XXIV международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

# Светодиодный мини-спектрометр для экспресс-анализа материалов

Бондаренко М. А., Бондаренко А. В., Ядчук К. А.



РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ

Более 30 лет инноваций

www.rastr.net

Москва, 9 – 13 ноября 2026

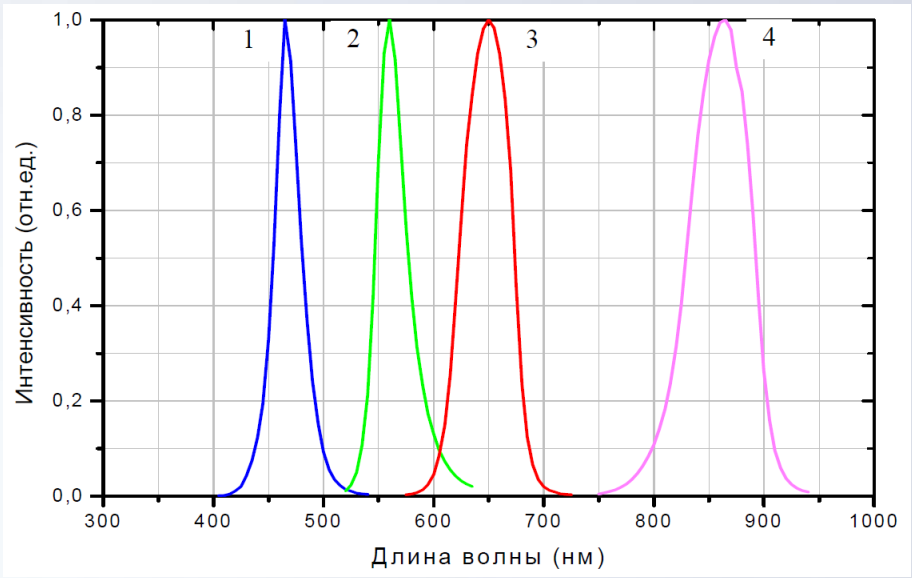
# Задачи вспомогательного оборудования для дистанционного зондирования

- **Создание спектральных библиотек материалов**
- **Обработка баз данных спектров или спектрозональных изображений**
- **Оценка информативности и выбор спектральных каналов для дистанционной съёмки**
- **Выбор оборудования для дистанционного зондирования с учётом выявленных оптических свойств поверхностей целевых объектов**

В докладе показан пройденной фирмой путь от лабораторного макета, занимающего письменный стол (2006), до серийного беспроводного мини-спектрометра размером с наручные часы (2026), работающего в связке с мобильным приложением, позволяющего решать указанные задачи.

# Комплекс «Спектр»: оптический экспресс-контроль твёрдых и жидких биологических сред[1] (2006)






Фотосъёмка объекта интереса производилась монохромной камерой через 4-х канальную светодиодную подсветку

Комплекс различает объекты, визуально неразличимые при обычной фотографии, что позволяет автоматизировать обработку получаемых данных по спектральным образам объектов в пространстве спектральных зон.

Совместная разработка Растр Технолоджи и Межинститутской научно-исследовательской лаборатории оптоэлектронной квалиметрии (МНИЛОК)

[1] Дроханов А. Н., Краснов А. Е. Видеоспектрометр для экспресс-контроля пищевых сред и готовых продуктов: Монография. – СПб.: Изд-во «Лань», 2019. – 144 с.

# Космический микроскоп-спектрометр миссии «Фобос-грунт»[1] (2008)



Совместная разработка Растр Технолоджи и института Космических исследований РАН (ИКИ РАН)

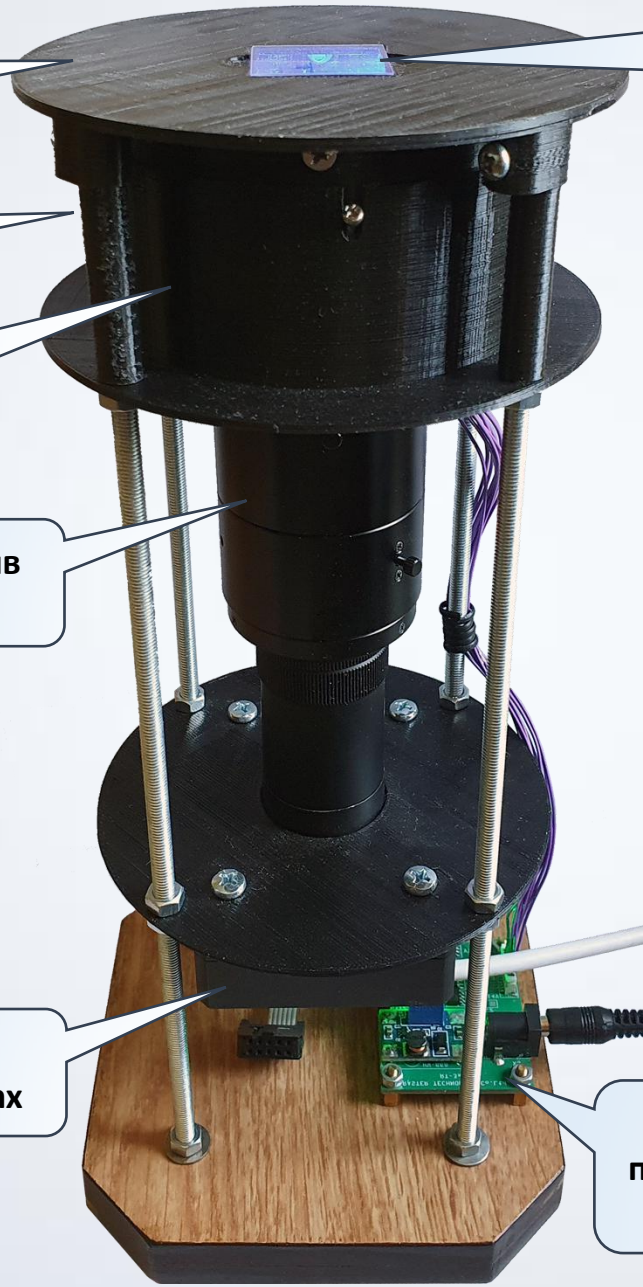



- Камера оснащена набором светодиодов с разной длиной волны излучения, что преобразует её в микроскоп-спектрометр.
- Манипулятор помещает образец грунта на предметное стекло перед объективом микроскопа и наблюдения производят при последовательном включении групп светодиодов разной длины волны.
- Спектральный диапазон от 0,4 до 0,7 мкм в пяти спектральных зонах подсветки позволяет наблюдать компонентный состав частиц образцов грунта и спектральные характеристики отражения.

[1] Кораблёв О. И., Бондаренко А. В., Иванов А. Ю., Козлов О. Е., Котцов В. А., Ульянов А. Б., Бибринг Ж.-П., Фурмонд Ж. Ж. Микроскоп-спектрометр проекта «Фобос-Грунт» // Астрономический вестник, 2010, т. 44, № 5, с. 431–436.

# Роботизированный 8-зональный микроскоп-спектрометр RT-1280MS (2022)

**Прибор выполняет автоматический спектрально-текстурный анализ материалов: твёрдых, сыпучих и жидких сред**



Диаметр предметной площадки 110 мм

Прижимное кварцевое стекло

Высота 282 мм

Ёмкость со светодиодной подсветкой

Объектив 50 мм

Калибровочный эталон диффузного отражения

Камера RT-1280Lynx

Плата управления питанием камеры и светодиодов



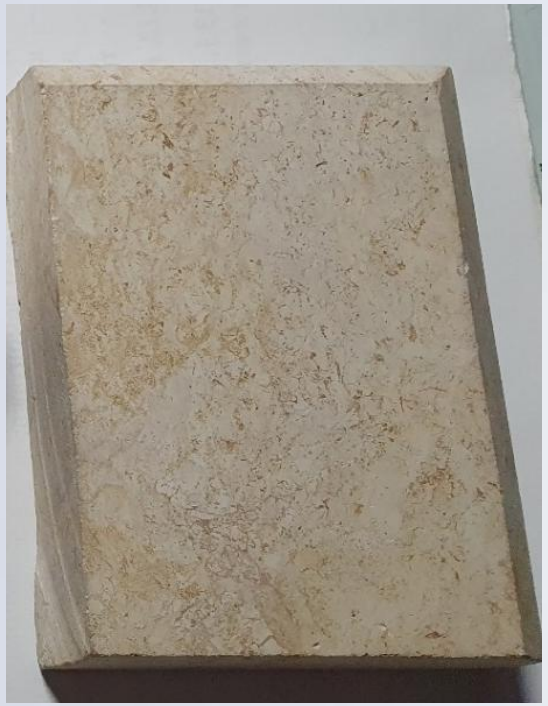
Адаптер питания 12В, 1.5А




Плата управления RT-650CXP

Подробнее о разработке:
[rastr.net/product/special/ndt-system/spektr](rastr.net/product/special/ndt-system/spektr)

# Пример сканирования образца



Шлифованный травертин

**Гистограммы спектрозональных изображений**

SpectumRT

Съёмка | Базы данных | Исследование | Калибровка | О программе

Класс объекта: Травертин

Описание объекта:

Качество оцифровки: 8 бит 12 бит

Управление камерой: Видео Стоп-кадр

Затвор: 0.1719 сек

Сканировать | Сохранить скан | Вывод RGB

Белый | 395 нм | 470 нм

520 нм | 590 нм | 660 нм

770 нм | 850 нм | 940 нм

Режимы сканирования

395 нм | 470 нм | 520 нм | 590 нм | 660 нм | 770 нм | 850 нм | 940 нм

# Анализ по базе эталонных спектрозональных образов




**Сравнение спектров спила при повторном сканировании со сдвигом**

SpectumRT

Съёмка | Базы данных | Исследование | Калибровка | О программе

Анализ объекта

Класс: Известняк № записи в базе: 2

Описание: Дивноморское

Вероятность принадлежности к эталонам

Известняк: 69,67%
Травертин: 8,3%
Кварц: 5,11%
Белый мрамор: 5%
Песчаник: 4,84%
Лабрадор, шлиф: 4,63%
Красный гранит: 2,45%

