



ИРКУТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



Всероссийская конференция  
Морская биология в 21 веке:  
биология развития, молекулярная  
и клеточная биология, биотехнология  
морских организмов  
г. Владивосток, Россия, 12-15 сентября 2023 г.

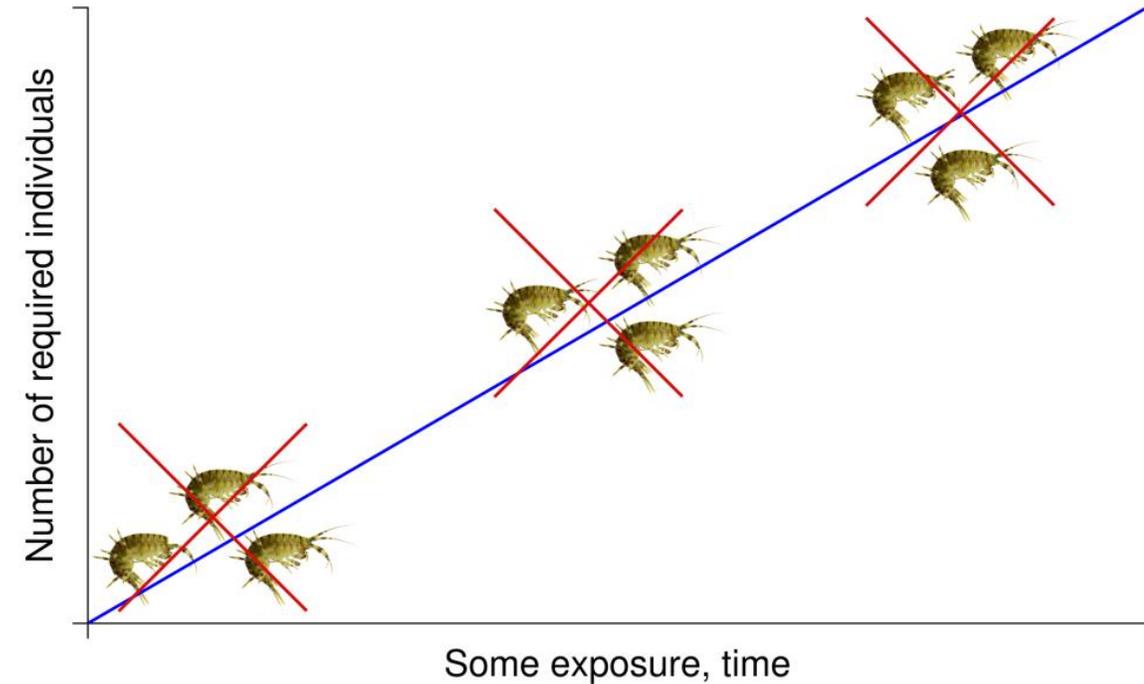
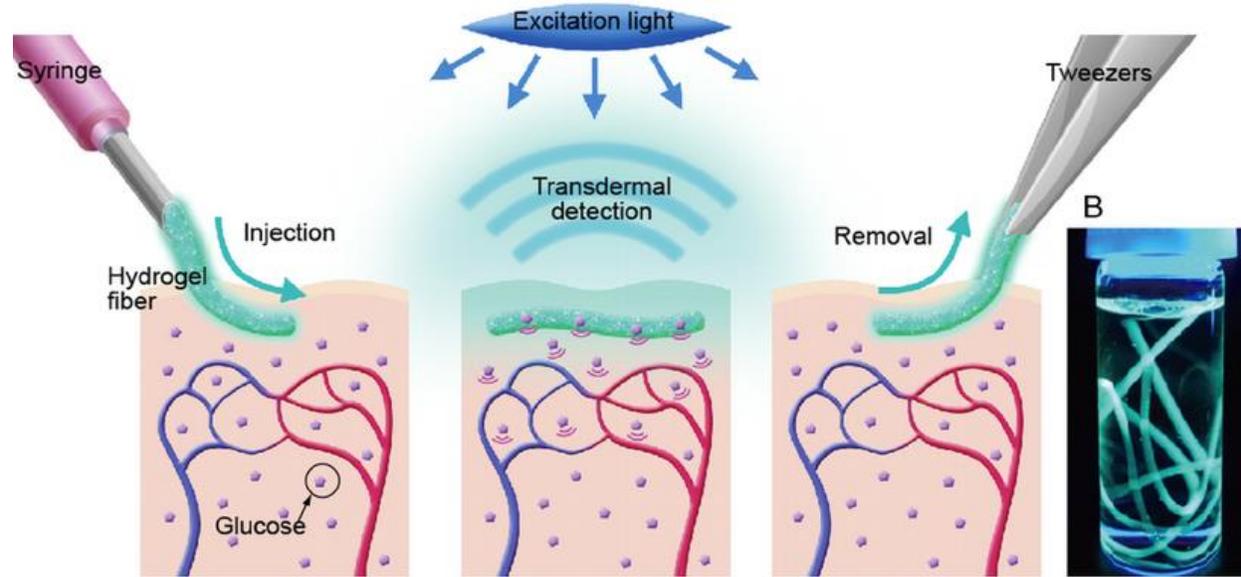
# Варианты исполнения имплантируемых оптических сенсоров для применения в рыбах и ракообразных на примере pH-сенсоров

Антон Гурков, Екатерина Щапова, Ярослав Ржечицкий, Екатерина Борвинская,  
Анастасия Дягилева, Максим Тимофеев

к.б.н., в.н.с. НИИ биологии ИГУ

# Имплантируемые оптические сенсоры и зачем они нужны

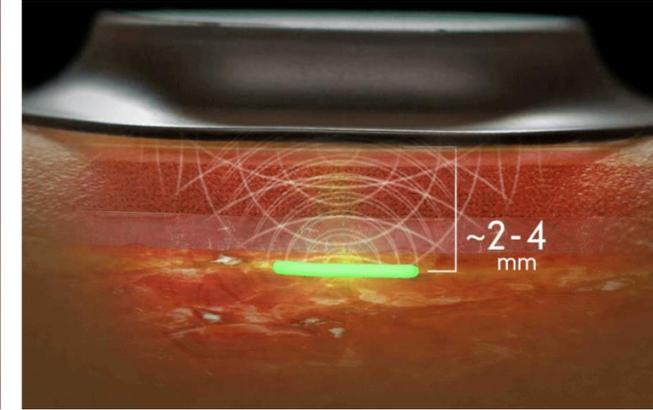
Молекулярные и микрозонды в полимерных носителях



Упрощают эксперименты на небольших животных и дают отслеживать у них индивидуальную динамику

