

УДК 551.465(268.45)

## ПРИБОР УЧЕТА ЛАТЕРАЛЬНОГО ПОТОКА ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА

© 2019 г. М. В. Митяев

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия  
e-mail: mityaev@mmbi.info

Поступила в редакцию 11.12.2017 г.

После доработки 15.10.2018 г.

Принята к публикации 05.02.2019 г.

Разработан и апробирован новый седиментационный прибор — «прибор учета латерального потока осадочного вещества», предназначенный для отбора проб вещества, перемещающегося в водной толще в латеральных направлениях. Прибор можно с успехом использовать для решения седиментологических, биологических, экологических задач, в том числе мониторинга переноса твердых загрязняющих веществ.

**Ключевые слова:** седиментация, потоки осадочного вещества, приливо-отливный цикл

**DOI:** 10.31857/S0030-1574595870-874

Исследования потоков рассеянного осадочного вещества в глубинах Мирового океана в последние десятилетия становятся приоритетной задачей, которая напрямую связана с проблемой глобальных климатических изменений. Вертикальные потоки вещества изучаются седиментационными ловушками различных моделей [5, 8–10, 17, 18]. Латеральные потоки рассеянного вещества в толще воды исследуются методами, основанными на скоростях течений воды и концентраций взвеси на заданных горизонтах [4, 6]. Прибор учета латерального потока осадочного вещества (ПУЛПОВ [7]) позволяет во времени изучать процессы прохождения и преобразования взвешенных частиц в водной толще, измерять количество и состав вещества, поступающего в бассейны седиментации. Учет латерального перемещения тонкого осадочного вещества важен еще и потому, что это определяющий процесс, поддерживающий энергетический баланс как в водной толще, так и на морском дне. Латеральные потоки вещества (в том числе поллютантов) являются важной частью мониторинга антропогенных загрязнений морской среды.

Изучение потоков рассеянного осадочного вещества в морях (мг через м<sup>2</sup> в сутки (год, приливо-отливный цикл или др. временной интервал) — это новое направление в науках

о процессах в океане, возможность получения прямых *in situ* количественных и качественных характеристик этих процессов во времени. Таким образом реализуется возможность развития четырехмерной седиментологии. Прибор найдет применение не только в море, но также и при исследовании озер, водохранилищ и крупных речных систем.

### СХЕМА ПРИБОРА, МЕТОД ПОСТАНОВКИ И ИЗМЕРЕНИЯ

ПУЛПОВ представляет собой два сквозных цилиндра с диаметром входного отверстия 4 см и внутренней приемной камерой диаметром 6 см (рисунок). На входе в цилиндр устанавливалось мельничное сито с диаметром ячеек 500 мкм (для исключения запыла живых организмов, способных исказить результаты). На выходе из цилиндра устанавливалось мельничное сито с диаметром ячеек 26 мкм. Прибор уравнивался грузом весом 2.6 кг вдоль нижней плоскости и пенопластовым поплавком (подъемной силы 2.2 кг) вдоль верхней плоскости прибора. ПУЛПОВ устанавливается на растяжке. Растяжка представляет собой два вертикальных линия с якорями в 30 кг и двумя буйами (рисунок). Первый буй подъемной силы 13 кг для поддержания вертикальности линия, второй буй подъемной силы 0.2 кг маркерный.

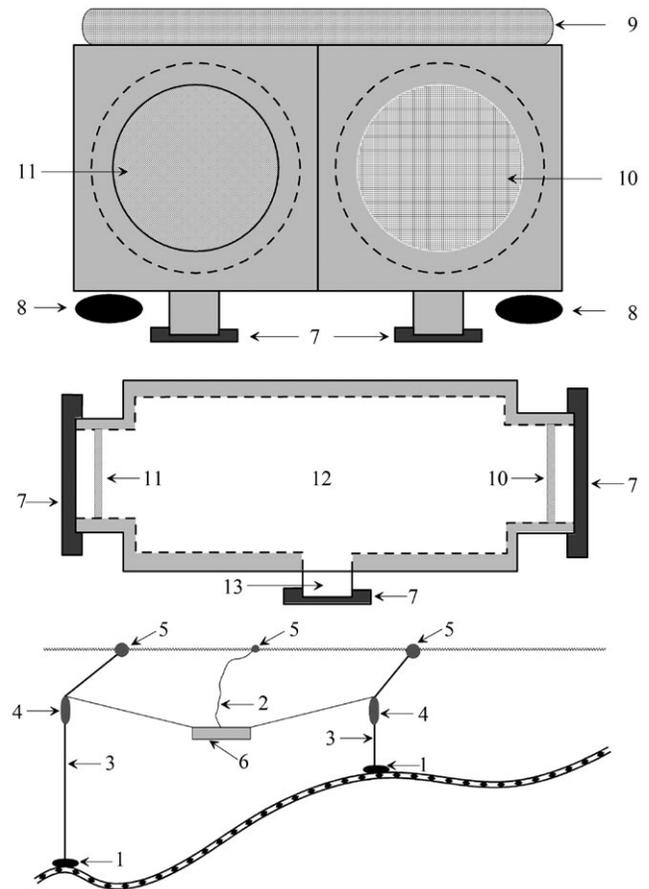
ПУЛПОВ на веревках с тяжелыми такелажными скобами вдоль маркерных линий опускается до подъемных буйев с закрытыми крышками. После установки такелажных скоб на подъемные буйи прибор за маркерный фал поднимается на судно, где заполняется дистиллированной водой и с закрытыми крышками погружается на глубину 0.5 м. В подводных условиях крышки снимаются, и прибор опускается на исследуемый горизонт. Подъем прибора осуществляется за маркерный фал до глубины 0.5 м, где устанавливаются крышки. В лабораторных условиях вода из цилиндров сливается через сливные отверстия, а прибор промывается дистиллированной водой.