Сохранить в отчёт

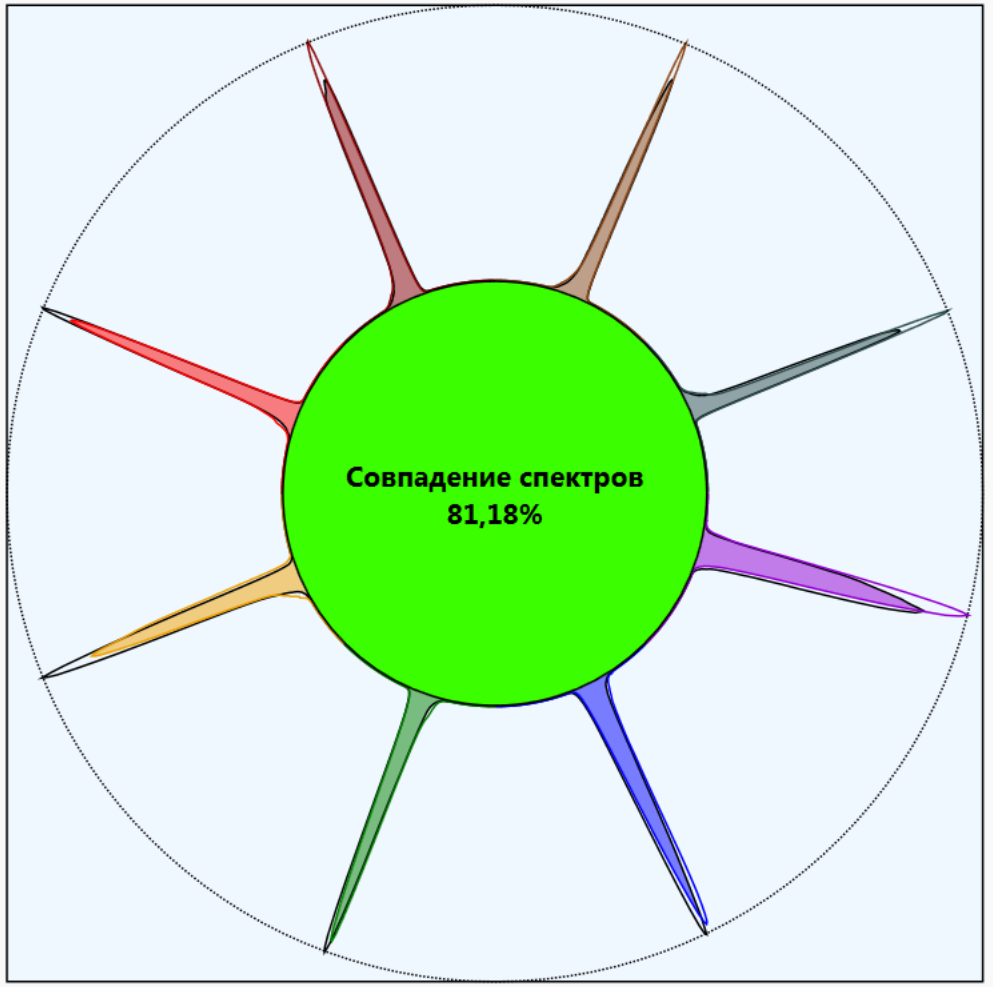
Тест на достоверность

Доля верно распознанных объектов

69,67% >> 8,3%
Существенное отличие

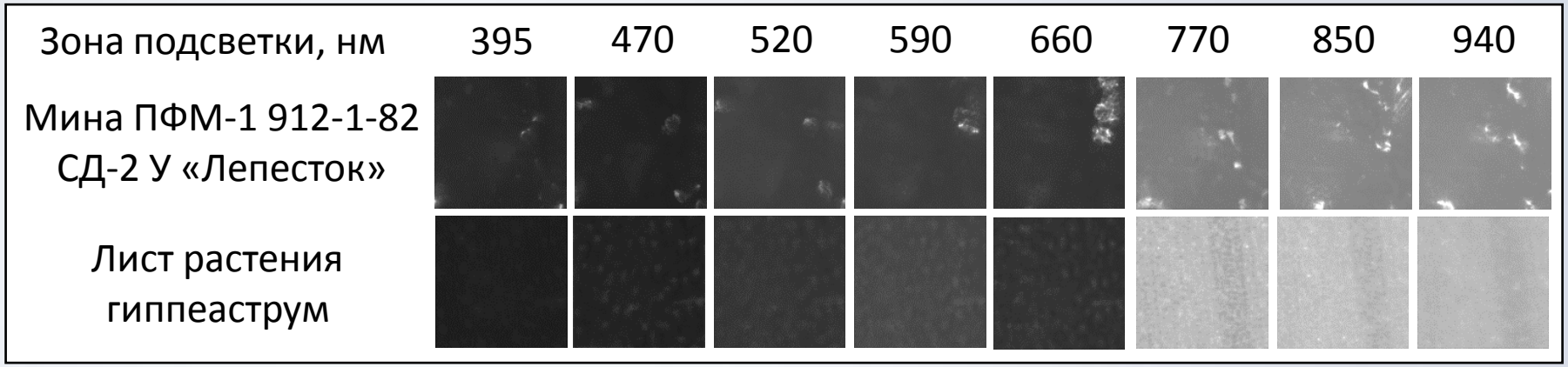
Сохранить в отчёт

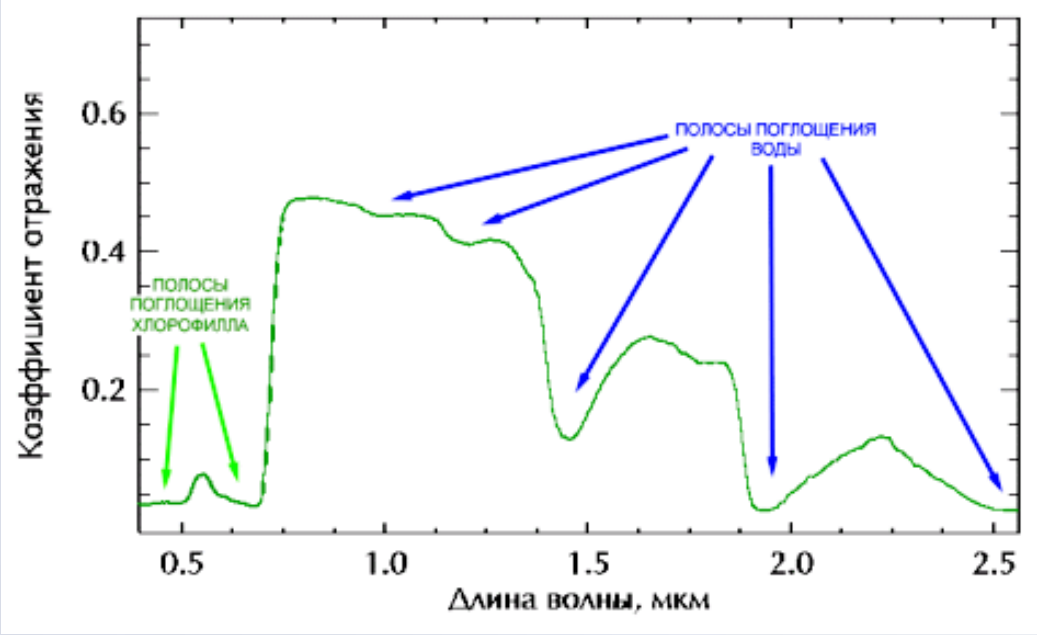
Сравнение спектра образца с наиболее близким эталоном



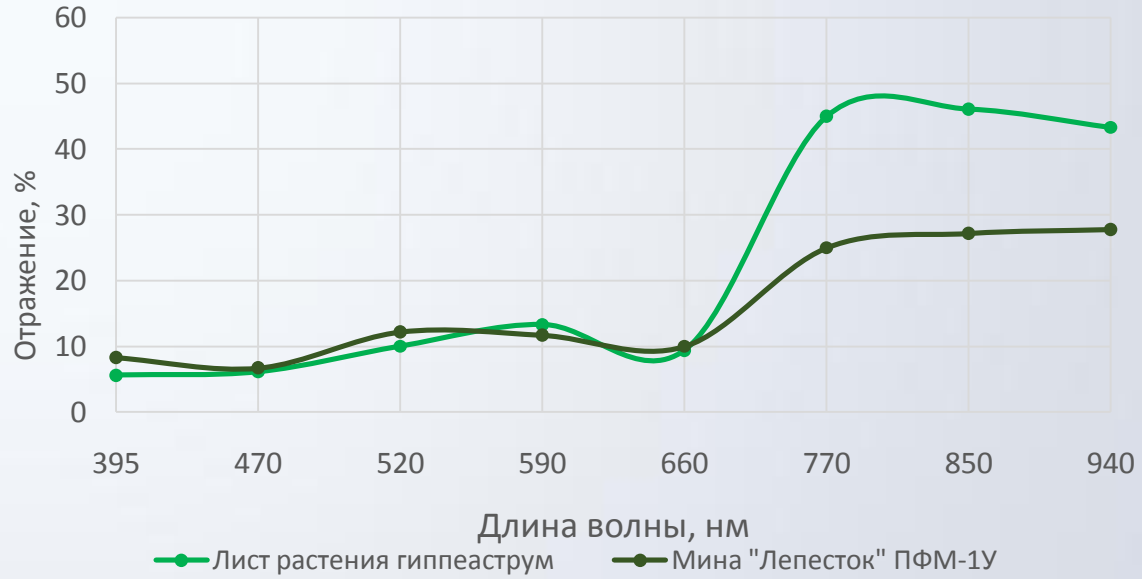
# Исследование контраста RT-1280MS противопехотной мины ПФМ-1 «Лепесток» на фоне растительности[1] (выбор оптического фильтра для дистанционного зондирования)





