

Рыба-сенсор. На Байкале рыб и рачков превращают в живые сенсоры

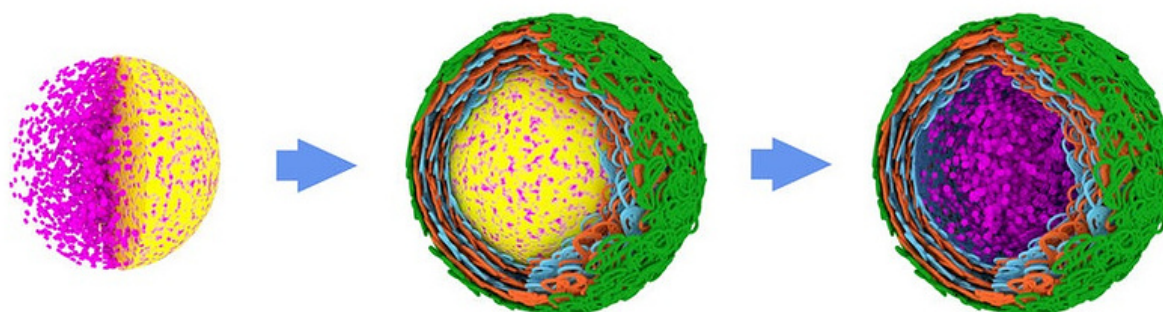
Черные кошки, бегущие с корабля крысы, низколетащие (к дождю) ласточки. Теперь приметы кажутся наивными, но кое-что в них хорошо видно: человек всегда присматривался к животным, чтобы понять, что происходит вокруг.

Теперь ученые предлагают для этого более надежный аппарат — имплантируемые сенсоры, с которыми любой организм можно превратить в живого разведчика, собирающего данные об окружающем мире. Группа Максима Тимофеева из НИИ биологии Иркутского государственного университета мечтает наладить экологический мониторинг Байкала с помощью рыб и других подводных обитателей.



Данио-рерио со вживленными сенсорными капсулами. Изображение в красном фильтре.

Первая работа в этом направлении у российских биологов вышла осенью прошлого года. Тогда они вместе с коллегами из научной группы профессора Игоря Меглинского (Университет Оулу, Финляндия) предложили использовать в качестве имплантируемого сенсора капсулы с начинкой из pH-чувствительного флуоресцирующего красителя SNARF-1, у которого с изменением кислотности меняется спектр флуоресценции.



Процесс создания полимерной капсулы. Ядро капсулы: краситель SNARF-1 (сиреневый), абсорбированный в пористую матрицу (желтая). Далее идут чередующиеся слои двух разных полимеров (оранжевый, голубой) с противоположными электрическими зарядами, а верхний слой (зеленый) третьего полимера улучшает биосовместимость капсул. Изображение: Gurkov et al., 2016 / CC BY 4.0

Оболочка капсулы состоит из нескольких слоев полимеров и выполняет две функции: улучшает биосовместимость системы и не выпускает большие молекулы SNARF-1 наружу (при этом различные низкомолекулярные вещества могут проходить через эту пористую оболочку, поэтому pH внутри капсулы оказывается таким же, как и снаружи). Локализация красителя очень важна — иначе SNARF-1 растекался бы по всему объему жидкости, к которой его добавляют, и для получения сигнала флуоресценции нужной интенсивности в животных приходилось бы вводить так много красителя, что это уже было бы опасно для их жизни.

Ученые показали, что такая система хорошо подходит для мониторинга pH у одного из видов байкальских эндемиков — рачков-амфипод, или бокоплавов. А одновременно с этим исследованием ученые вместе с научной группой Антона Садового из Национального института материаловедения и инженерии (Сингапур) вели исследования на более универсальных подопытных организмах — рыбках данио-рерио, или, как их еще называют, рыбах-зебрах.



Байкальские рачки-амфиподы.