Пробы воды из ПУЛПОВ лучше фильтровать через фильтры (лавсановые, стекловолоконные и т.п.) и обрабатывать в зависимости от задач исследований, так как количество осадочного вещества в цилиндрах не превышает первых миллиграмм.

Вещество, накопившееся в приборе, служило основой для оценки латерального потока вещества. Латеральный поток вначале оценивался через один квадратный метр вертикальной плоскости в конкретной точке бухты за единицу времени (час), а затем пересчитывался на вертикальное сечение шириной в один метр от поверхности до дна (далее 1 м сечения бухты) в той же конкретной точке бухты за сутки. При этом мы вносим допущение, что при небольшой глубине моря с однородной толщиной воды существенных различий в движении воды внутри водного столба нет, за исключением самого верхнего (пленочного) и нижнего (илового) слоев воды.

### ЭКСПЕРИМЕНТ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ПРИБОР

Экспериментальные исследования были выполнены 4–5 июля 2016 г. в южном борту бухты Оскара. Станция располагалась на 69°07.141' с. ш., 36°04.084' в. д., глубина моря 12 м, прибор устанавливался в 5 м от дна, температура воды на горизонте 8.8°C, соленость 30.2‰. Эксперимент проводился на гипсовых шарах. Использование гипсовых структур для регистрации движения водной массы были впервые предложены Моусом [16] и апробированы в 70–80-х гг. прошлого века отечественными и зарубежными исследователями [1–3, 11–15].



**Рис.** Схема прибора учета латерального потока вещества и способа его установки. Цифры на схеме: 1 — якорь; 2 — маркерный фал; 3 — литье; 4 — подъемный буй; 5 — маркерный буй; 6 — прибор ПУЛПОВ; 7 — крышки; 8 — концевой груз; 9 — пенопластовый поплавок; 10 — мельничное сито Ø ячеей 500 мкм; 11 — мельничное сито Ø ячеей 26 мкм; 12 — приемная камера; 13 — сливное отверстие.

Гипсовые шары диаметром 3.5 см и весом 35–38 г изготавливались из строительного алебаstra. Пригодность использования гипсовых шаров диаметром 3–4 см и весом 30–40 г для регистрации «фоновой» подвижности воды в масштабе десятков метров были обоснованы многими исследователями [2, 3, 11, 15]. В работе Хайлова с соавторами [12] было показано, что внутри пластиковых труб скорость вымывания-растворения гипсовых структур достоверно не отличается от скорости вымывания-растворения этих же структур за пределами пластиковых труб, даже при условии искусственного уменьшения внутреннего диаметра труб.

Всего было изготовлено 4 шара, два помещались в цилиндры и подвешивались в приемной камере на капроновой нити, один шар поме-

Таблица. Изменение веса гипсовых шаров за 24 часа

№	Вес, грамм		Потеря веса					
	Начальный	Конечный	Общая		Растворение		Вымывание	
			мг	%	мг	%	мг	%
1	37.73	36.21	1520	4.1	535	1.4	985	2.7
2	36.90	35.46	1440	4.0	520		920	2.6
3	38.57	33.73	4840	12.5	550		4290	11.1
4	34.92	34.43	490	1.4	490		0	0

шался в чистую закрытую емкость с морской водой (для определения растворимости гипса в морской воде), которая закреплялась над прибором. Последний шар закреплялся в 15 см от боковой поверхности прибора. Эксперимент длился 24 часа, после подъема прибора все шары извлекались и помещались в термостат при температуре 26–28°C, где высушивались до постоянного веса.