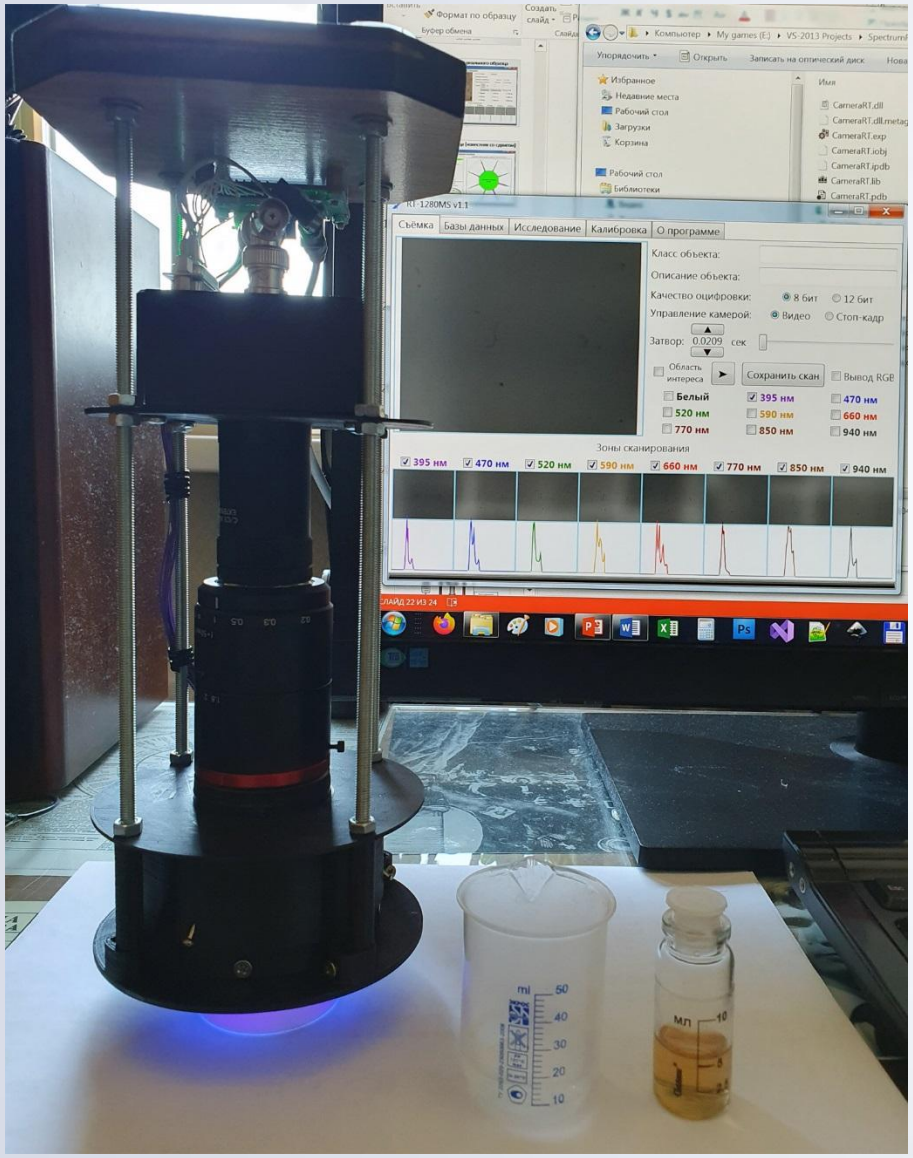




Типичный спектр отражения зелёной растительности




[1] Бондаренко М. А., Бондаренко А. В., Маринина Л. А., Кобозев А. А. Исследование контраста противопехотной мины на фоне растительности // Военное обозрение, № 1 (19), 2024, с. 53-57

# Анализ жидких сред RT-1280MS на примере нефтепродуктов[1]

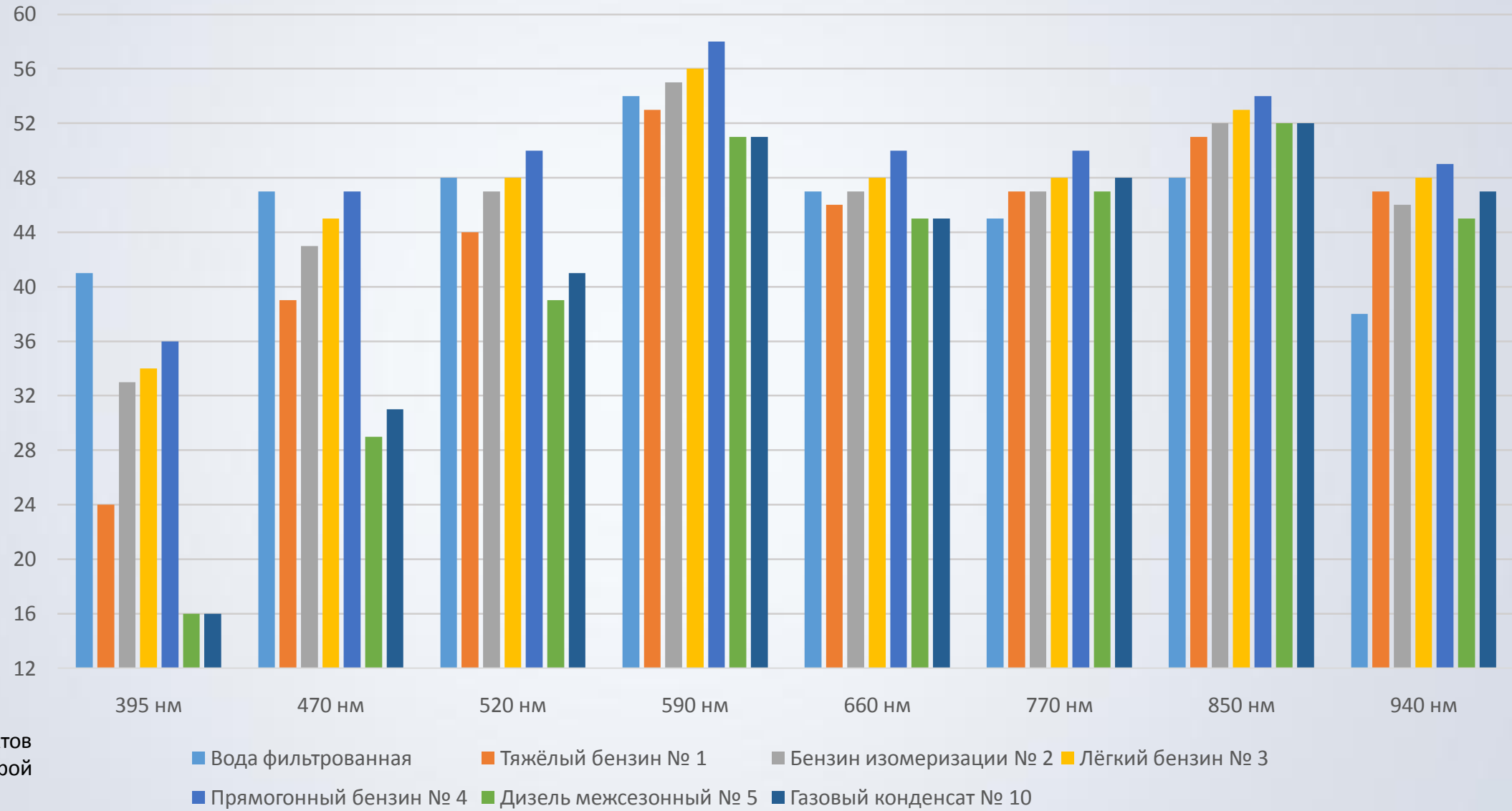



- Использовалась посуда из белого фторопласта I сорта объёмом 50 мл с плоским дном, выступающая как белый эталон диффузного отражения
- Дозатором в посуду наливалось 15 мл фильтрованной воды с погрешностью 1 мл
- 1 мл исследуемой жидкости, которая не смешивается с водой
- Прибор перевёрнут, поле зрения по центру дна посуды, затем последовательно сканируется жидкий образец. Время сканирования и анализа – не более 2 секунд.
- Наблюдаем разное пропускание и ход отражённых лучей от дна посуды в поле зрения камеры для используемых групп светодиодов с пиками подсветки 395, 470, 520, 590, 660, 720, 850 и 940 нм.

[1] Аковецкий В. Г., Афанасьев А. В., Бондаренко М. А., Лавренчук В. А., Рамирес Суарес Х. А. Методы спектральной интерпретации нефти и нефтепродуктов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2025, № 5(326), с. 43–53.

# Автоматическое различение светлых прозрачных нефтепродуктов

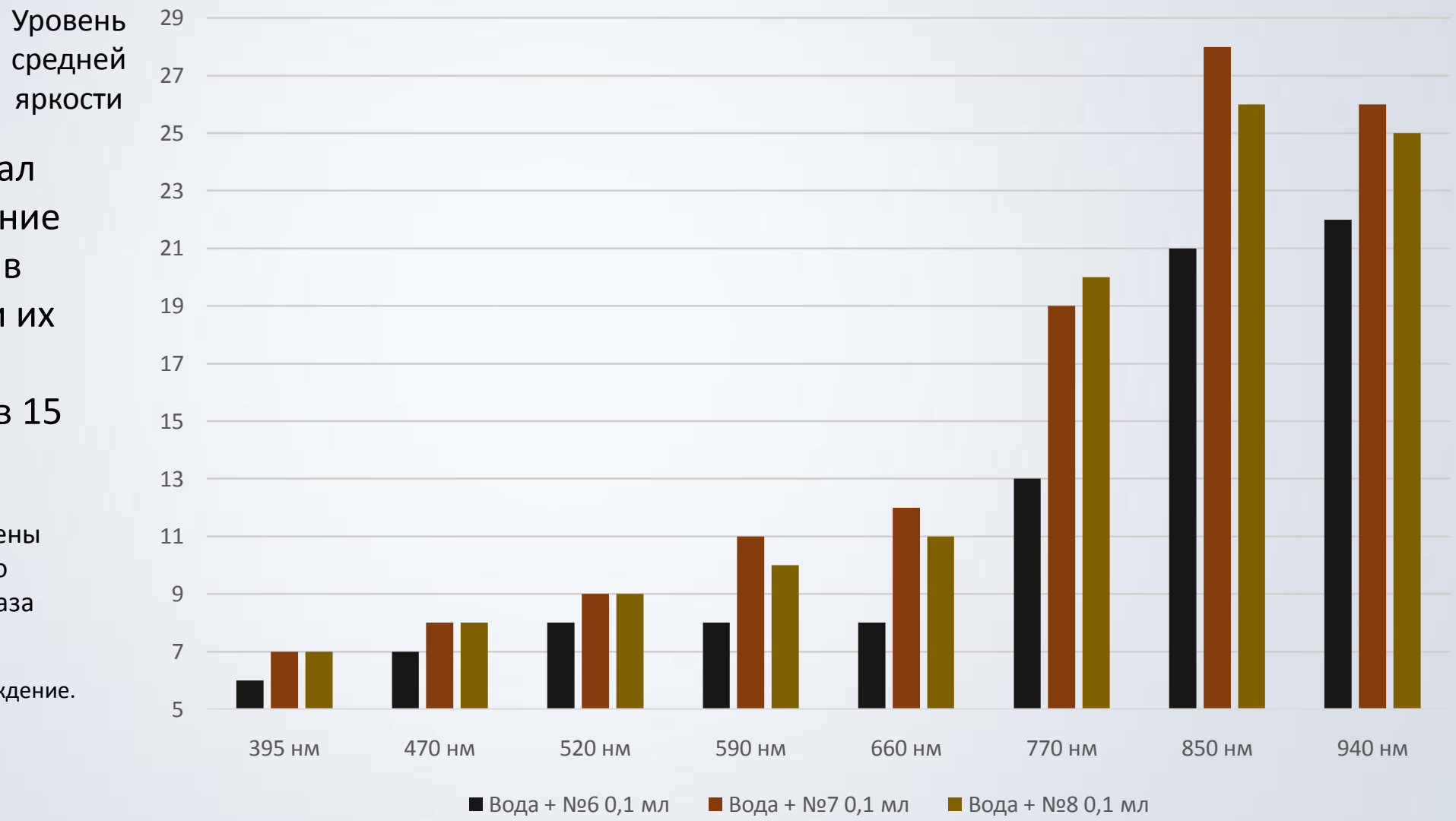
Различие в 2 градации средней яркости значимое при погрешности измерения в 1 градацию




