

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ОКСИМЕТР ДЛЯ ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н.А. Греков, Н.И. Минкина\*,  
Э.З. Самышев\*

Морской гидрофизический  
институт НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

\*Институт Биологии Южных Морей  
НАН Украины  
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2  
E-mail: samyshev@ibss.iuf.net

*В работе рассмотрены существующие основные методы определения концентрации кислорода для эколого-физических исследований. Проанализированы их недостатки. Предложен полярнографический метод с твердыми закрытыми электродами, работающий в автоматизированной многоканальной измерительной системе, которая обрабатывает и отображает полученную информацию в реальном времени. Приведена структурная схема созданного прибора и результаты его испытания в 7-й Украинской Антарктической экспедиции.*

В гидрохимических исследованиях основным методом определения концентрации кислорода является метод Винклера, который и применяется по настоящее время в биоэнергетике. Но использование его в экспериментах имеет ряд недостатков.

Во-первых, измерения выполняются либо в конце эксперимента (в подавляющем числе опытов), или в больших объемах воды с очень маленькой частотой, что связано с трудоёмкостью метода. Результаты измерения являются средними величинами скорости энергетического обмена гидробионтов за время экспозиции (так называемые «интегральные» опыты). Полученные данные имеют большой разброс, что вызывает необходимость выполнения большого числа опытов.

Приходится игнорировать тот факт, что колебательный характер изменения физиологических функций как внешнее проявление акклимации организма к действию различных внешних факторов – температуры, солёности, токсикантов и т.п. – давно известен. О степени акклимации животных, выловленных в естественной среде обитания, к условиям эксперимента судят по качественным признакам и, зачастую, субъективно. Мастерство и опыт экспериментатора

являются некоторой гарантией того, что в ходе опыта животные не испытывали так называемый «хендлинг-стресс», вызываемый манипуляциями с ними при постановке эксперимента.

Во-вторых, существуют ограничения объёма экспериментальных сосудов-респирометров. Это ограничивает возможность изучения энергетических характеристик у единичных особей (не учитывается индивидуальная изменчивость), у мелких планктонных организмов и их изменений в ходе онтогенеза гидробионтов. В приборах, в которых используется микроанометрический метод измерения парциального давления кислорода в воде, поплавки-респирометры имеют минимальный объём от 1 до 3 мл, но опыты также являются «интегральными».

В-третьих, мелкие планктонные организмы традиционно помещают в «стандартные условия измерения», т.е. в респирометры объёмом 30-50 мл. В конце опыта проба на кислород по Винклеру фиксируется прямо с живыми организмами, которые далее не могут быть использованы в комплексе эколого-физиологических экспериментов.

Полярнографический метод измерения парциального давления кислорода в воде с помощью твердых закрытых электродных систем лишён всех этих недостатков. Различные конструкции оксиметров, снабжённые полярнографическими датчиками, нашли широкое применение в эколого-физиологических исследованиях гидробионтов [1,2,3,4]. Показания датчиков могут непрерывно регистрироваться на ленте самописца или непосредственно вводиться в память компьютера. Последний способ регистрации наиболее удобен. Непрерывная запись и визуализация кривой содержания кислорода на экране монитора позволяют оперативно судить о физиологическом состоянии организмов в ходе эксперимента и принимать решения о прекращении либо продолжении опыта. Кроме того, регистрирующая аппаратура может располагаться в отдалении от места проведения экспериментов, что, например, в морских экспедициях позволяет выбрать более комфортные условия для экспериментатора.

До настоящего времени не существовало многоканального оксиметра, позволяющего одновременно проводить измерения растворённого в воде кислорода и регистрировать результаты в памяти компьютера. Поэтому проанализировав существующие

структурные схемы оксиметров и опираясь на проведенные исследования [5,6] была предложена и опробована структурно-функциональная схема прибора, которая представлена на рис. 1. Разработку конструкторской документации и изготовление выполнял НТК «Океан-МГИ».