Скорее жив, чем мертв

Кислотность крови — важный физиологический показатель для многих организмов. Например, у рыб в нормальном состоянии pH колеблется в районе 7,7 — 7,8, а изменение кислотности говорит о серьезных проблемах. Например, при гипоксии (недостатке кислорода) в крови накапливается углекислый газ и кислые продукты анаэробного метаболизма, что приводит к понижению pH.

«Мы хотим предложить мировому научному сообществу эффективную методику для прижизненной оценки стресс-ответа организма, которая будет доступна любому исследователю в любой части планеты, — рассказывает Тимофеев. — Проще всего это сделать на знакомых всем объектах, и поэтому в новом исследовании мы переключились на рыбок данио-рерио, классический лабораторный объект, широко применяемый в научных исследованиях: не так много найдется желающих осваивать новый метод, если он изначально „заточен“ только под применение на уникальных байкальских эндемиках».

В своей работе ученые использовали капсулы с флуоресцентным красителем размером около пяти микрон и

под анестезией (суспензией гвоздичного масла) вводили их в почки данио-рерио. Дальше эти сенсорные микрочастицы попадали в кровоток и разносились по всему телу.

В эксперименте измеряли pH в капиллярах жабр рыбы. Для этого данио-рерио вылавливали, удаляли у них жаберные крышки (данио-рерио без жаберных крышек продолжают жить) и после этого помещали под флуоресцентный микроскоп. Он фокусировался на отдельные капилляры с микрокапсулами красителя внутри, снимал спектры флуоресценции и после этого переводил их в значения кислотности (до начала эксперимента сенсоры калибровали в разных физиологических средах — соляном растворе, плазме крови карпа, а также крови рыбки-зебры, чтобы однозначно сопоставить характерные изменения флуоресценции и pH). Похожим образом кислотность также измеряли в межклеточном пространстве мышц около спинного плавника.

Такую методику пока сложно назвать безболезненной и незаметной для рыб, но до этого все было гораздо хуже: для того чтобы узнать pH подопытных рыб, их нужно было умертвить.

«Конечно, подопытных животных в наших экспериментах было жалко, но иначе пока не получается, и наш метод уже сделал большой шаг вперед по сравнению с другими процедурами изучения физиологических показателей рыб или других небольших животных, — рассказывает Тимофеев. — Сейчас, например, чтобы измерить pH данио-рерио, у нее необходимо отобрать почти всю кровь и тем неминусею умертвить. Соответственно, если вам нужно посмотреть динамику воздействия какого-то фактора в течение несколько дней или недель, то придется каждые сколько-то дней умерщвлять новую группу рыб. С имплантируемыми же сенсорами можно регулярно измерять физиологические параметры одного и того же организма и тем не только снижать необходимое количество особей, но еще и оставлять их живыми в ходе исследования».



Подопытная рыба под микроскопом.

Исследование показало, что имплантируемые сенсоры позволяют надежно отслеживать изменения кислотности: в нормальном состоянии данио-рерио сенсоры фиксировали pH в районе 7,3 — 7,5 (такие сравнительно небольшие отклонения от среднего 7,7 — 7,8 — это норма для рыб-зебр), а если подопытные рыбки впадали в кому или умирали (ученые не провоцировали состояние комы или смерти специальным образом — некоторые индивиды самопроизвольно в него впадали из-за стресса, связанного с анестезией и при вводе сенсорных капсул), то это сопровождалось характерным закислением pH до значений около 6,8 — 7,0.

Так ученые показали, что новый метод чувствителен к критическим изменениям в состоянии рыбы вроде наступления комы или смерти, а в будущем они планируют развить свой подход и сделать инкапсулированные флуоресцентные сенсоры гораздо более чувствительными.

Точность работы сенсоров также проверили классическими методами: для этого некоторых подопытных рыб умерщвляли и определяли кислотность их крови с помощью pH-чувствительных микроэлектродов. Значения кислотности, измеренные в жаберных капиллярах, с хорошей точностью совпали с этими результатами за

исключением небольшого смещения в область повышенных pH, которое, по мнению ученых, может свидетельствовать не о слабостях нового подхода, а о несовершенстве классических методов, при которых анализируемые физиологические жидкости в контакте с воздухом могут незначительно закисляться (то есть обладать чуть меньшим pH).