Образцы нефтепродуктов предоставлены кафедрой Экологического мониторинга РГУ Нефти и газа им. И. М. Губкина

# Сравнение сортов нефти при их растворении в фильтрованной воде

RT-1280MS показал надёжное различение сортов нефти не в чистом виде, а при их растворении в количестве 0,1 мл в 15 мл воды

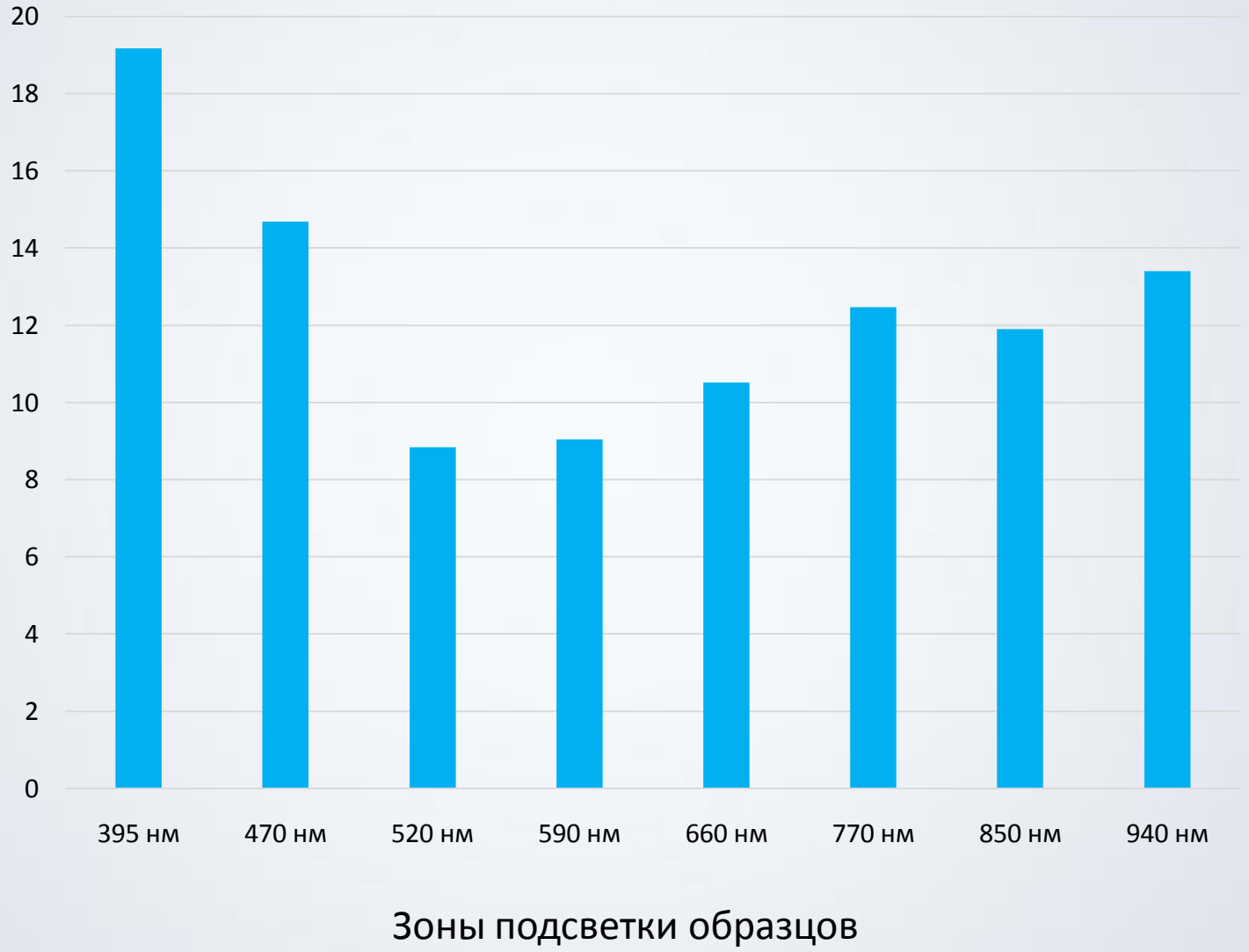



Образцы нефти предоставлены кафедрой Экологического мониторинга РГУ Нефти и газа им. И. М. Губкина

№6: Красноленинское месторождение. Скважина 91130. Пласт ВК 1
№7: Анастасиевско-Троицкое месторождение. IV горизонт
№8: Западно-Малобалыкское месторождение. Скважина 519

# Оценка информативности спектральных каналов на примере анализа плёнок нефтепродуктов

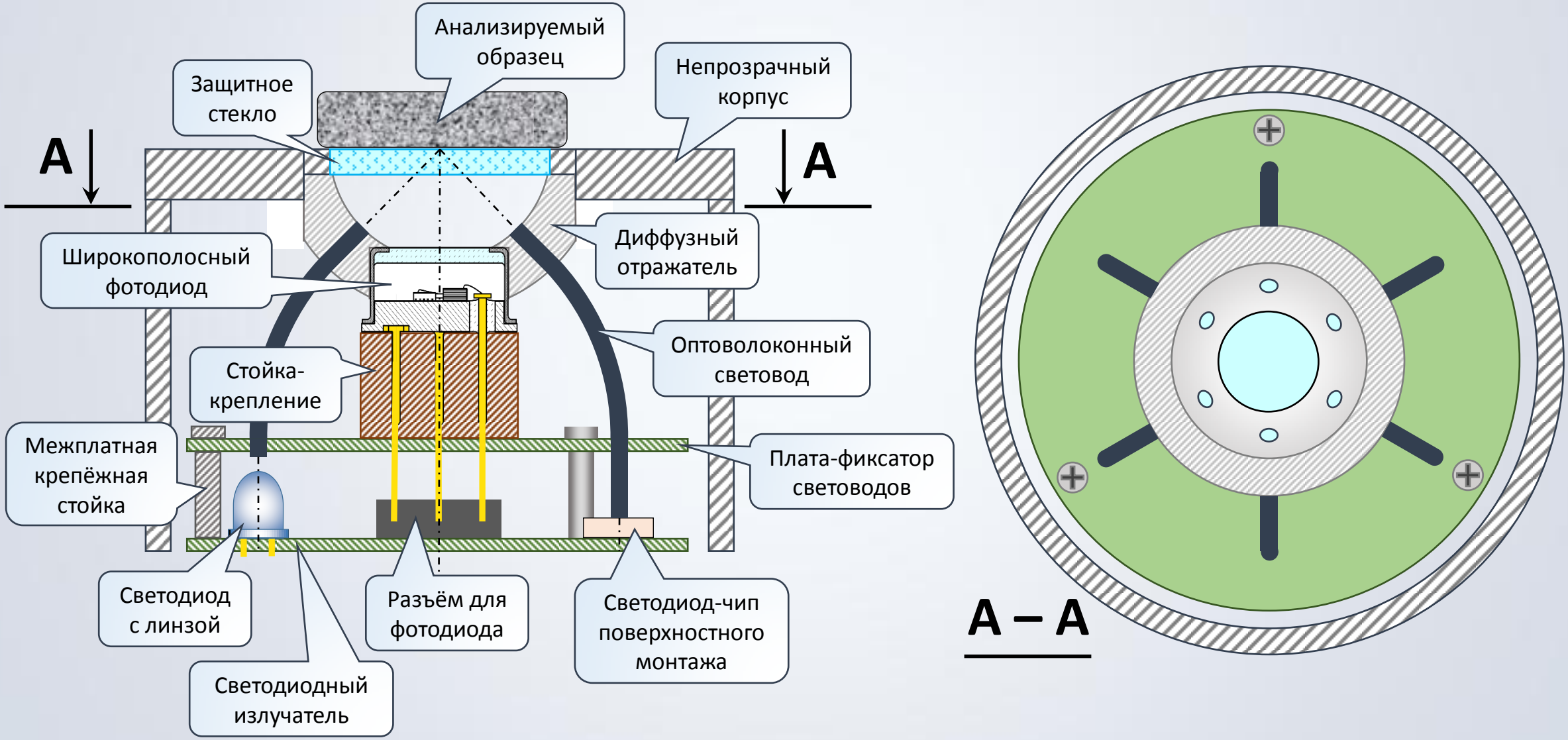
Среднеквадратическое отклонение средних яркостей образцов по зонам наблюдения по совокупности рассмотренных экспериментов