Измеритель состоит из блоков датчиков БД-1, БД-2, БД-3, центрального блока ЦБ, блока питания БП и ПЭВМ, соединительных экранированных кабелей (СК) между блоками датчиков и ЦБ, соединительного кабеля LC-RS232 между ЦБ, ПЭВМ и БП.

Блок БД состоит из герметичного датчика температуры ДТ, выполненного на основе микросхем фирмы DALLAS; датчика кислорода (ДК) двухэлектродного с внешней поляризацией и с защитной тефлоновой мембраной. Центральный блок ЦБ состоит из узлов внешней поляризации и усилителей: ВПУ-1, ВПУ-2, ВПУ-3. В ВПУ расположены узлы внешней поляризации датчиков ДК, имеющие источник постоянного напряжения  $E$  и линейные инструментальные усилители  $У_1$ , 12-битное АЦП со встроенным микропроцессором и Flash ЭРПУ, построенное на микросхеме ADuC812 фирмы ANALOG DEVICES, формирователь сигнала в формате RS-232, выполненный на базе микросхемы MAX 232.

Цифровая информация о температуре  $T(t)$  с датчиков ДТ через СК в виде кода поступает на параллельные порты  $P_{22}$ ,  $P_{24}$ ,  $P_{26}$  ввода - вывода ADuC812. Информация о растворенном в воде кислороде  $O_2(t)$  с датчиков ДК в аналоговом виде поступает через СК на усилители  $У$  блоков ВПУ. Необходимый рабочий потенциал поляризации, создаваемый постоянным источником напряжения  $E$  подается с блока ВПУ на датчики ДК.

Напряжение с измерительных каналов кислорода  $U_1 - U_3$  через входы  $P_{10}$ ,  $P_{11}$ ,  $P_{12}$  поступает на аналоговый мультиплексор и далее на АЦП микросхемы ADuC812. Сформированные последовательно в цифровом виде сигналы с измерительных каналов температуры и растворенного кислорода через последовательный порт (UART) поступают на формирователь RS 232 и далее по линии LC-R232 поступает на порт Com 2 компьютера.

Для питания ЦБ и БД на них подается постоянное напряжение 12 В от блока БП. Длина кабелей СК - 3 м, кабеля LC - RS 232 - 30 м. В ПЭВМ полученная информация с

измерительных каналов обрабатывается, регистрируется и выводится в виде таблиц и графиков на монитор или принтер.

Автоматизированный оксиметр прошел морские испытания в 7-й Украинской Антарктической экспедиции на полигоне в проливе Брансфилда, где с его помощью был выполнен комплекс экспериментов по изучению энергетических характеристик массового вида сальп *Salpa thompsoni* Foxton [7]. Блок датчиков и ЦБ оксиметра были установлены в "холодном" помещении (брезентовой палатке) на надстройке кормовой части НИС "Горизонт" и через кабель LC-RS 232 ЦБ соединялся с БП и ПЭВМ, расположенных в каюте.

Интервал опроса БД составлял 0,8 мин при продолжительности экспериментов 6 - 12 часов.

Измеренные данные формировались в ПЭВМ в формате, позволяющем использовать для их обработки стандартный пакет Excel.

Обработанная информация  $T_i(t)$  и  $O_2(t)$  с измерительных каналов в реальном масштабе времени и реальных физических единицах отображалась на монитор ПЭВМ, что делало возможным из каюты следить за ходом экспериментов на палубе. Пример работы измерительных каналов многоканального оксиметра в опытах по измерению интенсивности энергетического обмена антарктических сальп представлен на рис. 2. Получаемый объем данных позволил оперативно оценивать характер реагирования животных и время акклимации к условиям опыта; получить статистически обеспеченные данные, которые можно сглаживать и фильтровать, достаточные для оценки суточной ритмики дыхания сальп. Результаты экспериментов интенсивности дыхания и питания сальп при их различных размерах отражены на графиках рис. 3.

