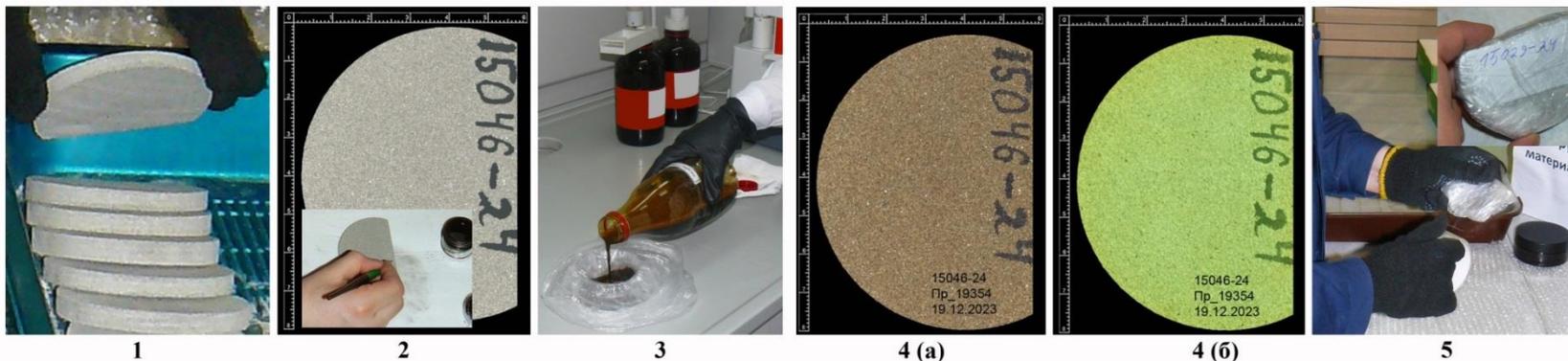


Рисунок 11. Главные позиции метода

Для изучения пробо-образцов нефти авторами было опробовано два методических способа. Способы отличаются порядком позиций и порядком действий между позициями. В первом способе [1, 2] требуется обязательная консервация пробо-образцов нефти для пиролиза. Второй способ упрощен, и как следствие, более экономичен и более продуктивен для пиролитических исследований, в нем консервация не обязательна.

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 обоих подходах 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.

Если для каждой пробы нефти изготавливается по два образца – один для изучения физических (окраска, люминесценция) свойств нефти, второй для определения физико-химических (пиролиз) свойств нефти, то каждый образец насыщается отдельно.

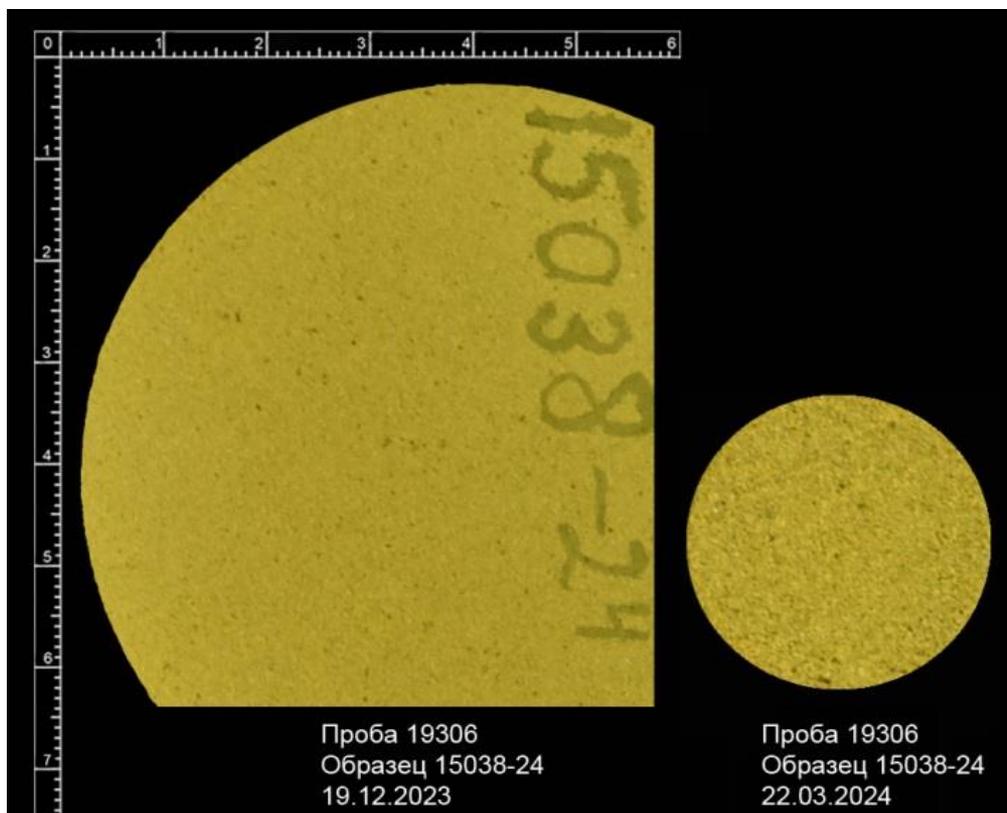


Рисунок 13. Изображения (в УФО) пробо-образцов нефти в разных методических способах

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

В результате проделанной работы получены:

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

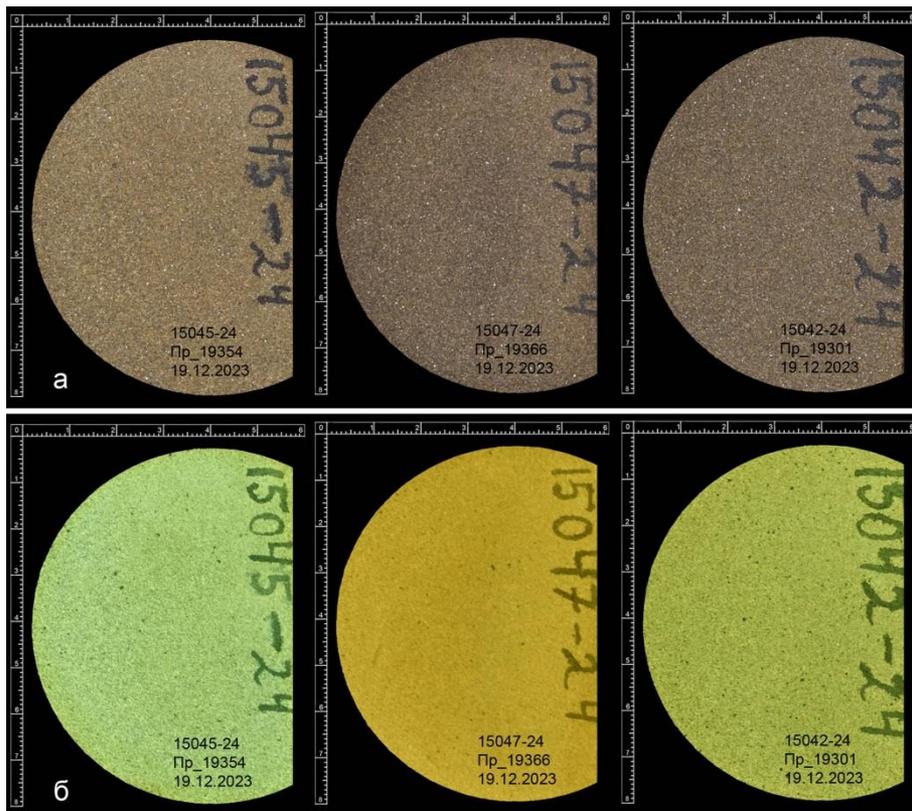


Рисунок 14. Индивидуальные изображения пробо-образцов нефти в ДО и УФО

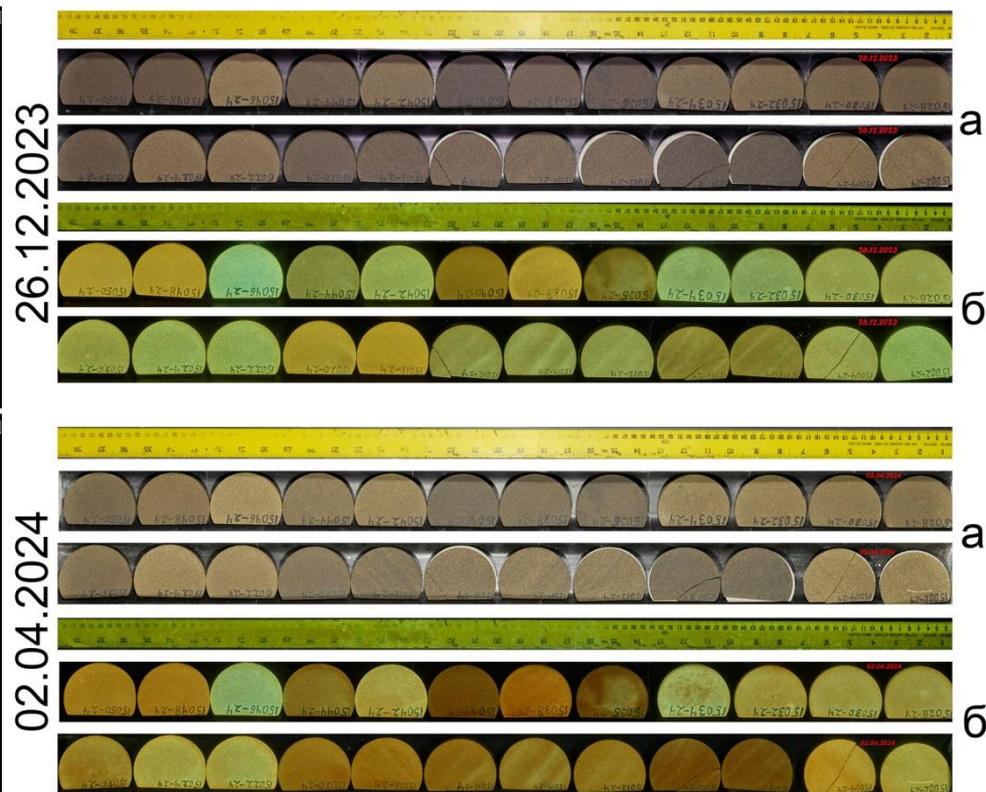


Рисунок 15. Комплексные изображения пробо-образцов нефти в ДО и УФО. Изменение окраски и цветности люминесценции в атмосферных условиях