# Оптическая схема прототипа светодиодного мини-спектрометра

Полезная модель «Рабочая головка светодиодного спектрометра»

**RU 219174 U1**, приоритет от 12.04.2023

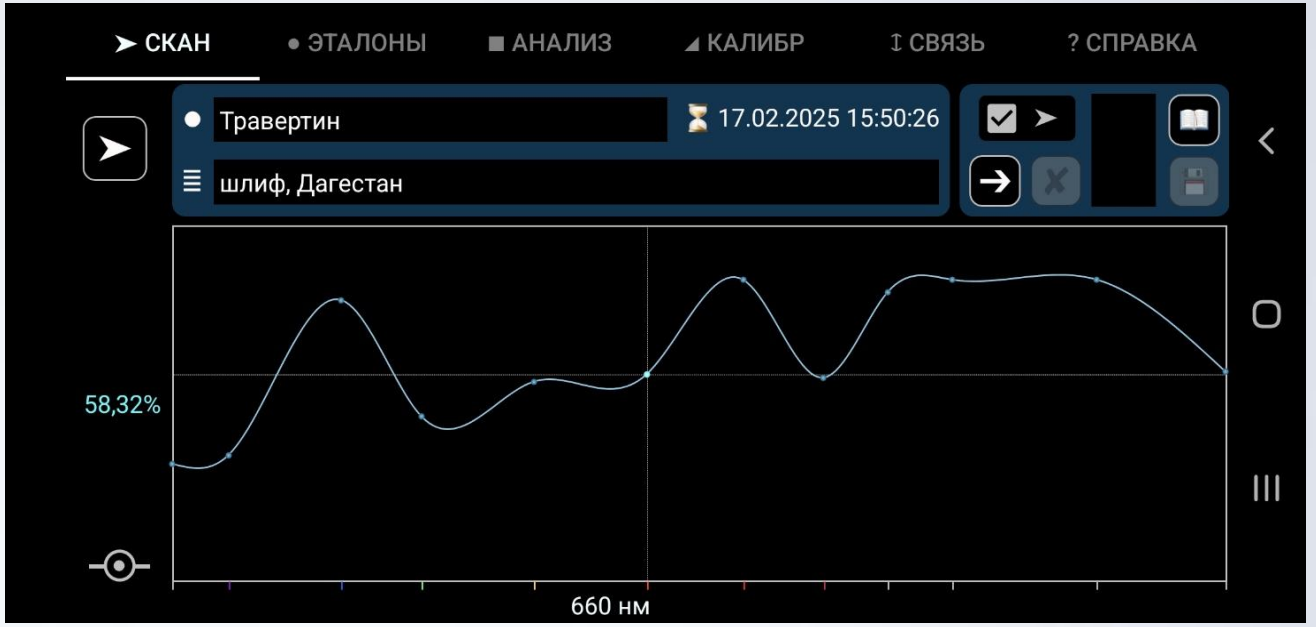


# Прототип светодиодного мини-спектрометра RT-12S (2024)

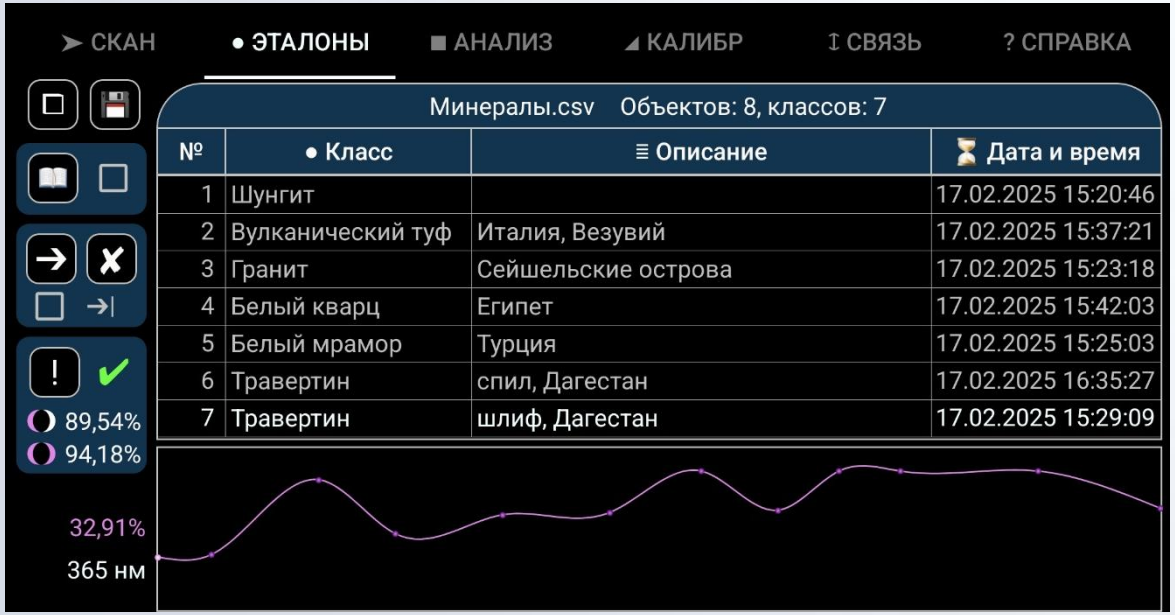
**Внешний вид рабочего прототипа**



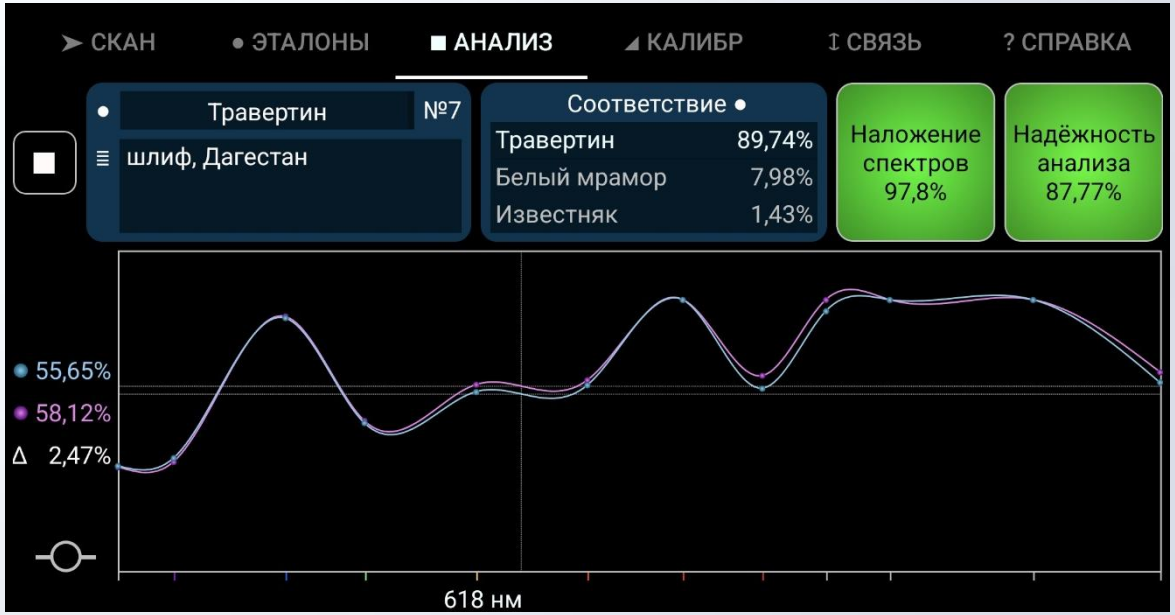

http://rastr.net/product/spectr/rt-12s




**Пример скана образца: спектр диффузного отражения от 0 до 100%**



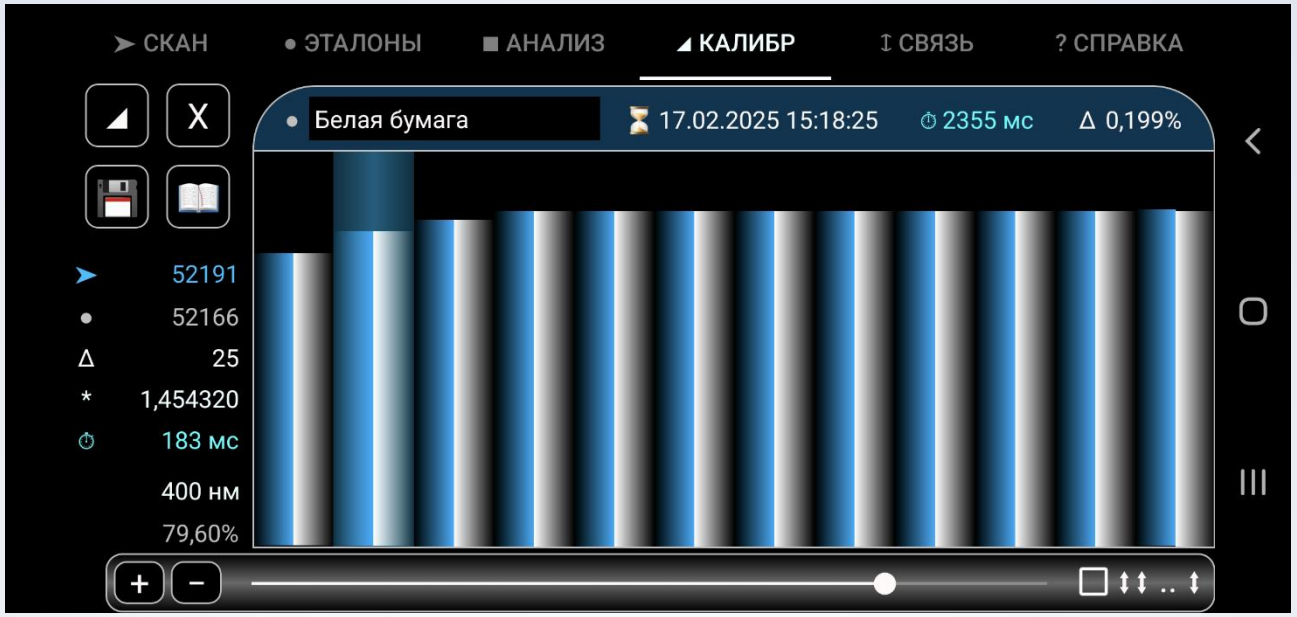

**СУБД эталонных спектров**




**Автоматический анализ образца по базе эталонов**

# Настройка и калибровка мини-спектрометра