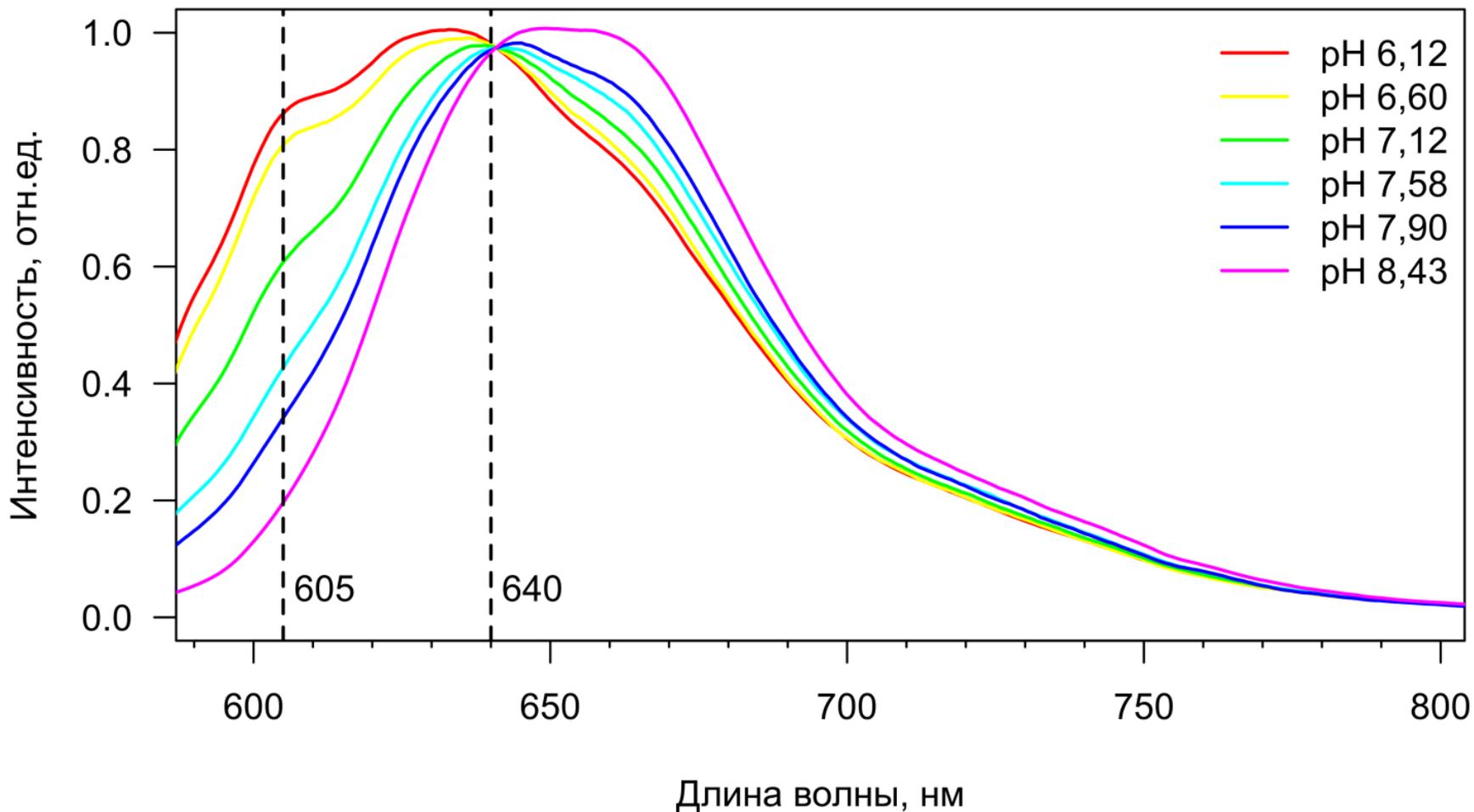
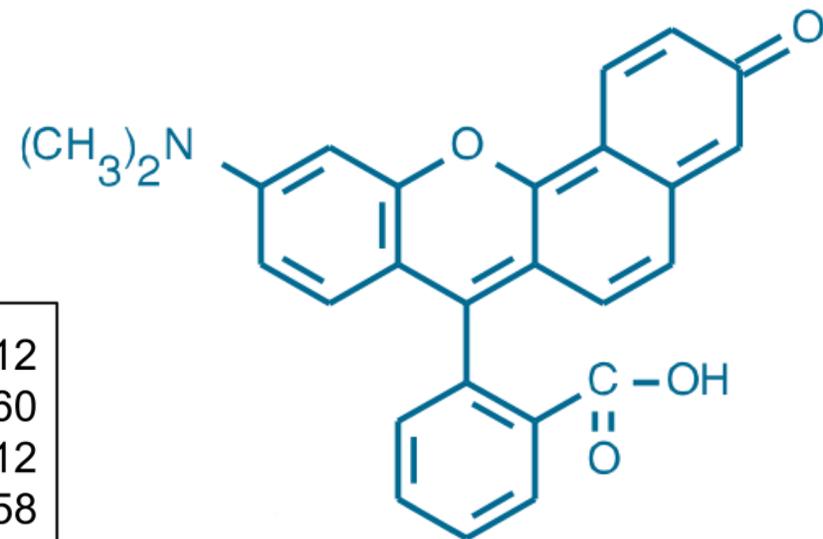
# Имплантируемые оптические сенсоры, доступные сейчас

- Температура
- Кислород
- pH, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, двухвалентные катионы
- Некоторые метаболиты (глюкоза, лактат)
- Некоторые гормоны и сигнальные молекулы (стероидный гормон, гистамин, NO)
- Антибиотик канамицин
- Онкомаркер HE4

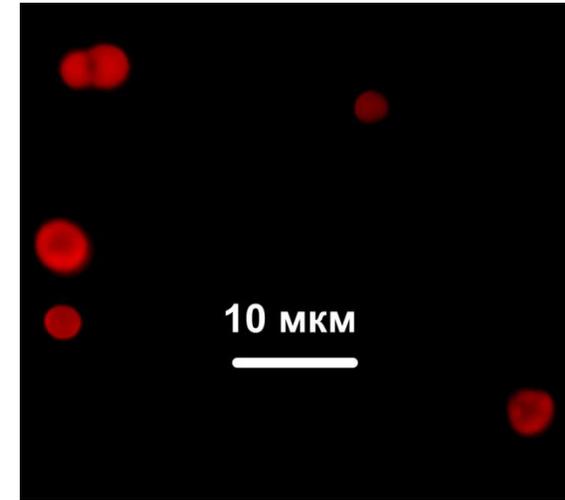
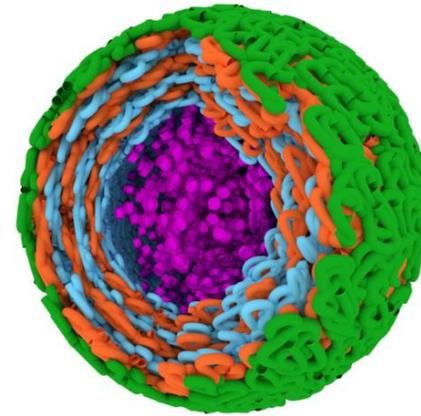
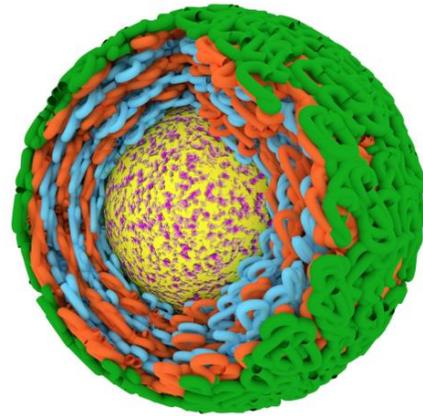
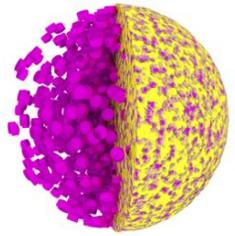