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

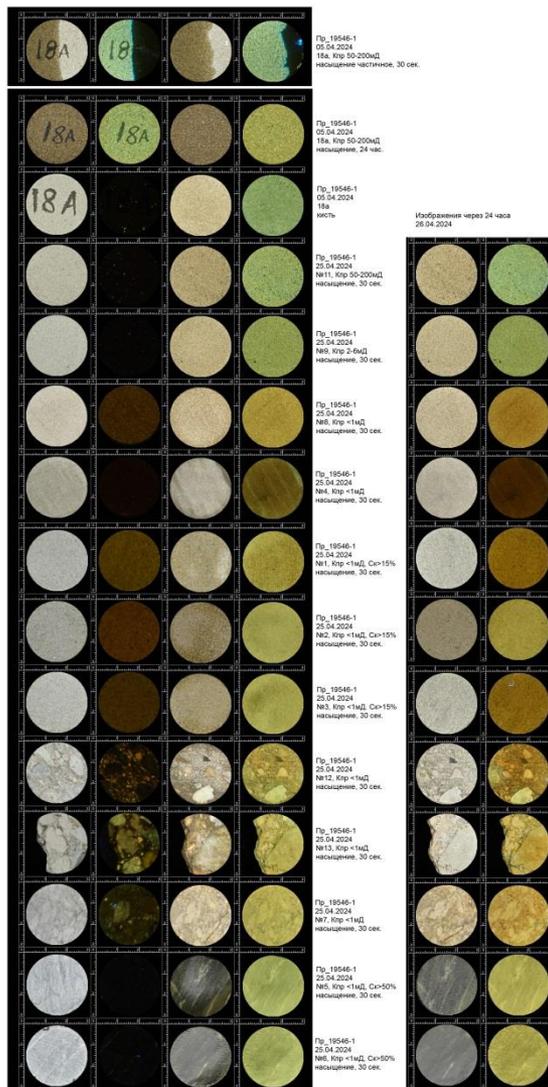


Рисунок 18. Экспериментальные изображения пробо-образца нефти в ДО и УФО. Характер люминесценции при полном и частичном насыщении, в образцах с разной литологией и ПФП

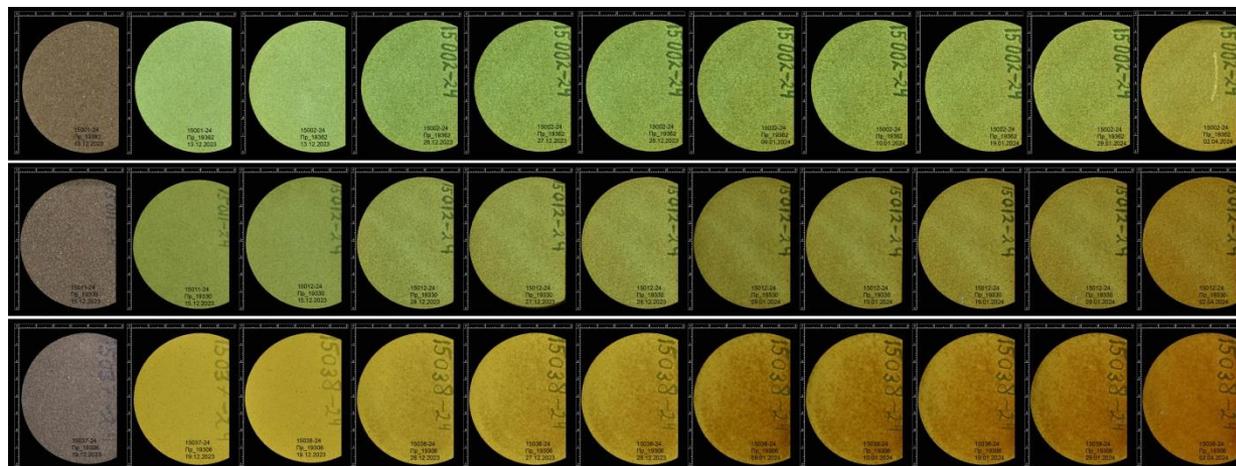


Рисунок 16. Индивидуальные изображения пробо-образцов нефти. Изменение цветности люминесценции в атмосферных условиях

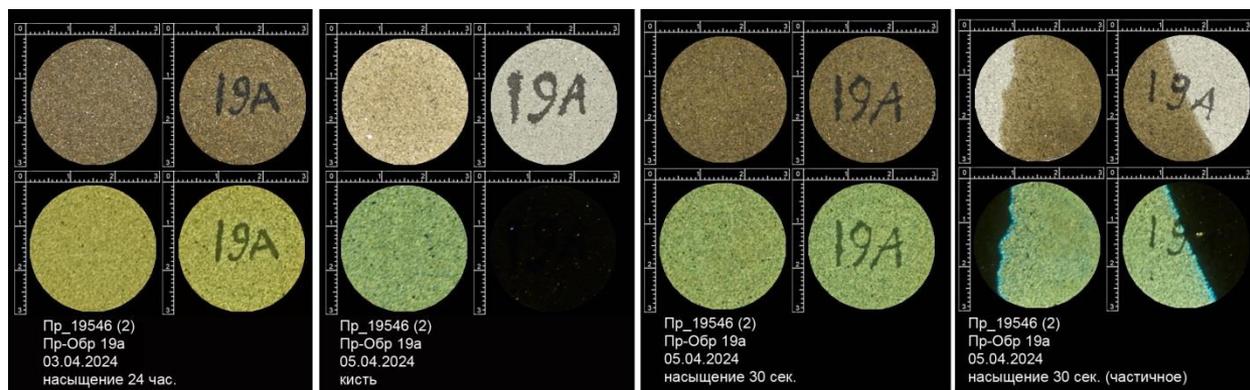


Рисунок 17. Экспериментальные изображения пробо-образца нефти в ДО и УФО. Характер люминесценции при полном и частичном насыщении

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

Индивидуальные изображения пробо-образцов нефти 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).