**Автоматическая однократная программная калибровка по белому телу**

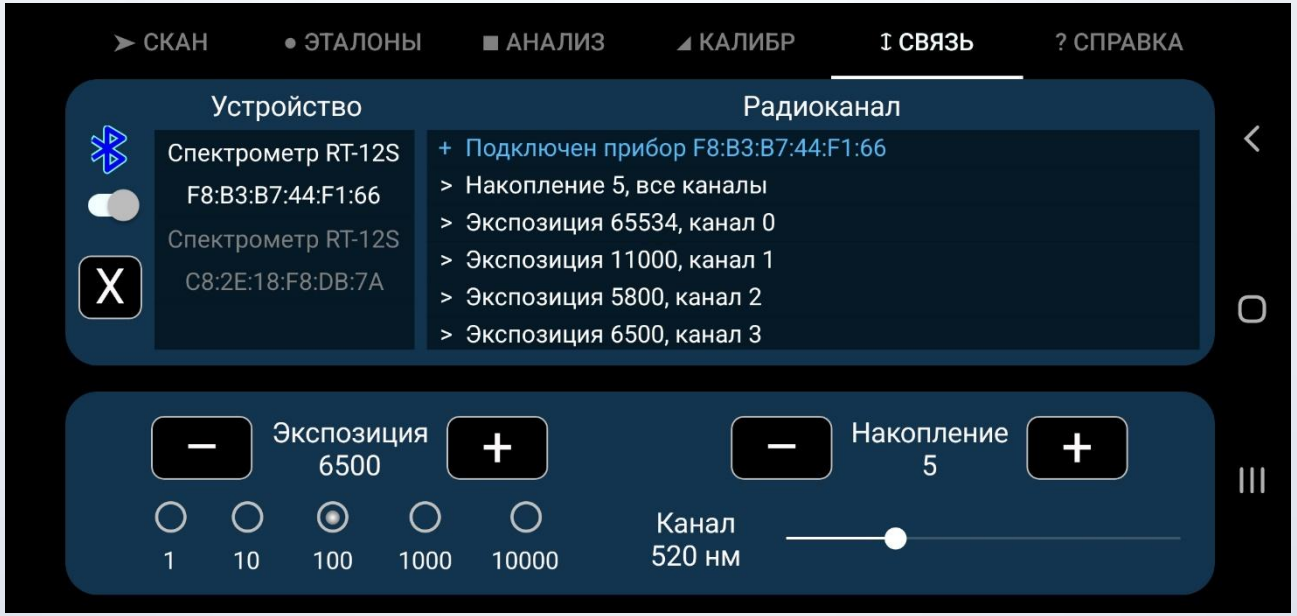



**Типовое время калибровки: 2,355 сек**

**Погрешность калибровки: 0,2%**

**Погрешность измерения диффузного отражения образцов: 0,25%[1]**

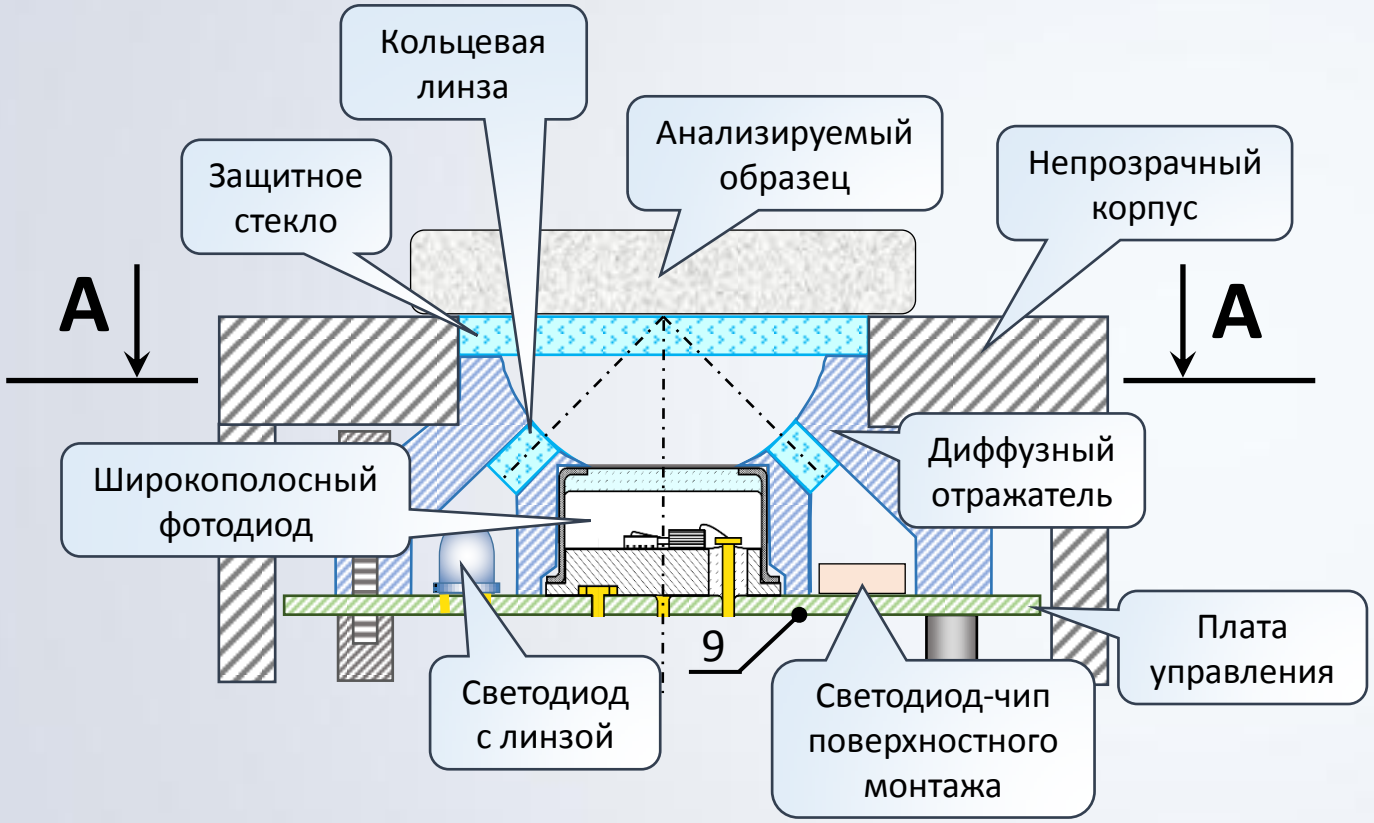
**Служебная вкладка: настройки беспроводной связи прибора, экспозиции и накопления кадров фотодетектора, лог радиоканала обмена данными**

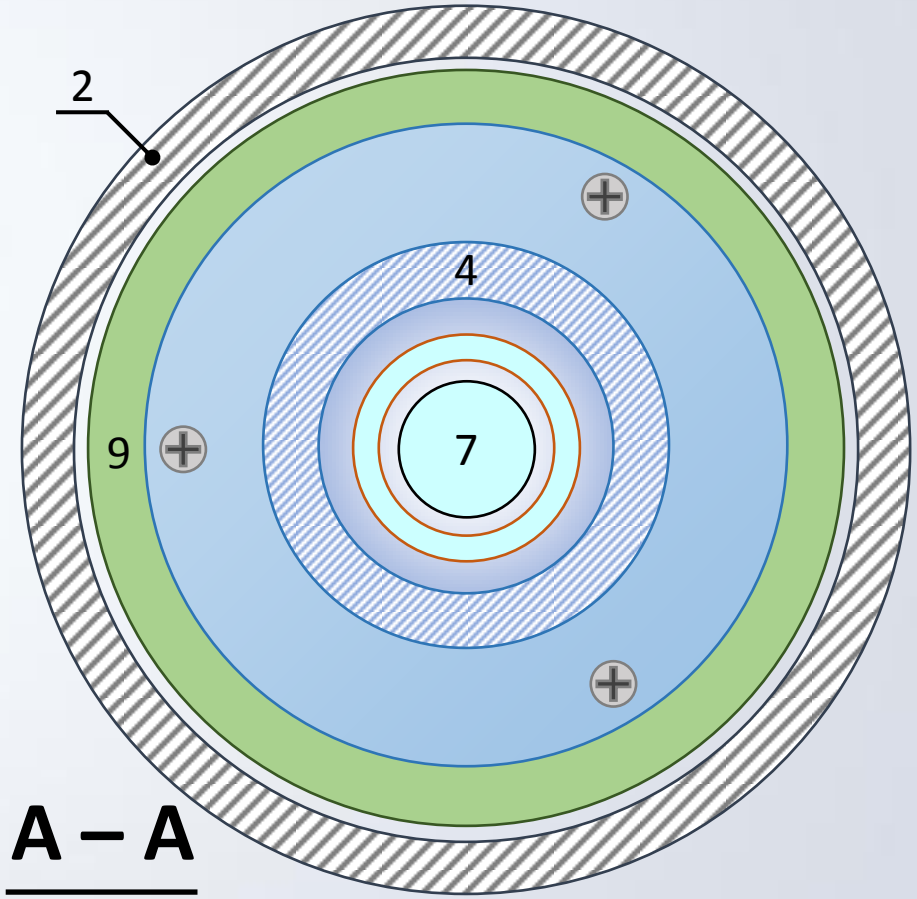



[1] Савченко Д. С., Вознесенский Д. А. Влияние влажности глинистых грунтов на их спектральную отражательную способность в диапазоне 365 – 1020 нм // Экспериментальное грунтоведение, 2026, № 1, с. 41–51