# рН-чувствительный флуоресцентный краситель

SNARF-1 (Seminarphtharhodafluor-1),  
связанный с декстраном 70 кДа



# I. Полиэлектролитные микрокапсулы в жабрах рыб



Осаждение красителя,  
связанного с полимером,  
в ядрах  $\text{CaCO}_3$

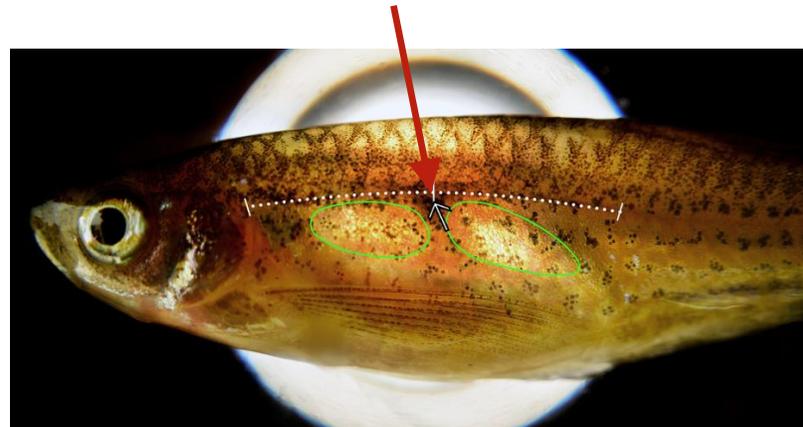
Послойная сборка стенки  
микрокапсулы

Растворение ядер  $\text{CaCO}_3$

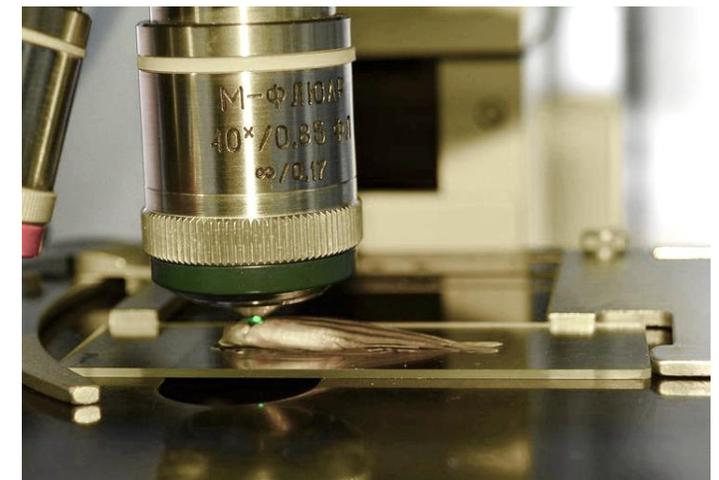
*Danio rerio*  
(Hamilton, 1822)



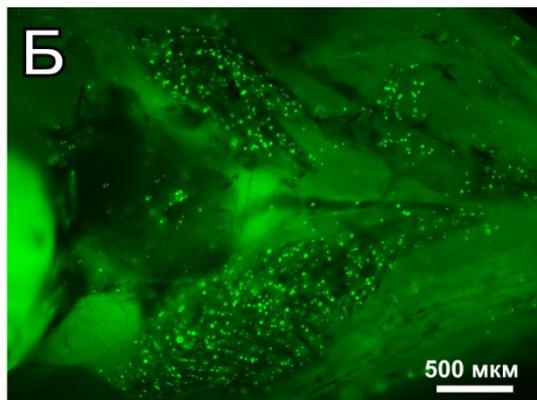
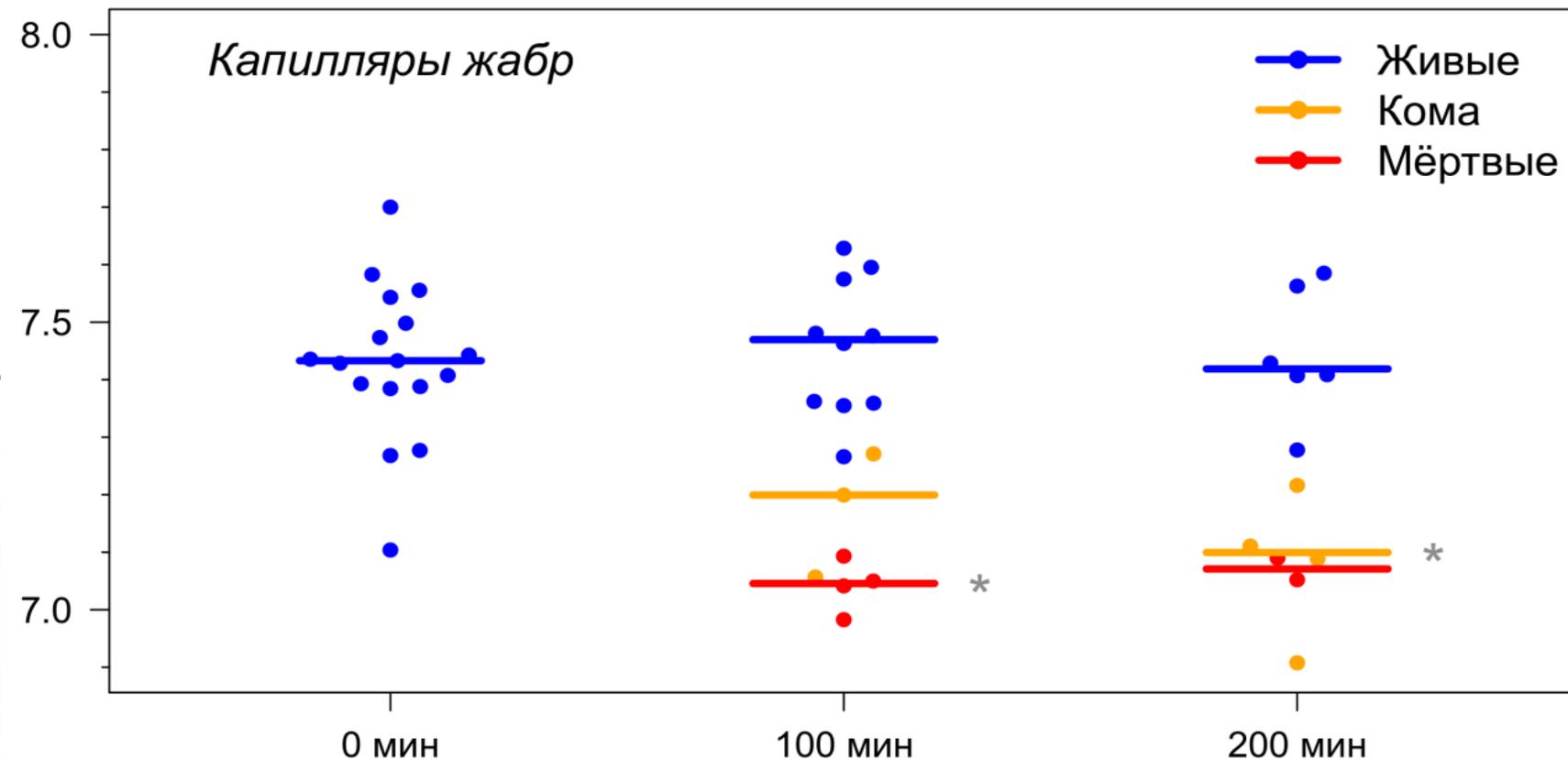
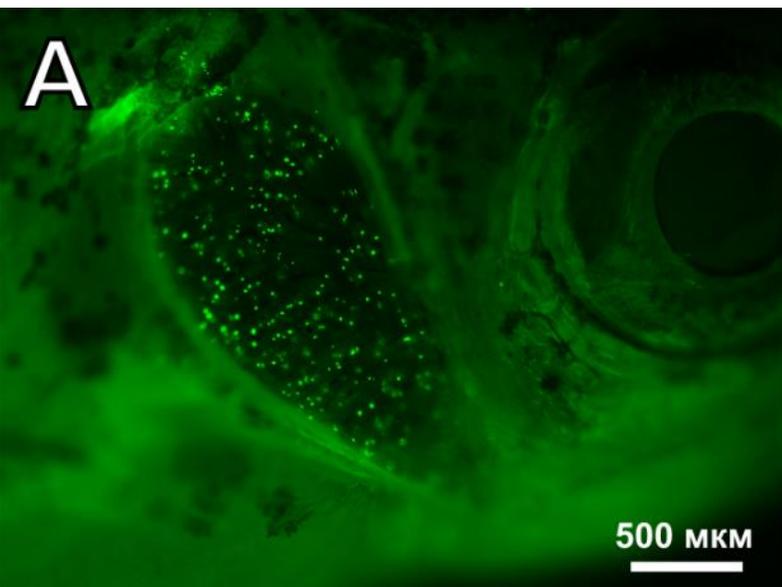
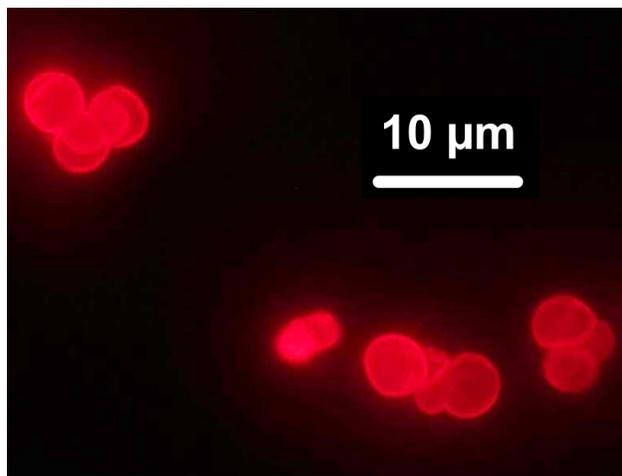
Инъекция в почку