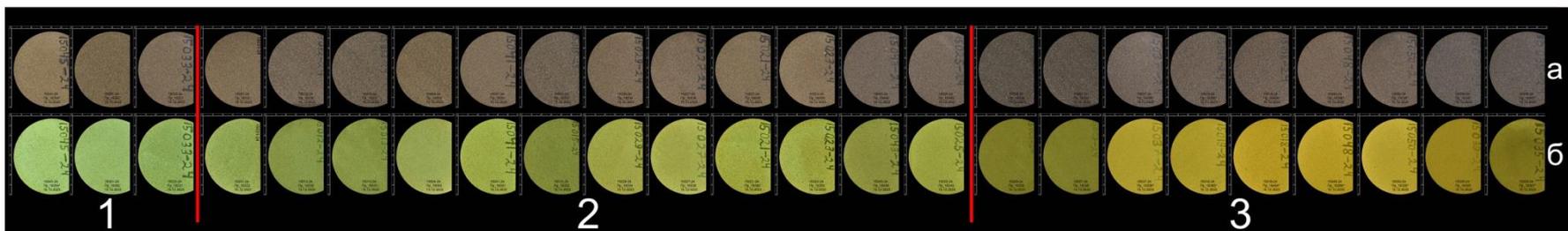


Рисунок 19. Индивидуальные изображения пробо-образцов нефти по цвету люминесценции

Ряд	Плотность нефти при T 20 °C, кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /с		Массовое содержание, %				Начало кипения, °C
		при T 20 °C	при T 50 °C	серы	асфальтенов	смола силикагел евых	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 20. Средние значения физико-химических свойств нефти в рядах пробо-образцов нефти

В первом ряду нефти малосмолистые (<5%), малосернистые (<0,6%), во втором и третьем – смолистые (5-15%), сернистые (0,6-1,8%).

Две пробы, относящиеся к особо легкой и особо тяжелой категории, по люминесценции пробо-образцов в отдельные ряды не выделились.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

По итогам опробования метода прописаны основные позиции, влияющие на конечный результат:

- 1) для равномерного насыщения образца флюидом необходим однородный пористый материал (естественный, искусственный) без люминесценции в УФО;
- 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, и 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, воздействие химических веществ, например при интенсификации притоков;
- 9) насыщение, фотографирование и пиролизация пробо-образцов нефти должны проводится параллельно с хроматографией.

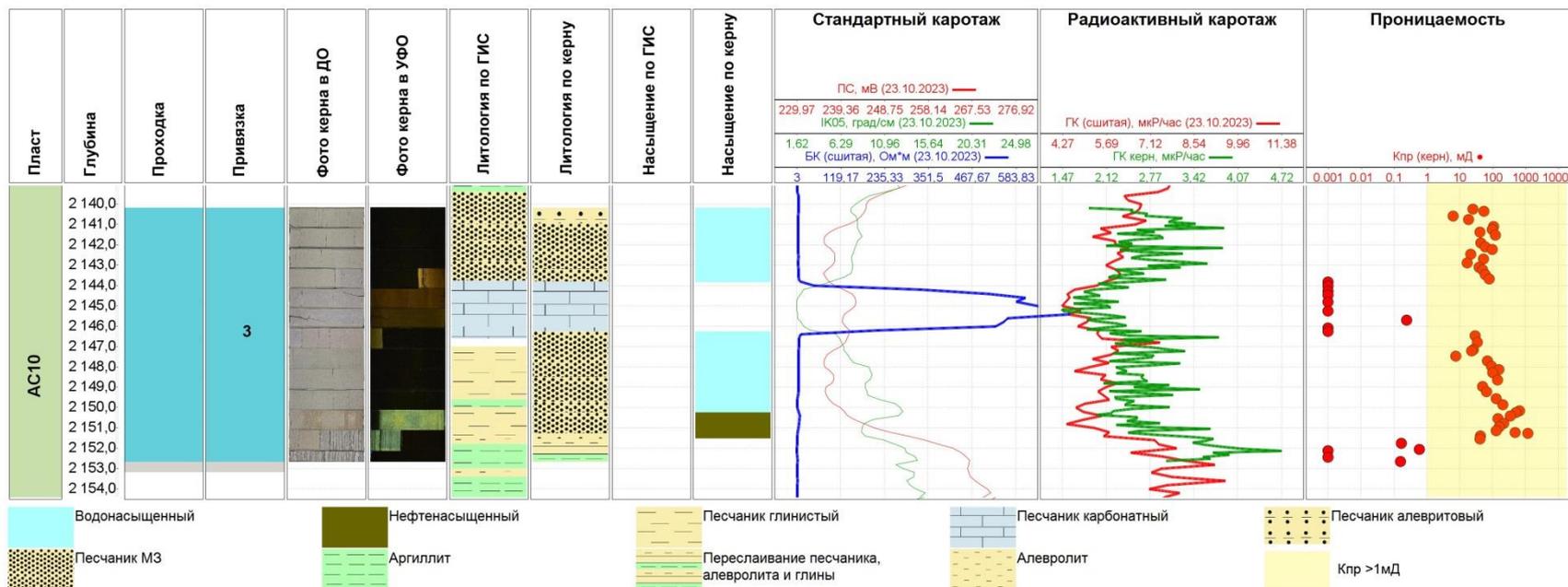


Рисунок 21. ГеоПланшет керна из которого были изготовлены образцы песчаника с Кпр 50-200 мД