Автоматизированный многоканальный оксиметр хорошо зарекомендовал себя в очень сложных условиях эксплуатации: при волнении моря 6-9 баллов, постоянной сильной вибрации корпуса судна, низкой температуре (2-3 °С), высокой влажности, мокром снеге. Сбоев в работе прибора отмечено не было. Прибор отвечает самым современным требованиям к измерительным устройствам, которые могут быть использованы при эколого-физиологических исследованиях, надежен, компактен, имеет удобный интерфейс и прост в эксплуатации.

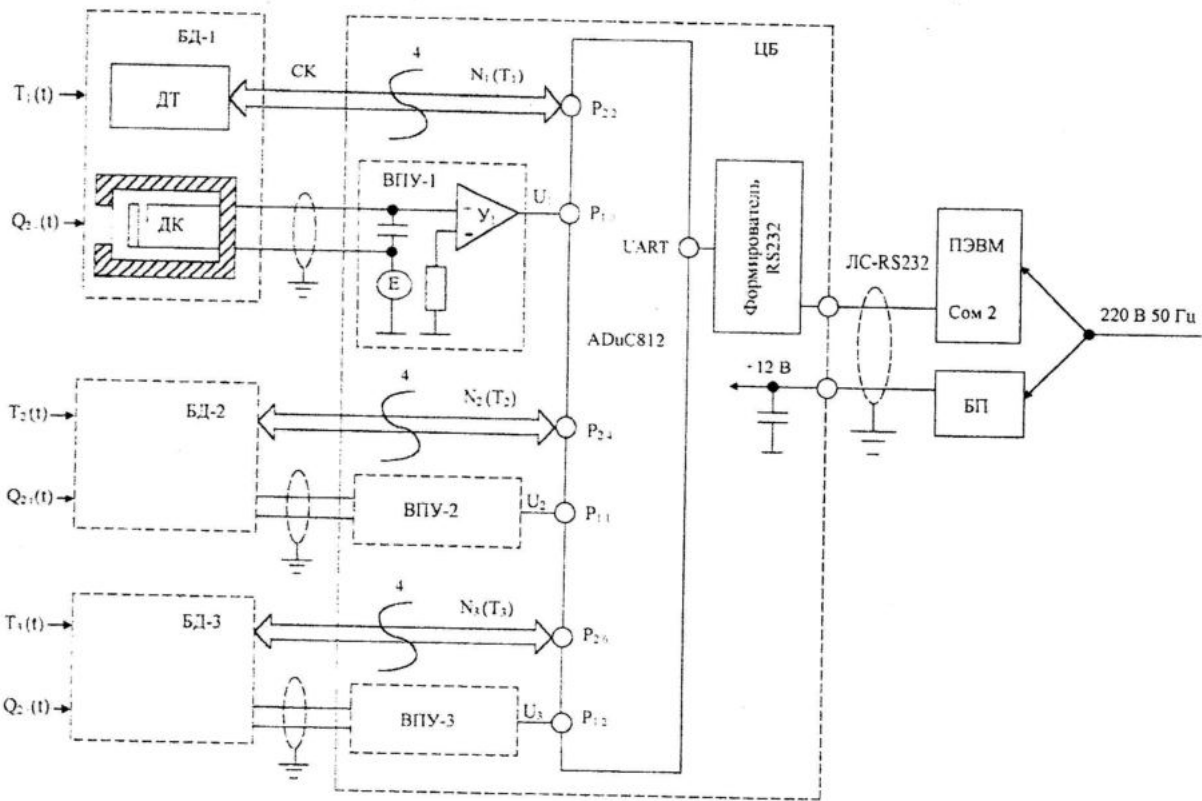


Рисунок 1 - Структурно-функциональная схема автоматизированного трёхканального оксиметра