Фиксация анестезией



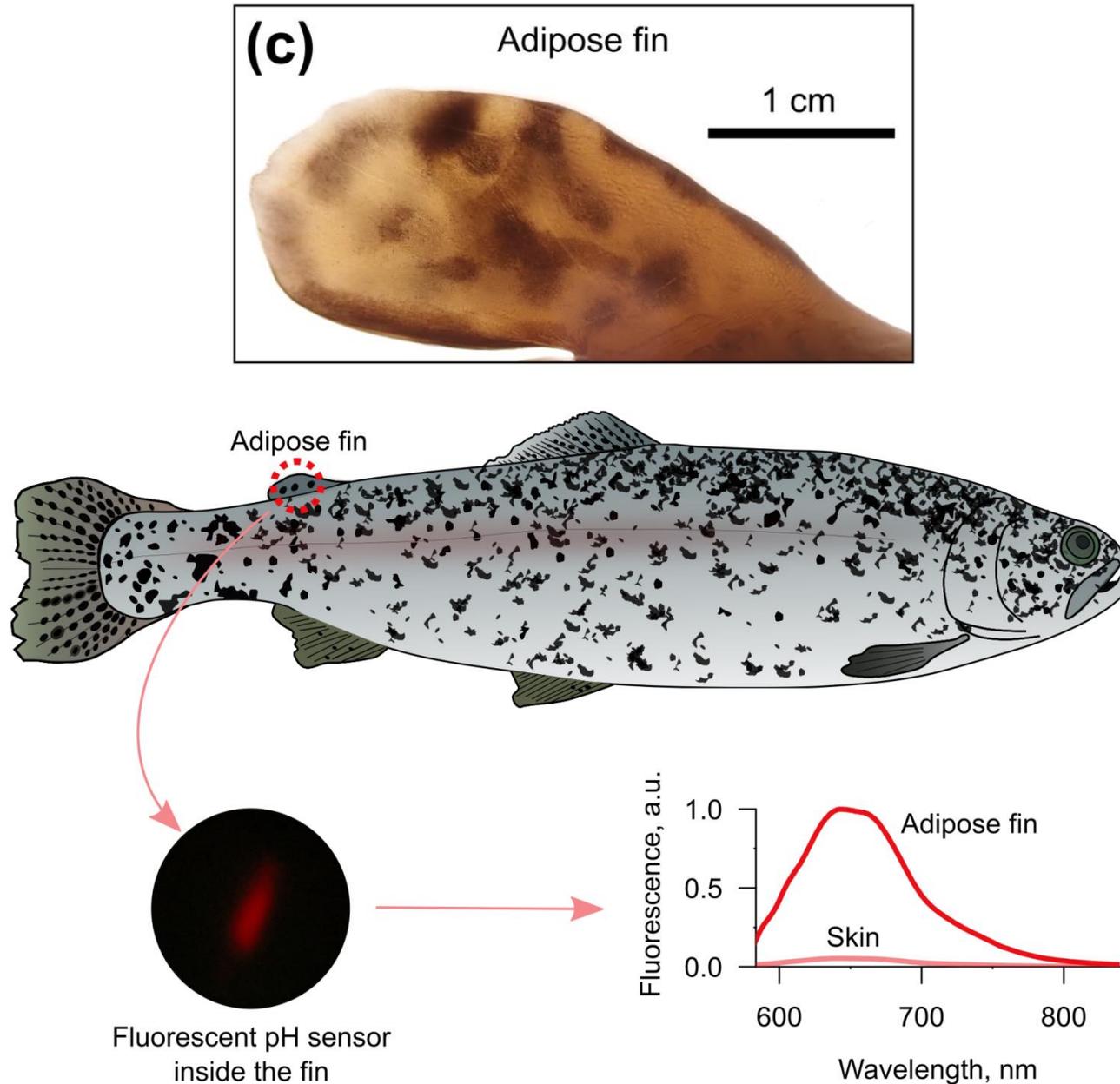
# I. Полиэлектролитные микрокапсулы в жабрах рыб