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

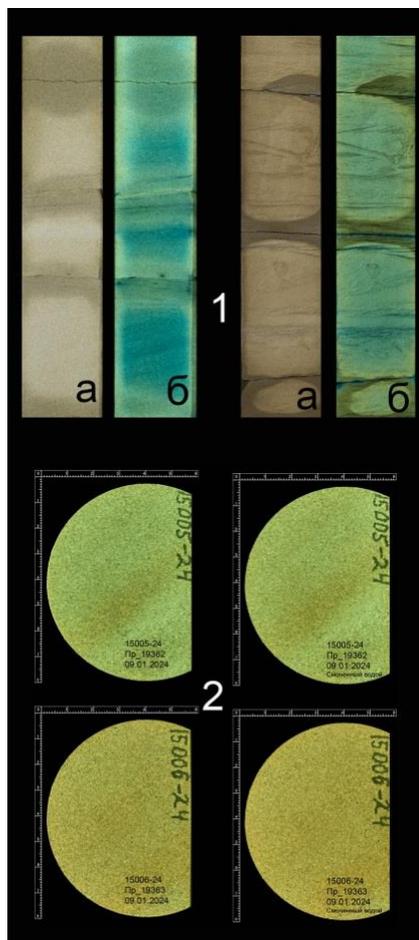


Рисунок 22. Влияние наличия воды на люминесценцию нефтенасыщения зерна и на люминесценцию нефти в пробо-образцах. Фотоизображения (1) зерна в ДО (а) и УФО (б). Изображения (2) пробо-образцов нефти в УФО до и после смачивания

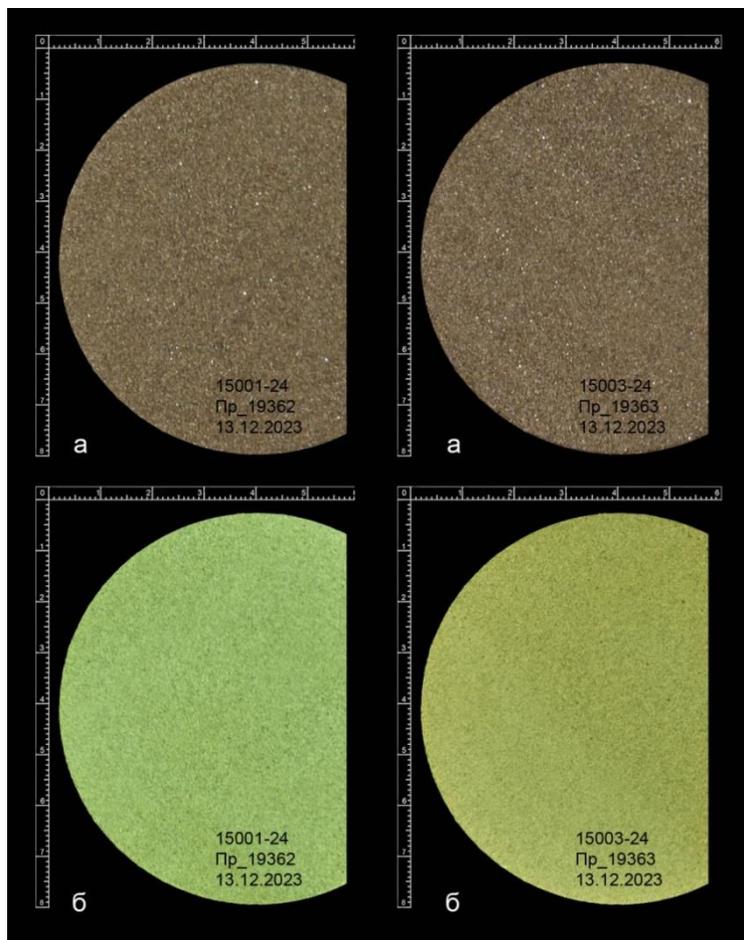


Рисунок 23. Характер люминесценции нефти в пробо-образцах до интенсификации (проба 19362) и после интенсификации (проба 19363). Изображения пробо-образцов нефти в ДО (а) и УФО (б)



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 нефти в атмосферных условиях показал изменение люминесценции со временем и изменение состава нефти, подтвержденное данными пиролиза.

Потеря легких углеводородных фракций (до 180°C) в атмосферных условиях варьирует от 18 % до 50 %.

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

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

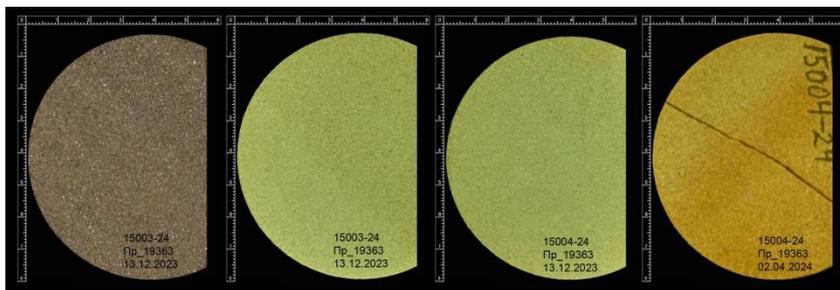


Рисунок 26. Изменение люминесценции со временем. Изображения пробо-образцов нефти. Проба 19363

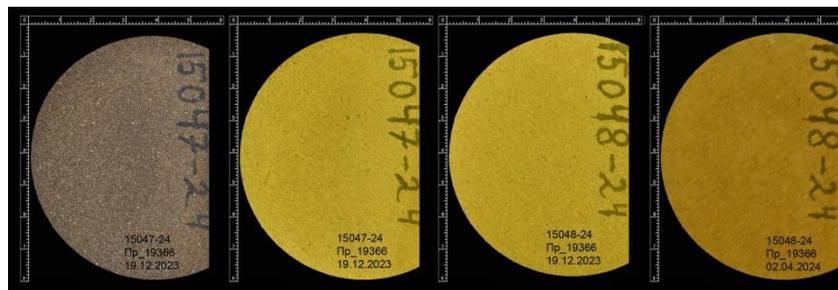


Рисунок 27. Изменение люминесценции со временем. Изображения пробо-образцов нефти. Проба 19366

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

Анализ изображений пробо-образцов нефти с полным и частичным насыщением, показал разницу в цвете люминесценции, что связано с синей полосой, появляющейся на границе нефтенасыщенного и пустого пространства породы.