От спорта до умных ферм

«Одна из основных целей нашего проекта — это разработка новых методов для экологического мониторинга состояния озера Байкал, — рассказывает Тимофеев. — Чувствительность байкальских эндемиков гораздо выше, чем у обитателей обычного пресного водоема, то есть те уровни загрязнения, которые для других организмов считаются нормальными, у байкальских эндемиков часто вызывают серьезные негативные изменения. Поэтому традиционные сертифицированные методики экологической оценки, например по выживаемости маленьких ракообразных, дафний, на Байкале могут давать ошибочное понимание. Они должны быть адаптированы под специфику эндемичных организмов. Имплантируемые оптические сенсоры помогут справиться с этой задачей: по мере развития технологий с их использованием можно будет вести непрерывный скрининг стрессового состояния одного и того же тест-объекта и точно отслеживать эти процессы *in vivo*, то есть прижизненно — без изъятия организма из среды и тем более без его умерщвления».



Максим Тимофеев.

Кроме экологического мониторинга новую разработку можно использовать и в других областях. Имплантируемые сенсоры, по словам ученых, можно применять в различных биомедицинских решениях, например для непрерывного мониторинга стрессовых состояний у спортсменов, работников вредных производств или в агроиндустрии, для создания «умных ферм» — роботизированных сельскохозяйственных комплексов, состояние растений в которых будет постоянно отслеживаться с помощью различных вживленных в них сенсоров.

Пока исследователи отработывают свою технологию. Они хотят адаптировать флуоресцентные сенсоры к различным живым организмам (насекомым, моллюскам, а в перспективе — даже млекопитающим), а также тестируют сенсоры для определения других физиологических параметров и оценки концентрации в телах эндемиков различных промышленных загрязнителей вроде тяжелых металлов.

Фото: Сергей Дидоренко

 [Порекомендовать текст](#)

Поделиться в соцсетях:

Также читайте эксклюзивную информацию в соцсетях:

- [Телеграм](#)
- [ВКонтакте](#)

Связаться с редакцией Бабра:
newsbabr@gmail.com

Автор текста: **Михаил
Петров.**

НАПИСАТЬ ГЛАВРЕДУ:

Телеграм: [@babr24_link_bot](#)
Эл.почта: newsbabr@gmail.com

ЗАКАЗАТЬ РАССЛЕДОВАНИЕ:

эл.почта: bratska.net.net@gmail.com

КОНТАКТЫ

Бурятия и Монголия: Станислав Цырь
Телеграм: [@bur24_link_bot](#)
эл.почта: bur.babr@gmail.com

Иркутск: Анастасия Суворова
Телеграм: [@irk24_link_bot](#)
эл.почта: irkbabr24@gmail.com

Красноярск: Ирина Манская
Телеграм: [@kras24_link_bot](#)
эл.почта: krasyar.babr@gmail.com

Новосибирск: Алина Обская
Телеграм: [@nsk24_link_bot](#)
эл.почта: nsk.babr@gmail.com

Томск: Николай Ушайкин
Телеграм: [@tomsk24_link_bot](#)
эл.почта: tomsk.babr@gmail.com

[Прислать свою новость](#)

ЗАКАЗАТЬ РАЗМЕЩЕНИЕ:

Рекламная группа "Экватор"
Телеграм: [@babrobot_bot](#)
эл.почта: equatoria@gmail.com

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО:

эл.почта: babrmarket@gmail.com

[Подробнее о размещении](#)

[Отказ от ответственности](#)

[Правила перепечаток](#)

[Соглашение о франчайзинге](#)

[Что такое Бабр24](#)

[Вакансии](#)

[Статистика сайта](#)

[Архив](#)

[Календарь](#)

[Зеркала сайта](#)