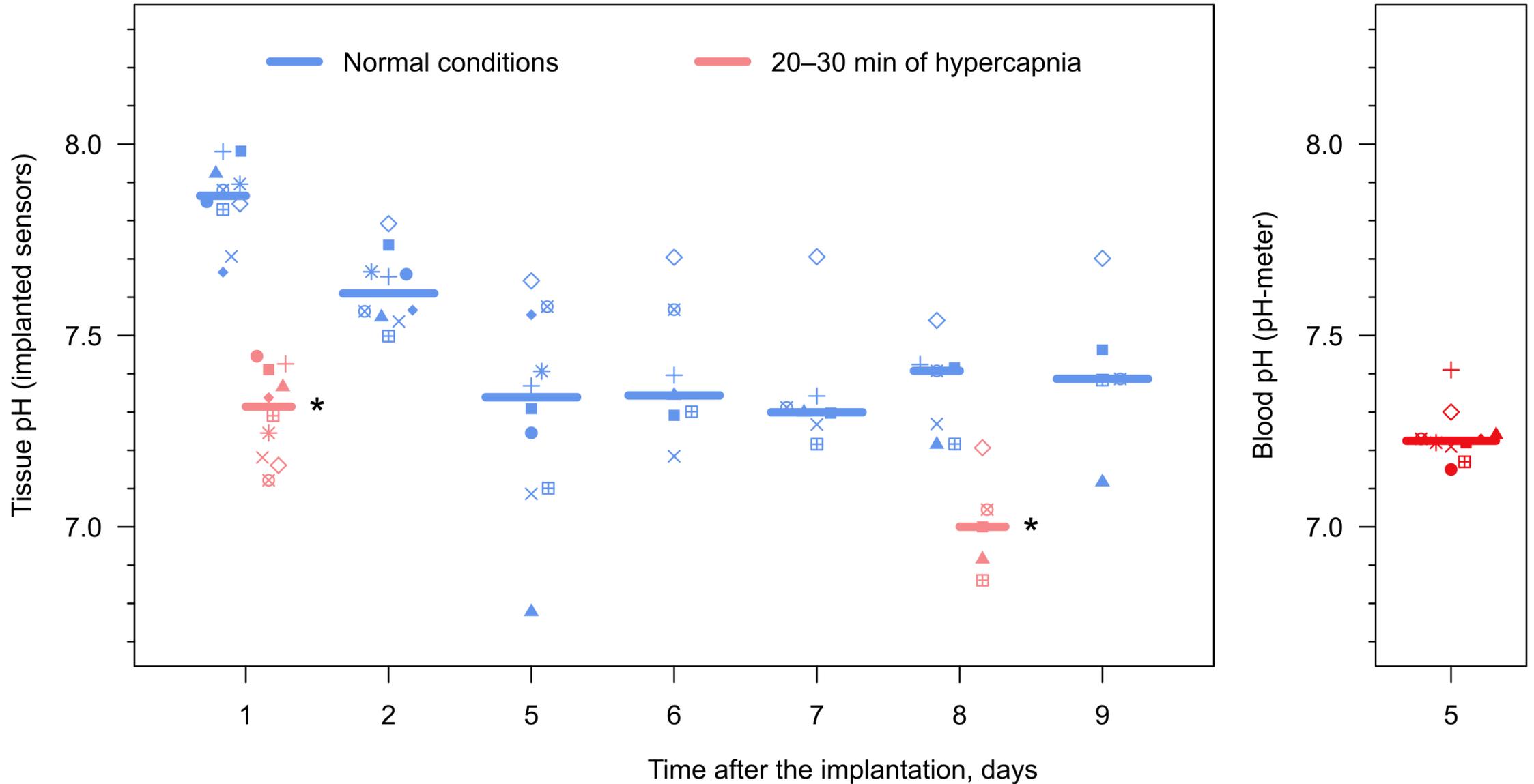
Горизонтальными линиями обозначены выборочные медианы

\* — статистически значимые отличия от параллельного контроля при  $p < 0,05$  (критерий Манна-Уитни с поправкой Хольма)

## II. Гидрогелевые нити в жировом плавнике форели



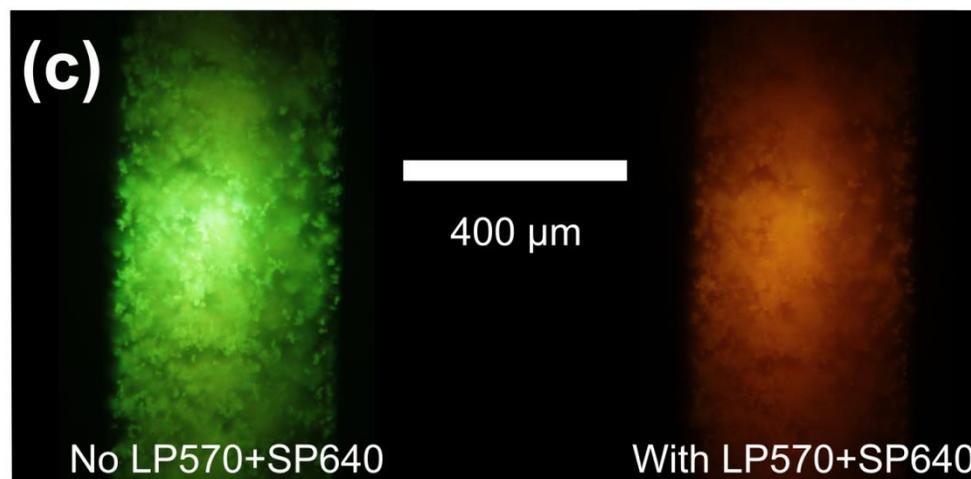
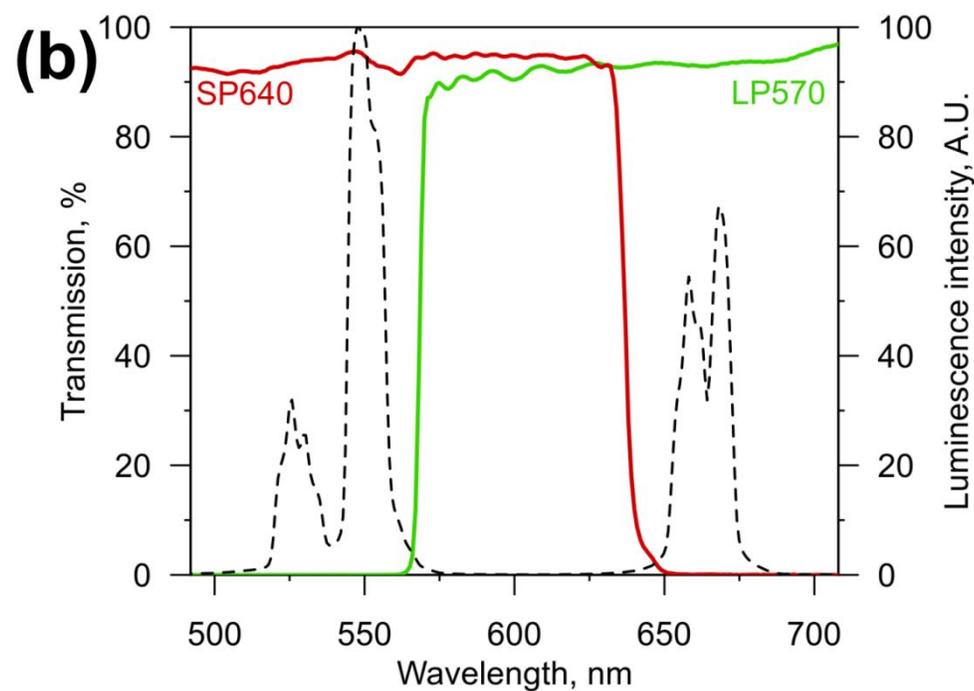
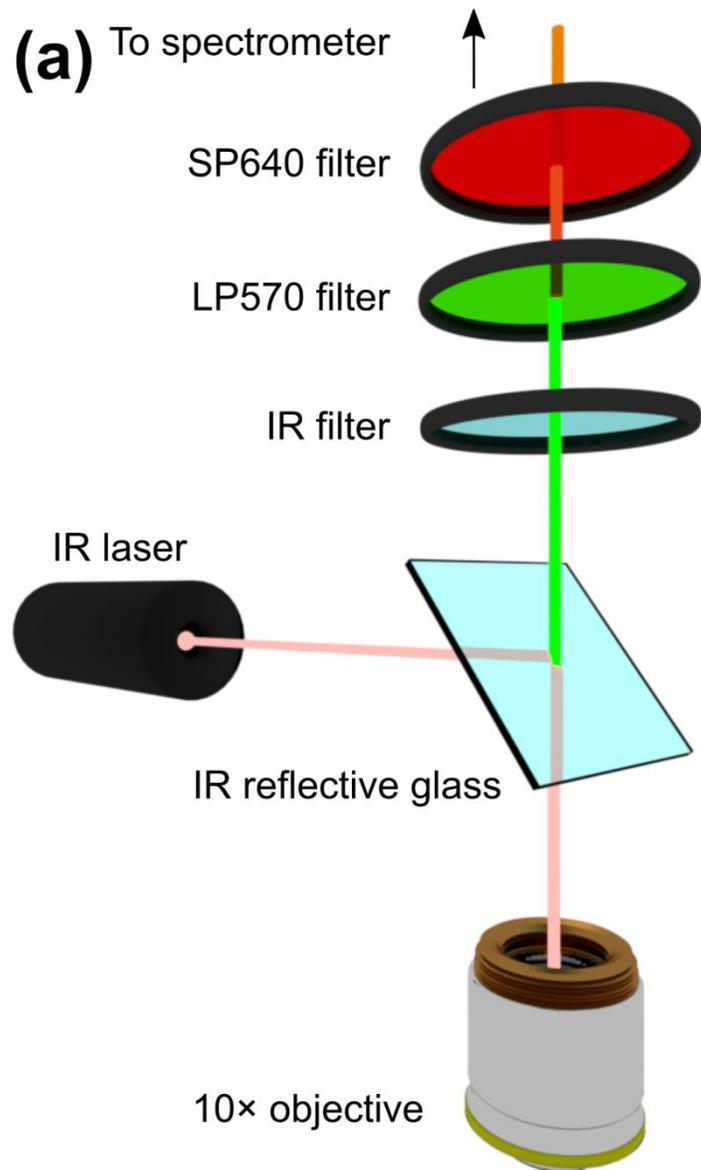
## II. Гидрогелевые нити в жировом плавнике форели