# Оптическая схема серийного светодиодного мини-спектрометра

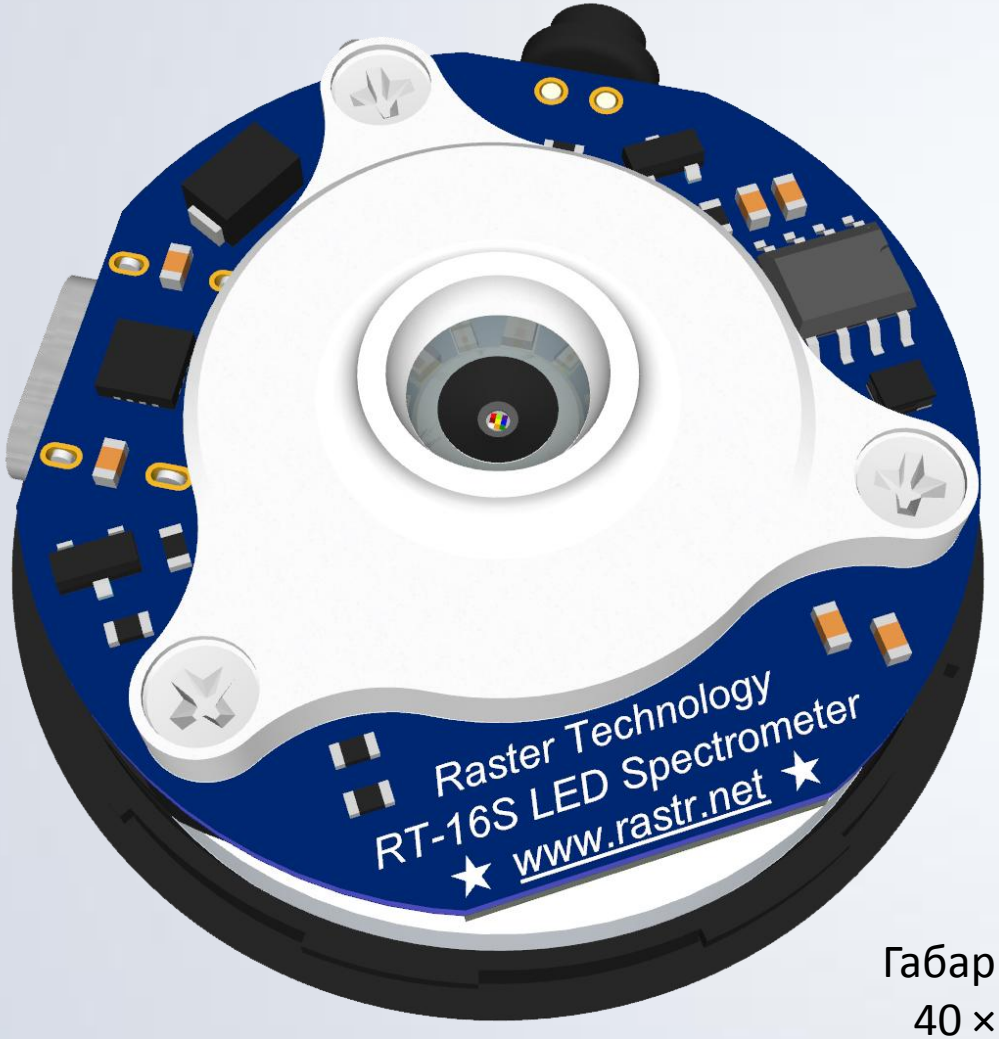
Полезная модель «Рабочая головка светодиодного спектрометра» **RU 246459 U1**, приоритет от 04.08.2026

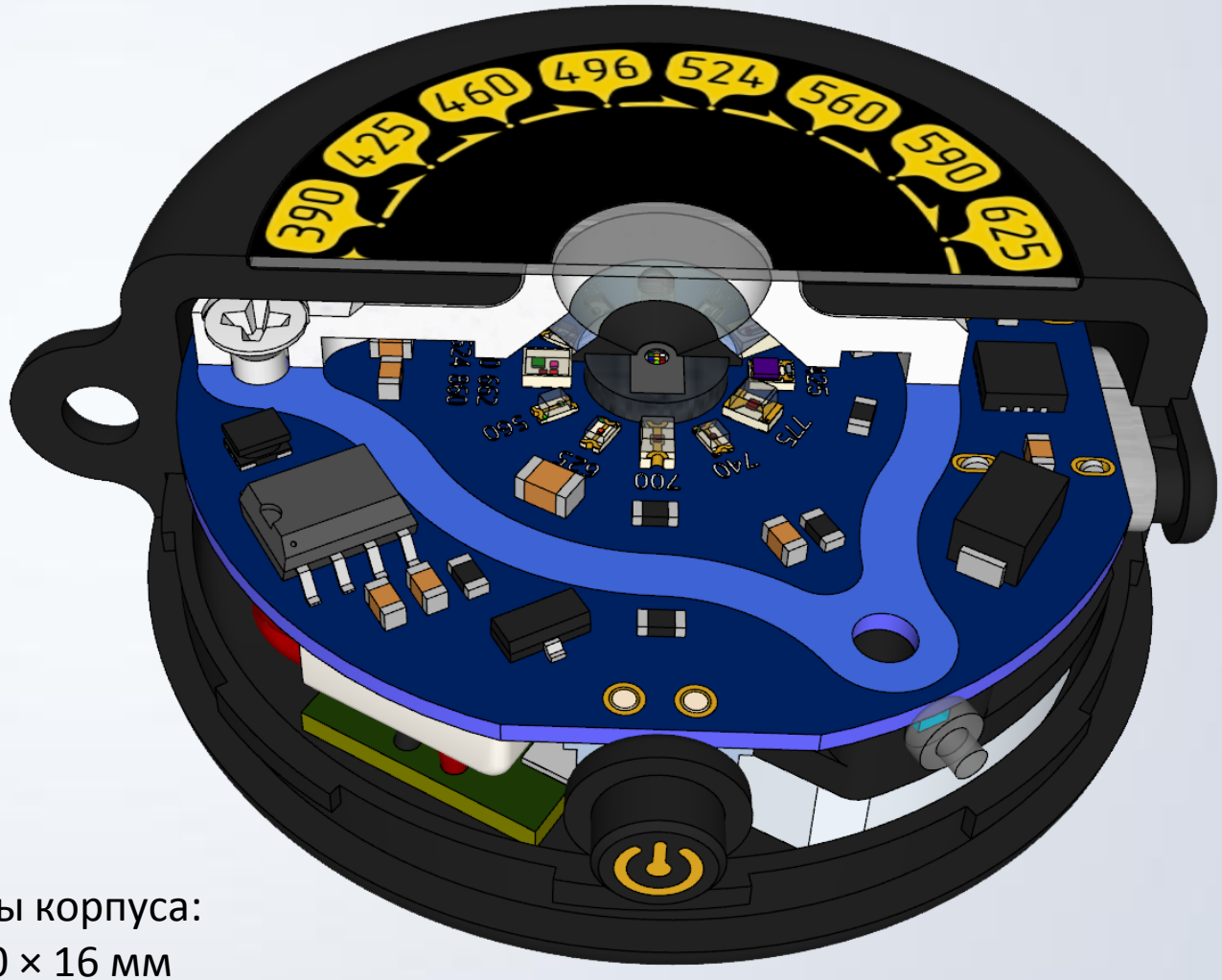



- ✓ Существенное уменьшение габаритов
- ✓ Высокая оптическая эффективность
- ✓ Унификация оптической части под различное число светодиодов
- ✓ Снижение себестоимости производства

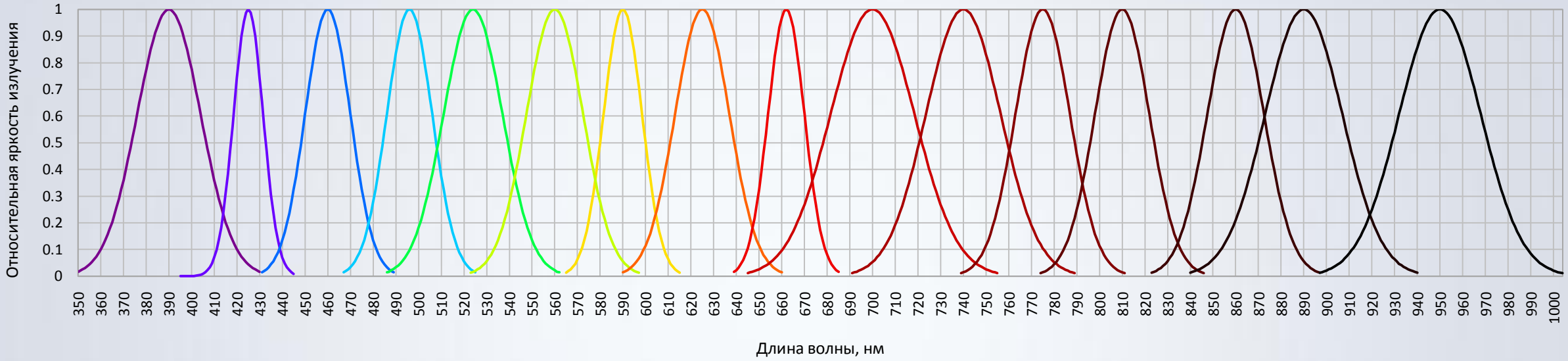
# Конструкция серийного светодиодного мини-спектрометра RT-16S (2026)




Габариты корпуса:
40 × 40 × 16 мм

# Спектральная характеристика RT-16S




Спектрально независимых зон: 16

Пики подсветки: 390, 425, 460, 496, 524, 560, 590, 625, 662, 700, 740, 775, 810, 860, 890 и 950 нм