Для корректного отображения люминесценции нефти в пористой среде керна необходимо полное насыщение образца.

Люминесценция нефти, нанесенная на поверхность керна слоем, у нефтей легкой и средней категории будет всегда с погрешностью. У нефтей тяжелой категории синяя полоса очень тонкая.

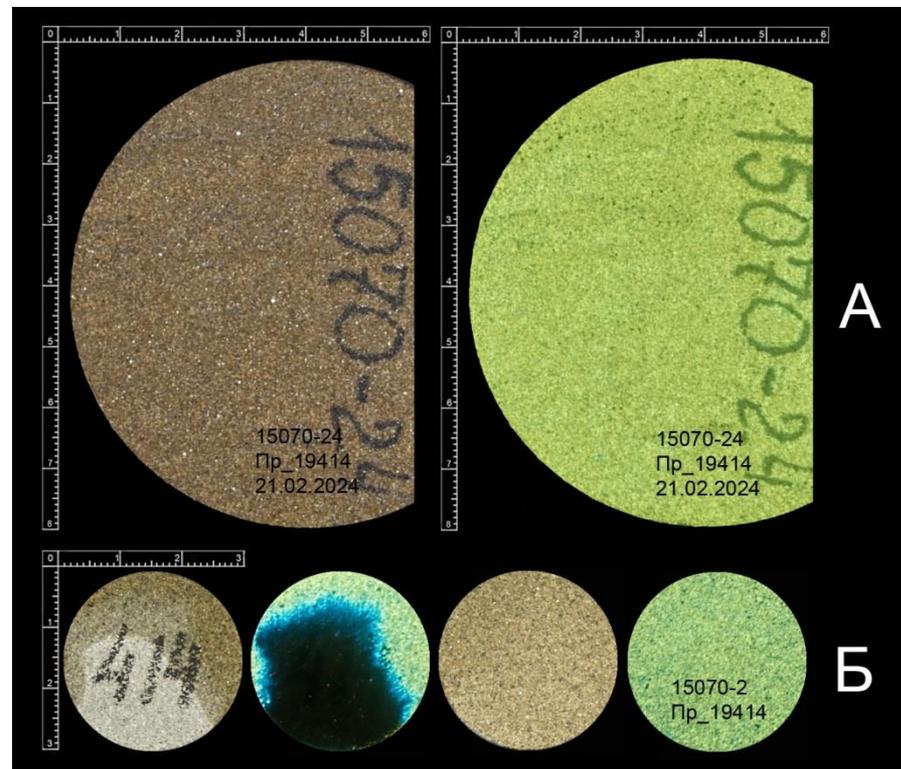


Рисунок 28. Изображения пробо-образцов нефти (820 кг/м³). Характер люминесценции при полном (А) и частичном (Б) насыщении.

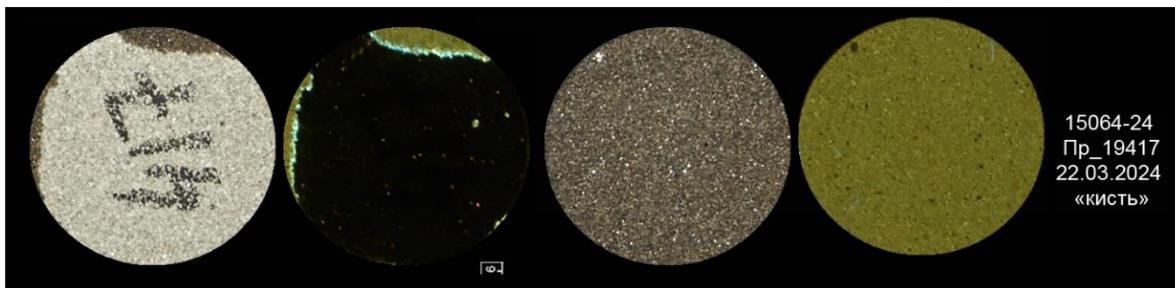


Рисунок 29. Изображения пробо-образца нефти (871 кг/м³). Характер люминесценции при частичном насыщении.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ

Анализ изображений пробо-образцов нефти с разными петрофизическими параметрами, показал, что: 1) фильтрационно-емкостные свойства образцов не влияют на цветность люминесценции нефти; 2) минеральная люминесценция горных пород изменяет люминесценцию нефти.

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, характер люминесценции пробо-образцов пластовой нефти с желтой люминесценцией указывает на то, что приток нефти получен из песчаников пласта с бурой окраской и желтой люминесценцией. Все участки пласта с люминесценцией нефтенасыщения сине-голубого спектра относятся к ТриЗ.