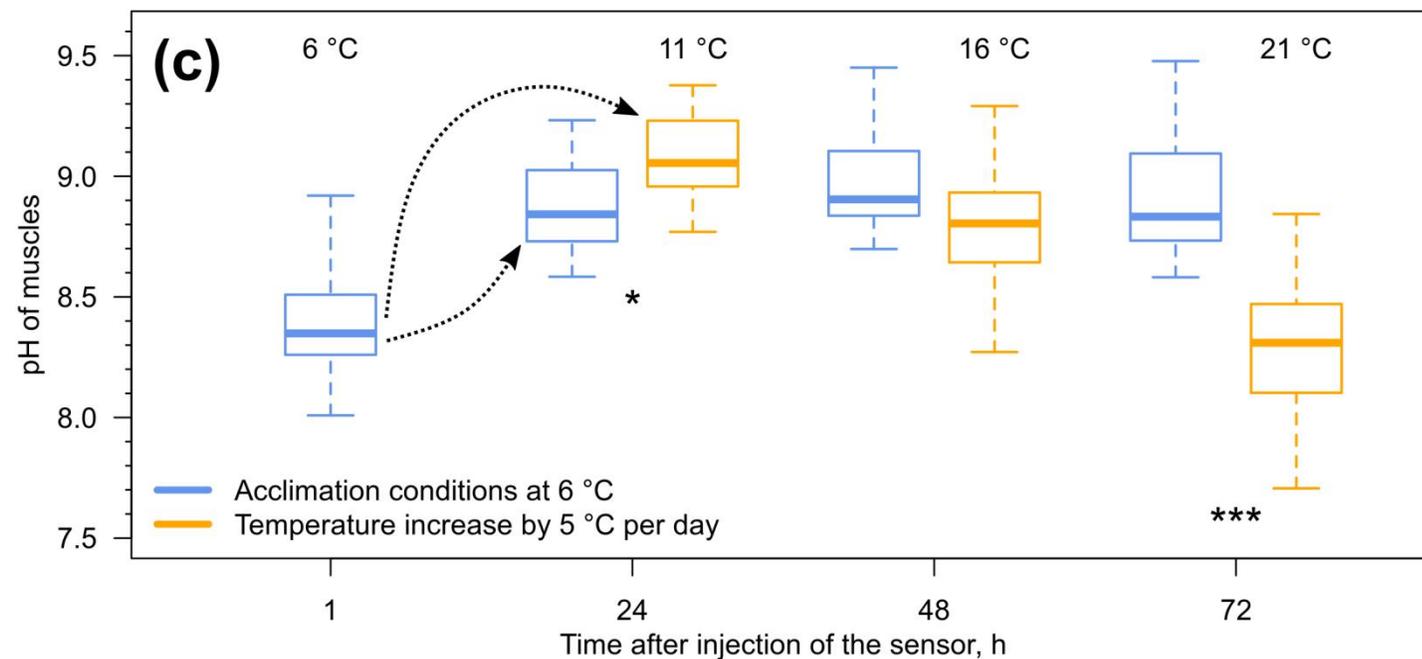
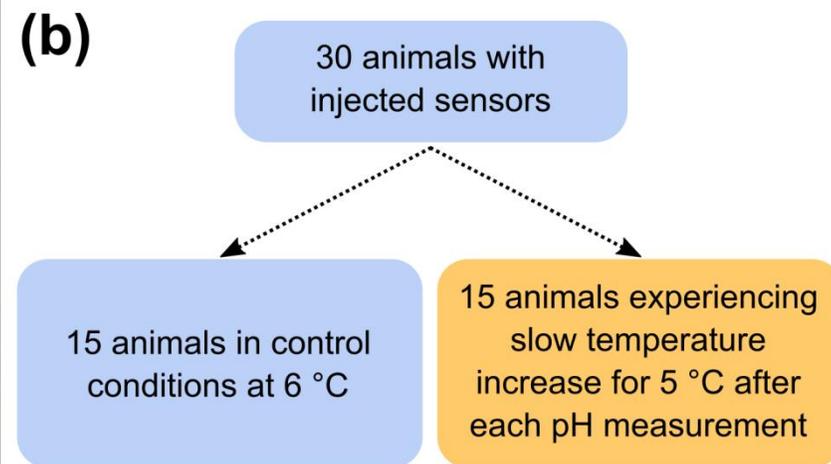
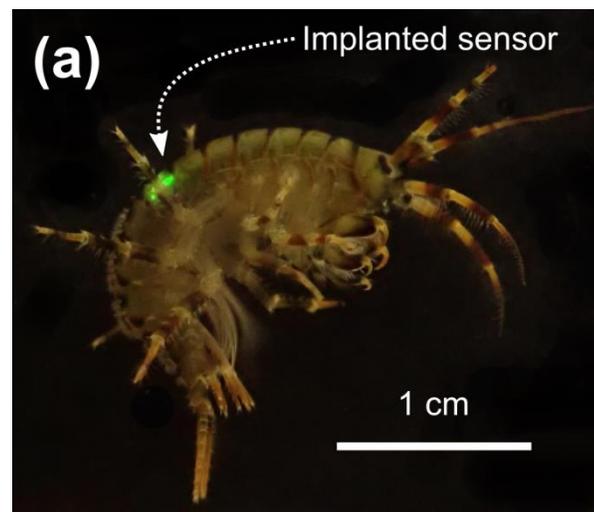
# III. Гидрогелевые нити со SNARF-1 и апконверсионными частицами в мышцах амфипод