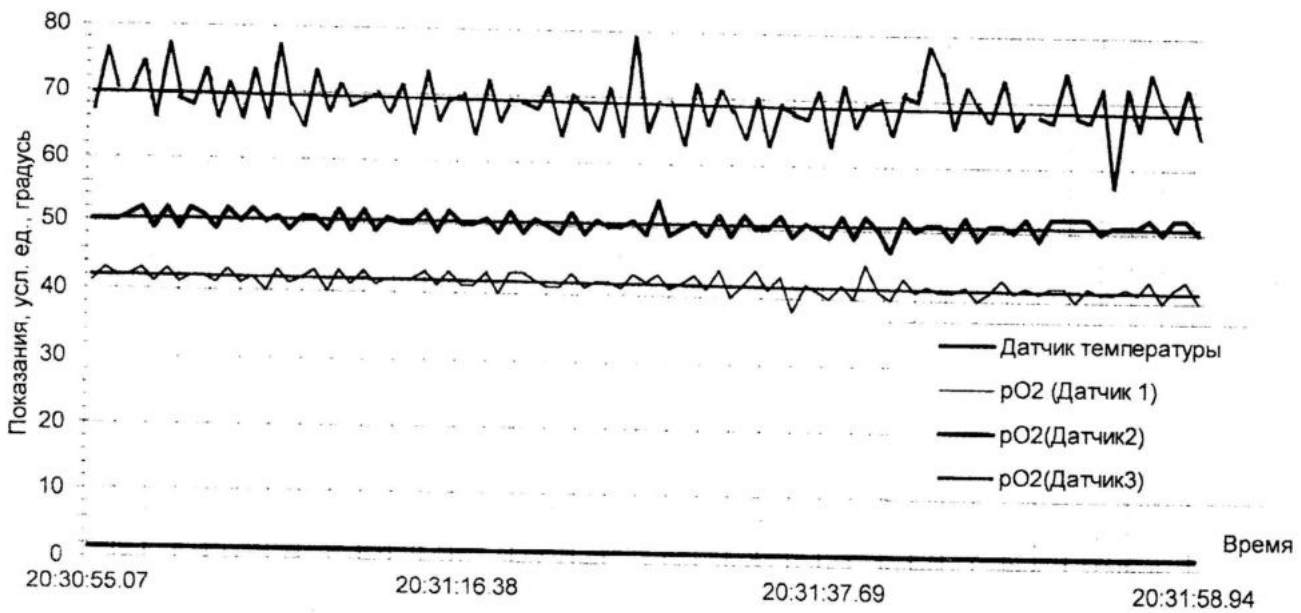


Рисунок 2 - Пример работы оксиметра в опытах по измерению интенсивности энергетического обмена антарктических сальп