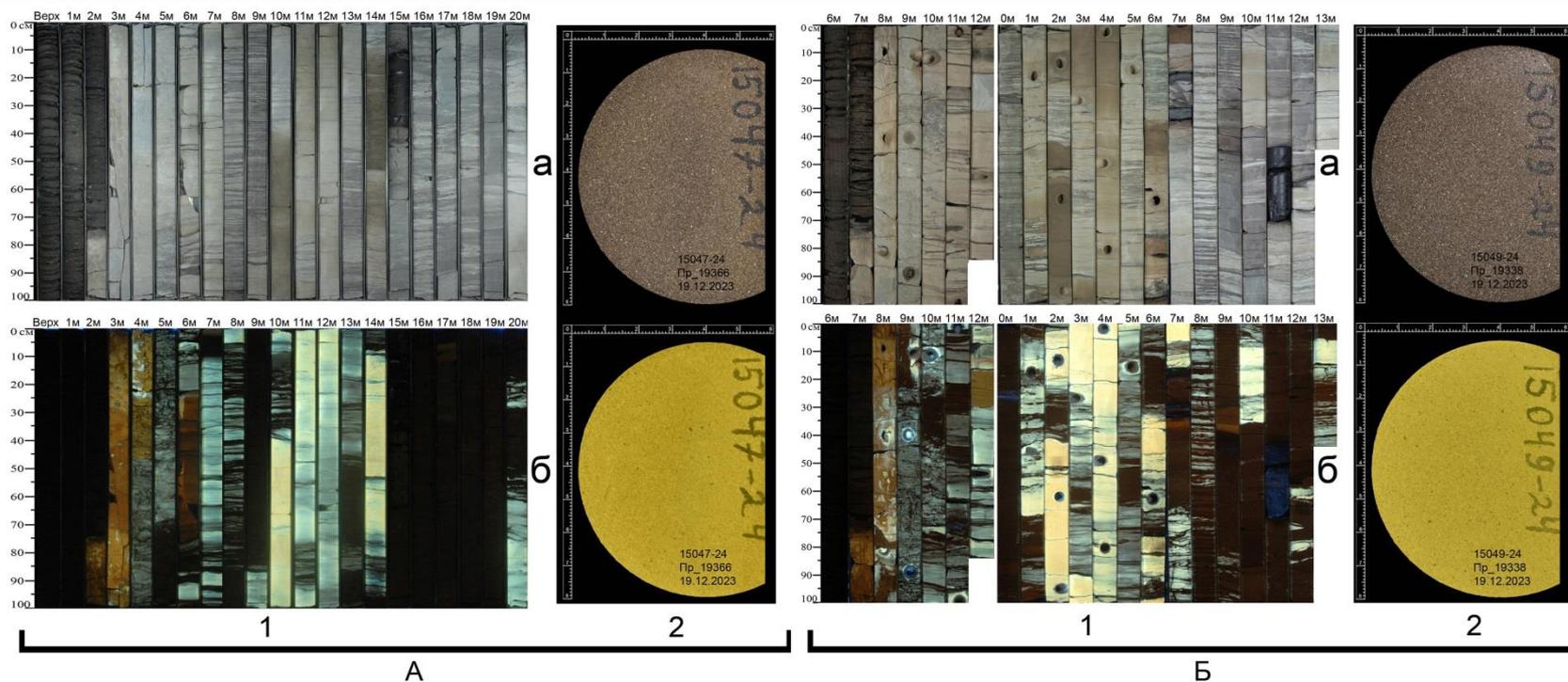


Рисунок 30. Фотоизображения (в УФО) керна и пробо-образцов пластовой нефти на разных скважинах (А, Б) одного месторождения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты изучения показали состоятельность метода и результативность его применения.

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 керн.

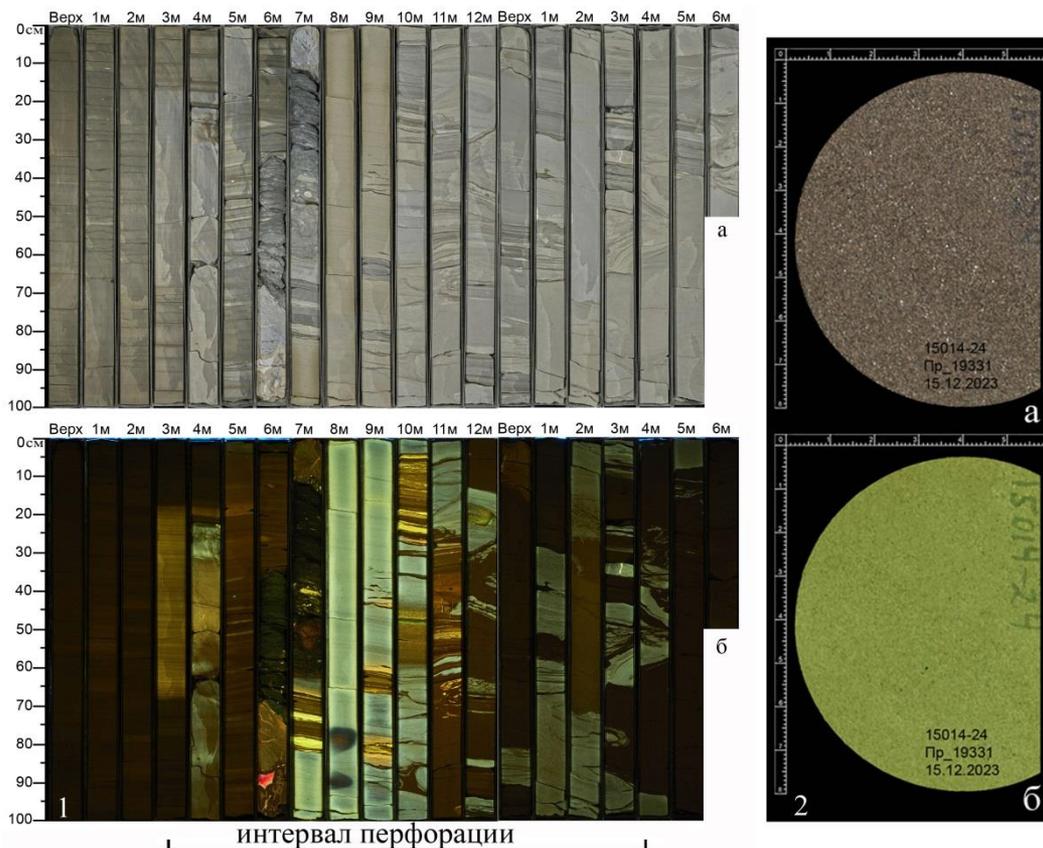


Рисунок 31. Характер люминесценции нефтенасыщения горных пород и нефти в пробо-образце керн. Фотоизображения керн (1) в ДО (а) и УФО (б) и фотоизображение пробо-образца нефти (2) в ДО (а) и УФО (б) из поверхностной пробы №19331.