*Eulimnogammarus verrucosus*  
(Gerstfeldt, 1858)



# III. Гидрогелевые нити со SNARF-1 и апконверсионными частицами в мышцах амфипод



# Ограничения, которые важно учитывать

- Имплантируемые оптические сенсоры хорошо отслеживают относительный ответ, но с ними могут быть проблемы с абсолютными измерениями
- Может быть влияние на сигнал автофлуоресценции и спектра проницаемости тканей организма
- Ограниченный срок службы из-за фоторазложения красителя и иммунного ответа
- Часто нужно учитывать влияние температуры на показания сенсора

# Заключение

Имплантируемые оптические сенсоры можно использовать для физиологических исследований на самых разных водных животных, но протоколы их изготовления и использования часто требуют адаптации к анатомическим и поведенческим особенностям объекта исследования:

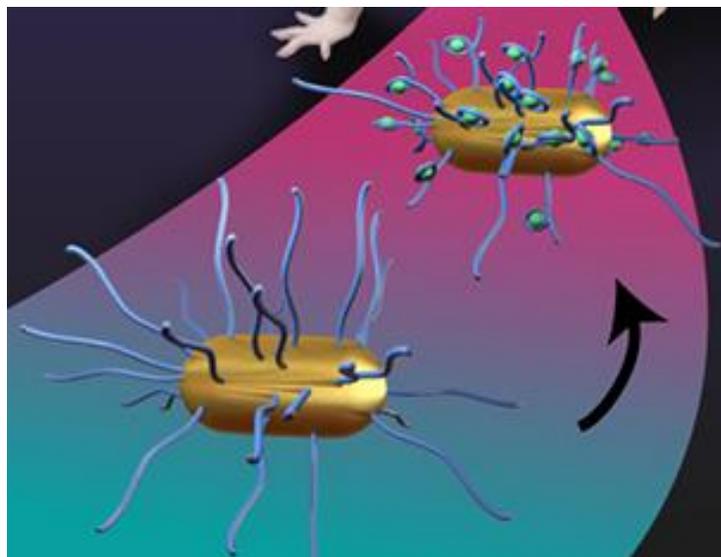
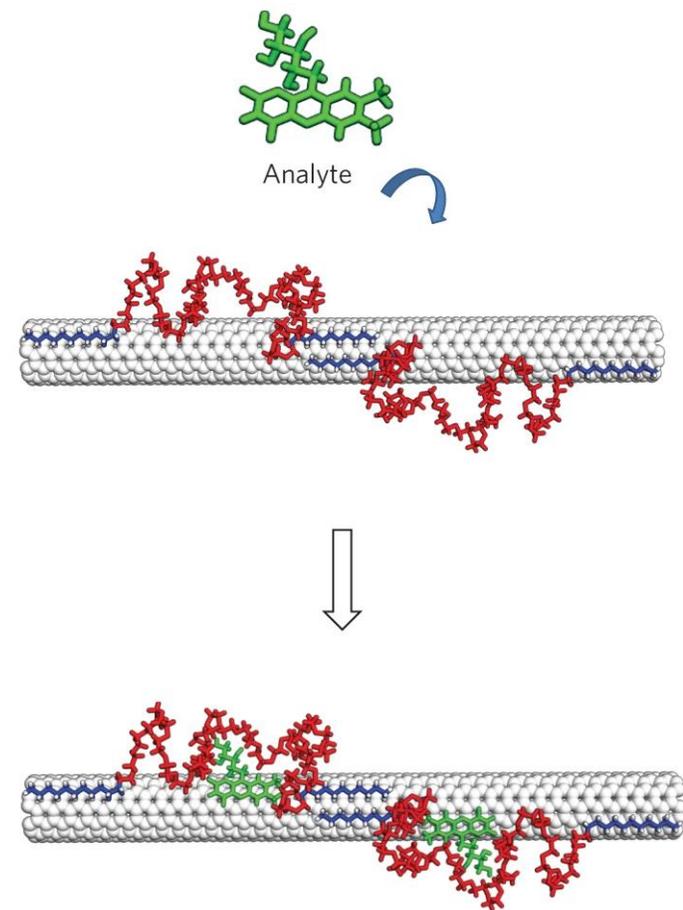
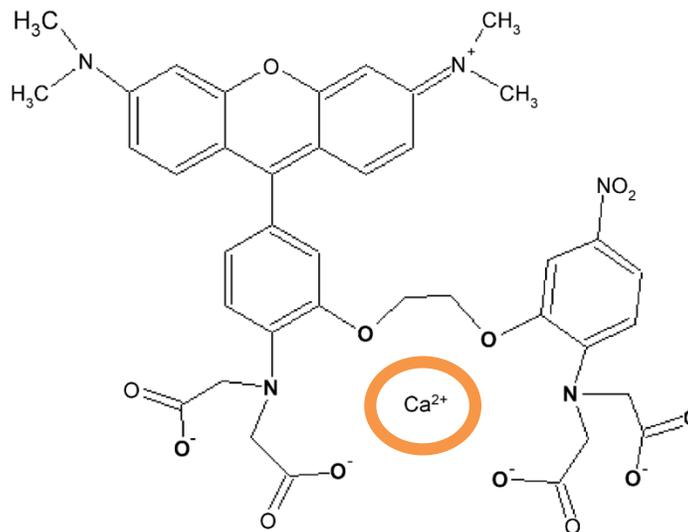
- Какой носитель для конкретного органа?
- Как получать оптический сигнал из конкретной ткани?
- Как иммобилизовать животное?