Спектральное разрешение: от 28 до 60 нм

Среднее спектральное разрешение: 37 нм

# RT-16S с насадкой для измерения спектров пропускания жидкостей

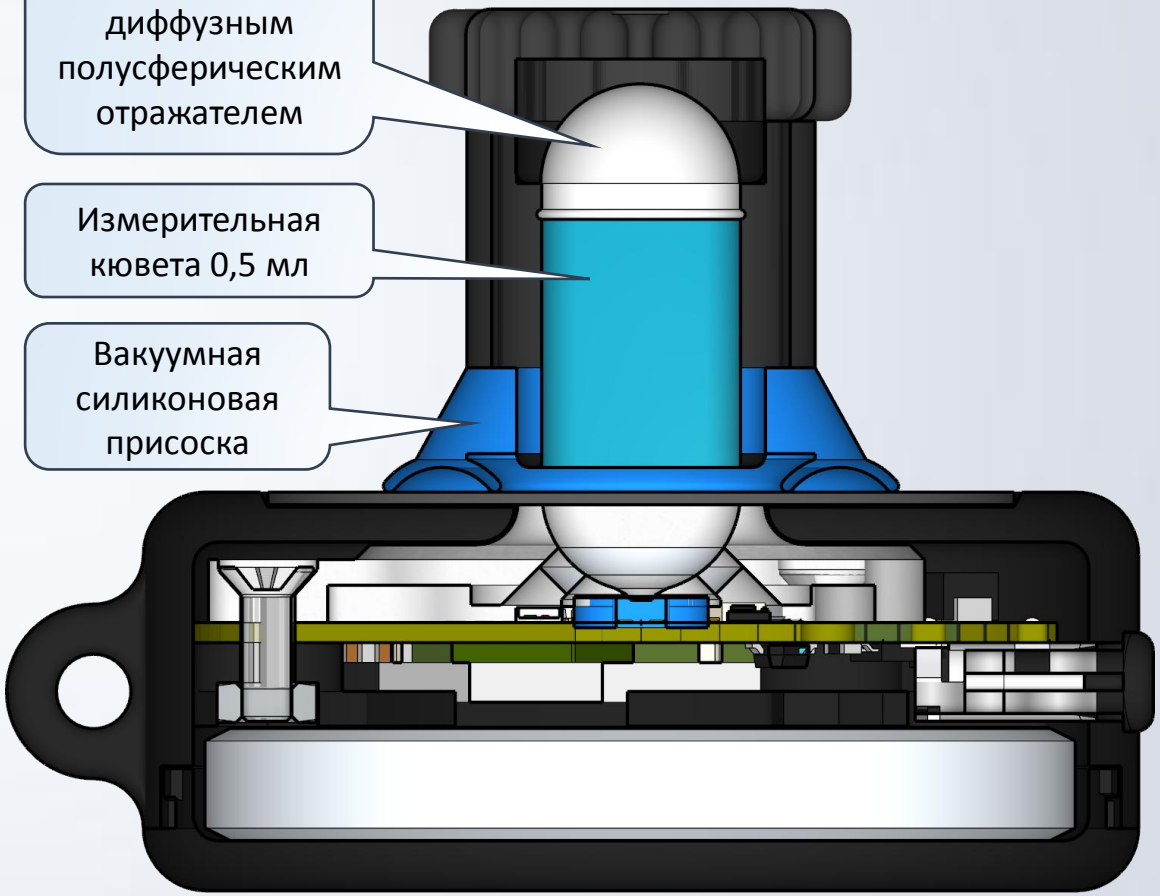



Предметное кварцевое стекло с рисками для установки

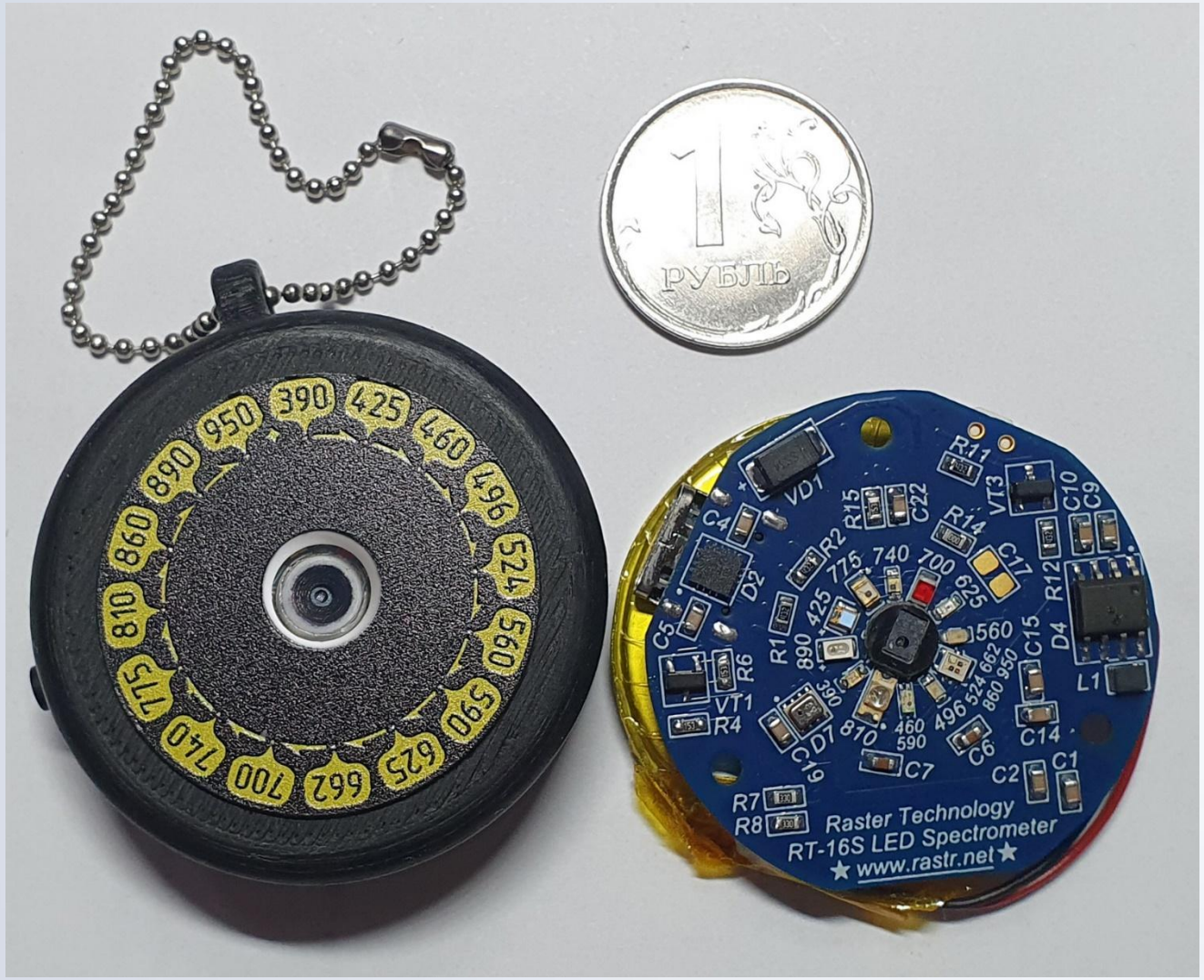
Пробка с диффузным полусферическим отражателем

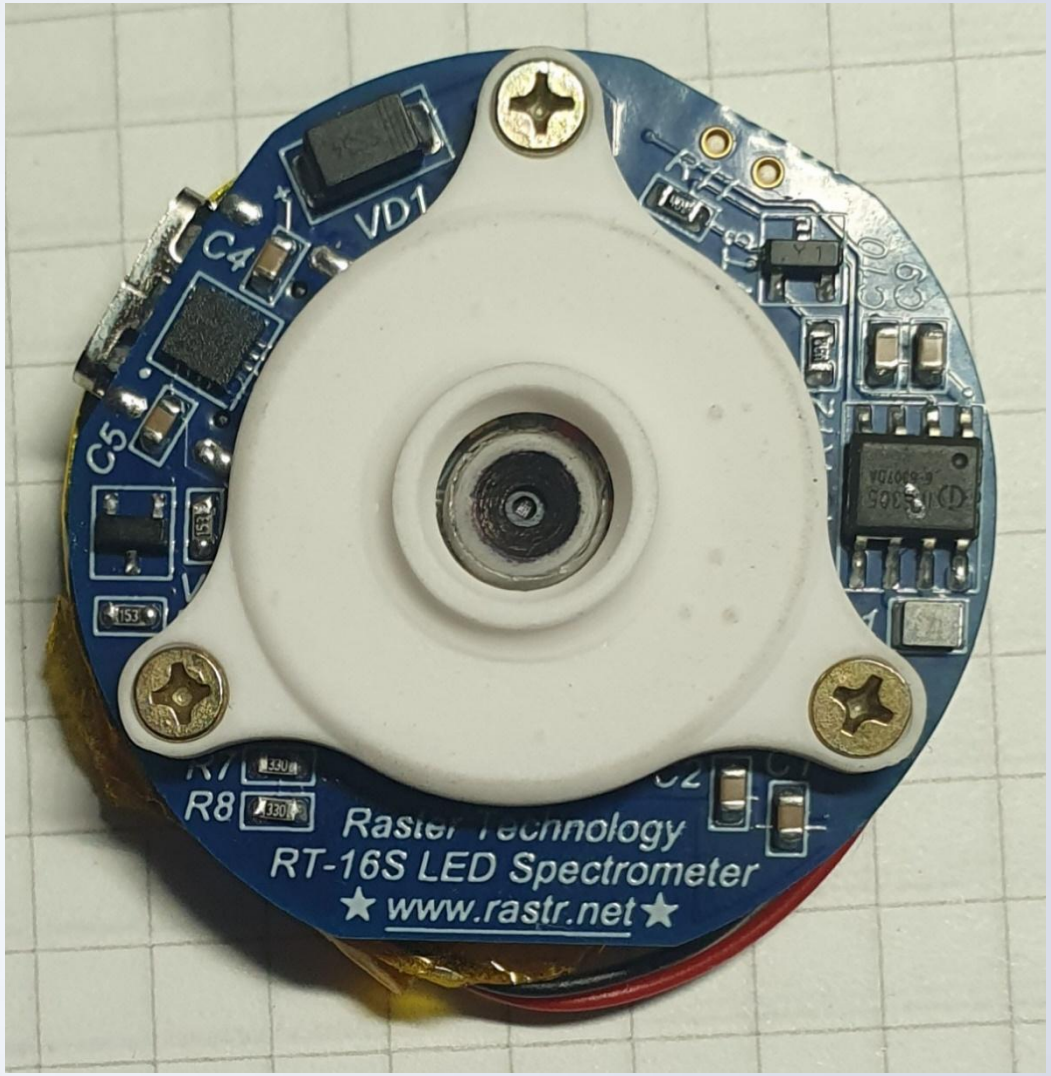
Измерительная кювета 0,5 мл

Вакуумная силиконовая присоска



# Фото серийного образца RT-16S




**Первая партия спектрометров RT-16S, как серийных коробочных продуктов, будет доступна к началу 2027 года!**

# Спасибо за внимание!