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-асфальтеновые УВ NSO, % масс
		при T 20°С	при T 50°С			воды	серы	асфальтенов	смол	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 32. Свойства нефти поверхностной пробы №19331

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы получен главный производственно-научный вывод: **«В пористой среде керна разный компонентный состав нефти имеет разную цветность люминесценции»**. То есть, изменение цветности люминесценции у нефтенасыщенных горных пород в колонке керна связано с изменением компонентного состава нефти.

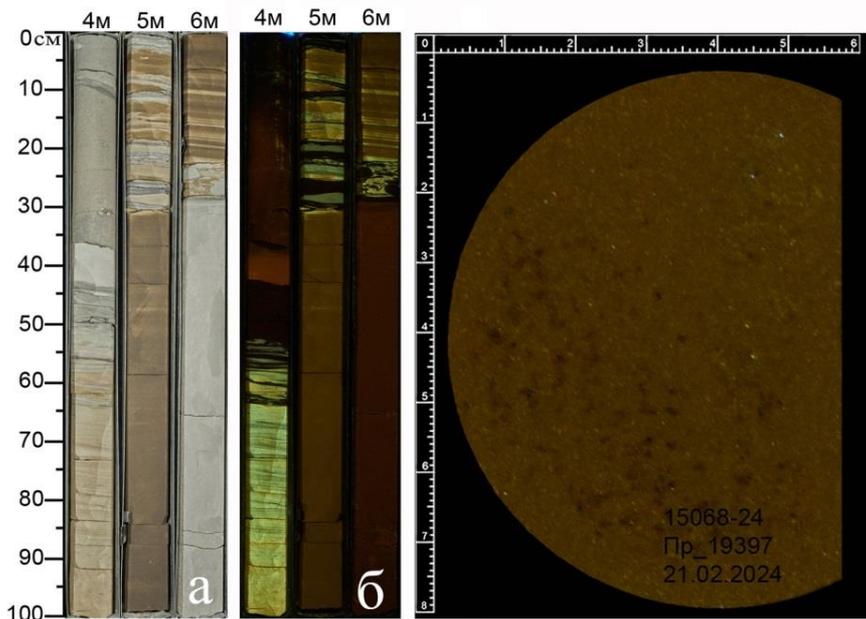


Рис. 35. Фотоизображения керна (1) в ДО (а) и УФО (б) и фотоизображение пробо-образца нефти в УФО из поверхностной пробы №19397.

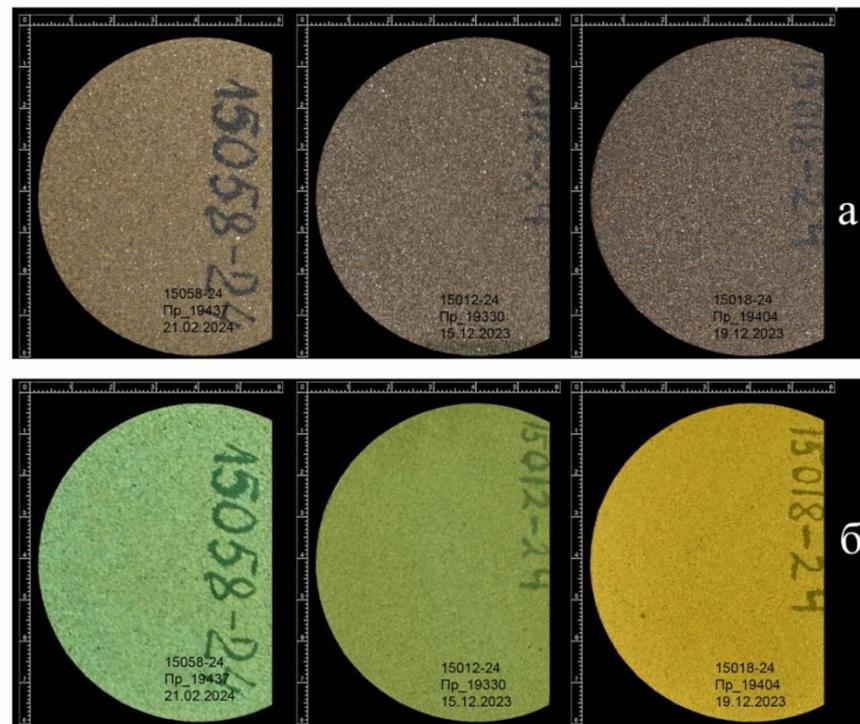


Рис. 33. Фотоизображения пробо-образцов нефти в ДО (а) и УФО (б) из поверхностных проб.

Хроматография											Пиролиз		
Код пробы	Плотность нефти при T 20°C, кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /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	смоляных	парафинов			
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.36. Свойства нефти поверхностной пробы

Код пробы	Номер пробо-образца лабораторный	Плотность нефти при T 20°C, кг/м ³	Кинематическая вязкость, мм ² /с		T застывания, °C	Молекулярная масса, г/моль	Массовое содержание, %					Пиролиз		
			при T 20°C	при T 50°C			воды	серы	асфальтенов	смоляных	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.34. 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.37. 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. Корреляция свойств нефти из пробы и из керна позволит выделять участки эффективных коллекторов и участки ТриЗ.



«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>