**Спасибо за внимание!**



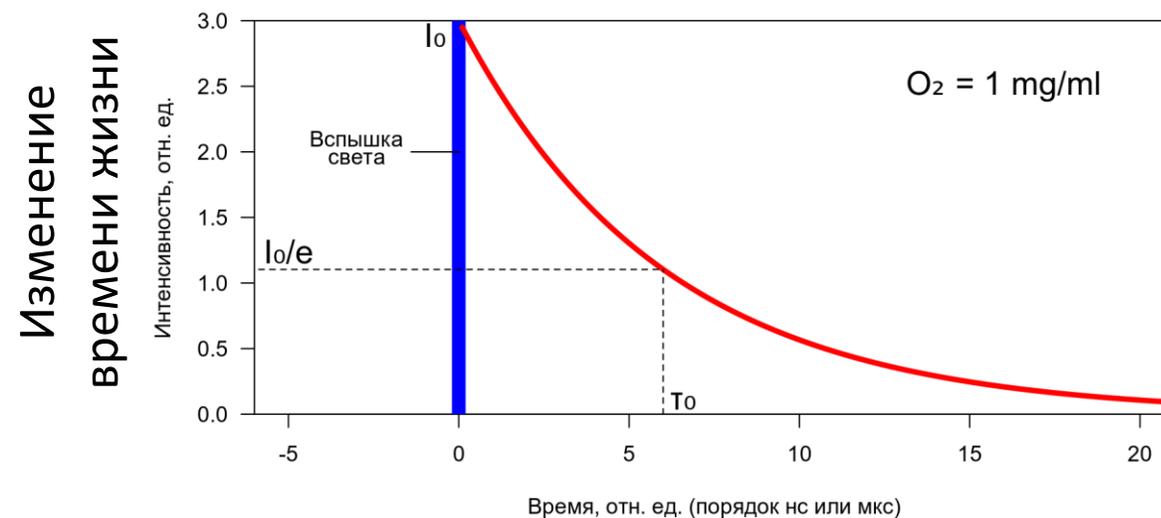
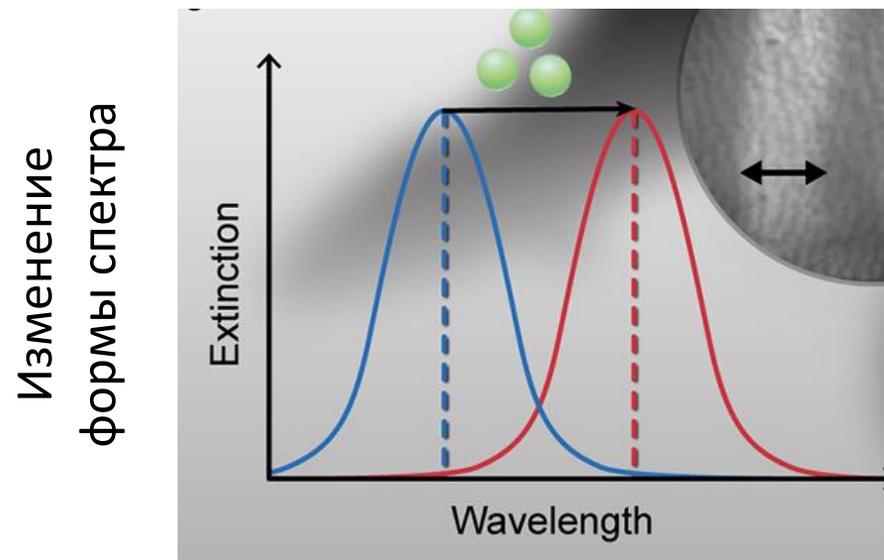
# Чувствительные компоненты, применимые в имплантируемых сенсорах

- Антитела (редко используются)
- Люминесцентные соединения
- ДНК-аптамеры
- Сложные гетерополимеры на углеродных нанотрубках
- Транскрипционные факторы
- Целые живые клетки
- ...



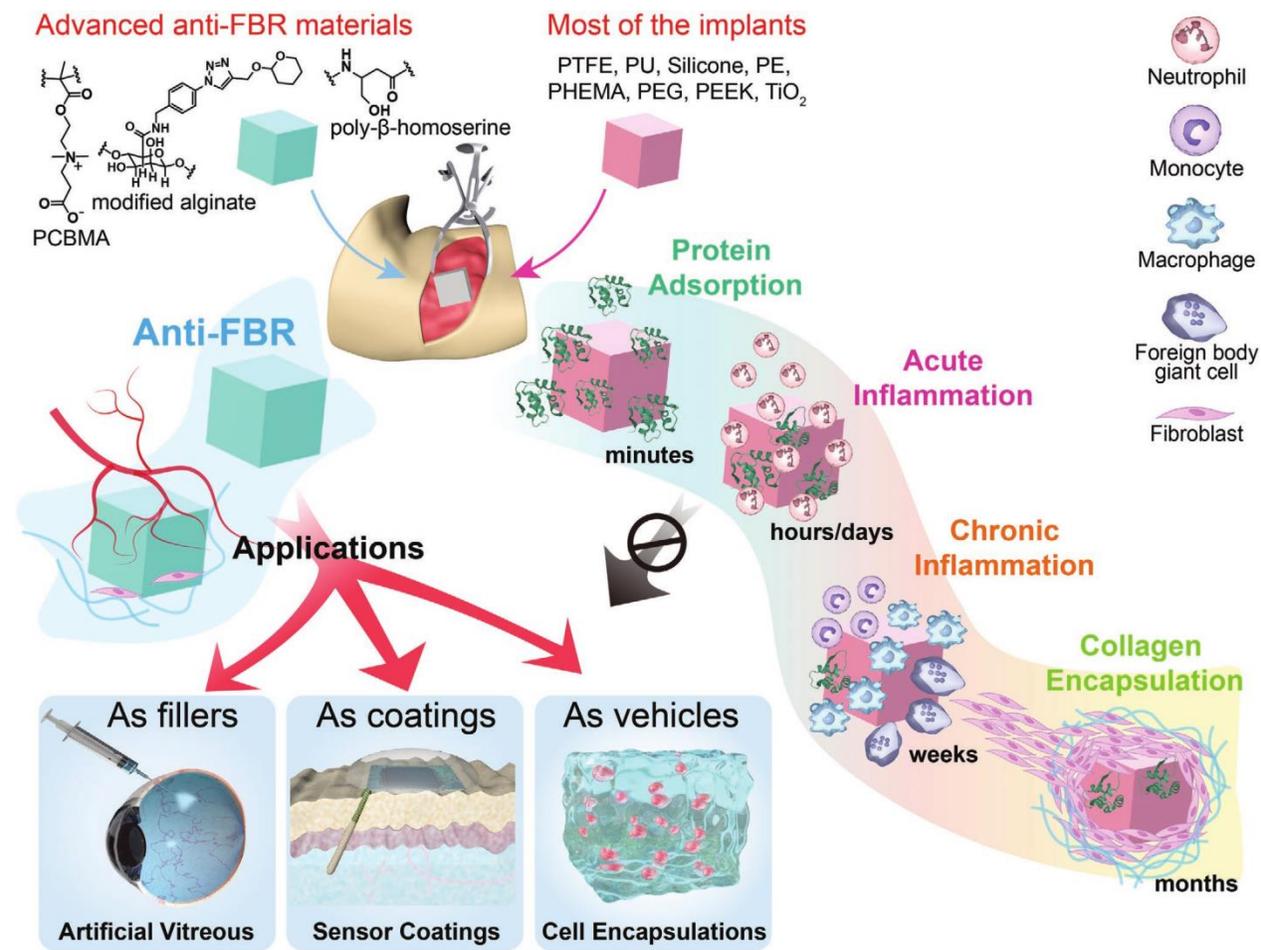
# Способы передачи сигнала от молекулярных и микронзондов

- Флуоресценция и фосфоресценция
- Апконверсионная люминесценция и биолюминесценция
- Комбинационное рассеяние света
- Ядерный магнитный резонанс
- Оптоакустический эффект (ультразвук)



# Функции полимерных носителей

- Сконцентрировать чувствительный компонент (в т.ч. снять потенциальную токсичность)
- Минимизировать иммунный ответ и максимально замедлить инкапсуляцию импланта
- Предотвратить контакт чувствительного компонента с опсонинами



<https://doi.org/10.1002/adfm.202007226>

# Калибровка рН-сенсоров с апконверсионными частицами