## Изменение содержания в экспериментах:

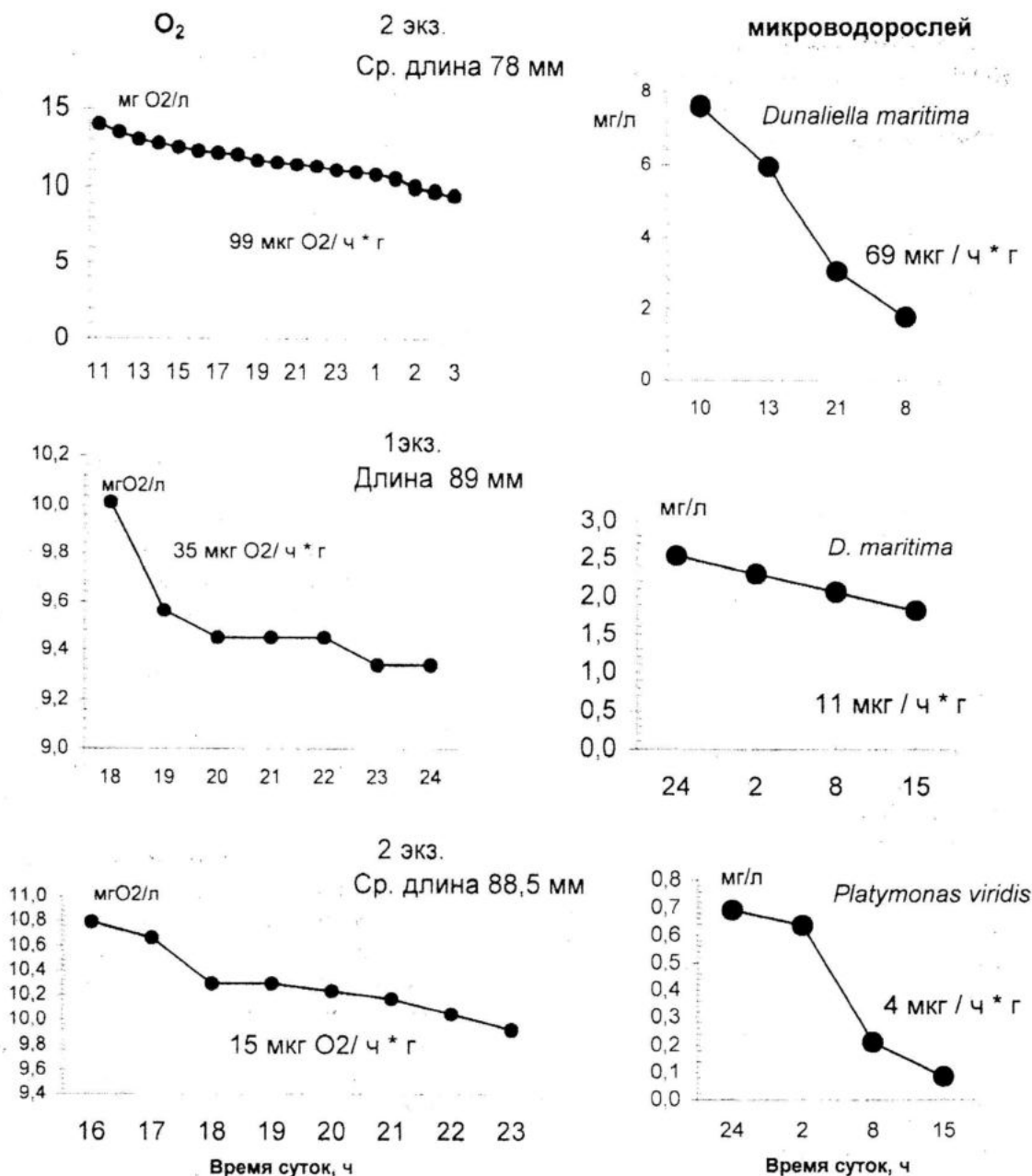


Рисунок 3 - Интенсивность дыхания и питания сальп в экспериментах

### ЛИТЕРАТУРА

1. Белоиваненко В.И., Ерохин В.Е. Камера-респирометр для определения динамики потребления кислорода водными организмами. Биология моря, - К., Наукова думка, 1978. Вып. 46. - С. 85-86.
2. Минкина Н.И., Павлова Е.В. Суточные изменения интенсивности дыхания гребневика *Mnemiopsis leidyi* в Черном море // Океанология, 1995. Т.35. № 26. - С. 241-245.
3. Самышев Э.З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. - М.: Наука, 1991. - 168 с.
4. Самышев Э.З., Лушов А.И., Ефимов В.С. Об изменении интенсивности обмена гидробионтов в процессе адаптации к условиям опыта (на примере *Idotea baltica basteri* из Черного моря)

// Гидробиол. журн. 1980. Т.16. Вып. 6. - С. 94-96.

5. Греков Н.А. Результаты исследований каналов для измерения растворенного в воде кислорода. В сб. Системы контроля окружающей среды. - Севастополь, МГИ НАНУ, 1999. - С. 54-61.

6. Кирюшенко И.Г. Некоторые конструктивно технологические и метрологические особенности измерительного канала концентрации растворенного кислорода полярографического типа. В сб. Системы контроля окружающей среды. - Севастополь, МГИ НАНУ, 2002. - С. 52-62.

7. Минкина Н.И. Интенсивность дыхания и пищевые рационы антарктической сальпы *Salpa thompsoni* Foxton // Бюлл. Украинского Антарктического Центра.