Контрольный шарик № 4, помещенный в закрытую емкость с морской водой, потерял в весе около 1.5% (таблица), растворение составило 14 мг/сут с 1 г гипса. Контрольный шарик № 3, расположенный рядом с прибором, в целом потерял в весе около 12.5%, с учетом растворения гипса вымывание составило около 11% (таблица). Потеря веса у двух гипсовых шариков, помещенных внутрь прибора, не имеет достоверных отличий, несмотря на то, что шарик № 1 помещался в цилиндр, где ток воды осуществлялся с востока на запад, а шарик № 2 — с запада на восток. Оба шарика потеряли в весе около 4%, с учетом растворения гипса вымывание составило чуть более 2.5% (таблица).

Таким образом, в приборе ПУЛПОВ движение воды происходит медленней, чем в толще воды. При этом изначально и предполагалось, что в приемной камере движение воды замедлится и частицы ВВ осадут, а тонкое мельничное сито не позволит увеличиться скорости течения воды при уменьшении диаметра выходного отверстия. При этом приемные камеры имеют разное направление входного отверстия: первая ориентировалась с запада на восток, вторая — с востока на запад. Следовательно, можно предположить, что в одну приемную камеру вода заходит только с приливным течением, а в другую с отливным, так как тонкое мельничное сито является препятствием для вхождения воды снаружи и не препятствует выходу из приемной

камеры в результате дополнительного давления за счет сужения выходного отверстия. Тогда, вероятно, скорость прохождения воды через прибор не более чем в два раза медленнее, чем за пределами прибора.

#### НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПРИБОРА

Исследования латерального потока вещества в толще воды проводили в июле–сентябре 2016 г. в южном (69°07.114' с.ш., 36°04.202' в.д., глубина моря 12 м) и северном (69°07.152' с.ш., 36°04.753' в.д., глубина моря 12 м) борту бухты Оскара губы Дальнезеленецкая Баренцева моря. В губе Чупа в июне 2016 г. в бухте Круглая (66°20.193' с.ш., 33°38.313' в.д., глубина моря 20 м) и в октябре 2016 г. в проливе о-ва Феттах (66°20.126' с.ш., 33°38.940' в.д., глубина моря 12 м). Приборы устанавливали в 5 м от морского дна и ориентировали вдоль береговой линии в бухте Оскара и проливе о-ва Феттах, а в бухте Круглая — вдоль длинной оси. Всего получено 12 проб из ПУЛПОВ.

При объеме приемной камеры прибора 0.7 л и площади входного отверстия прибора 0.00126 м<sup>2</sup> получены следующие фактические данные.

В бухте Круглая за 4 ч приливной стадии в ПУЛПОВ задержалось 1.9–2.7 мг взвешенного вещества (ВВ) при концентрации ВВ на горизонте исследования 0.5 мг/л. Если пересчитать латеральный поток через 1 м<sup>2</sup>, то он составит 99–140 мг ВВ в час. За 5 ч отливной стадии в ПУЛПОВ задержалось 2.1–3.5 мг ВВ при концентрации ВВ на горизонте исследования 0.62 мг/л, пересчет на 1 м<sup>2</sup> латерального потока составит 99–186 мг ВВ в час. Таким образом, через 1 м сечения бухты в сутки в латеральном направлении перемещается около 32 г вещества,

а это в 60 раз больше, чем масштаб вертикального потока в данной точке [6].

В проливе о-ва Фетгах за 7 ч приливной стадии в ПУЛПОВ задержалось 1.6 мг ВВ при концентрации ВВ на горизонте исследования 0.64 мг/л, пересчет на 1 м<sup>2</sup> латерального потока составляет 55 мг ВВ в час. За 6 ч отливной стадии в ПУЛПОВ задержалось 3.0 мг ВВ при концентрации ВВ на горизонте исследования 0.78 мг/л, пересчет на 1 м<sup>2</sup> латерального потока составляет 99 мг ВВ в час. Через 1 м сечения пролива в сутки в латеральном направлении перемещается 22 г ВВ, а это в 50 раз больше, чем масштаб вертикального потока [6].

В северном борту бухты Оскара за 12 ч приливной стадии в ПУЛПОВ задержалось 5.5 мг ВВ при концентрации ВВ на горизонте исследования 0.70 мг/л, пересчет на 1 м<sup>2</sup> латерального потока составляет 163 мг ВВ в час. За 11 ч отливной стадии в ПУЛПОВ задержалось 6.8 мг ВВ при концентрации ВВ на горизонте исследования 0.83 мг/л, пересчет на 1 м<sup>2</sup> латерального потока составляет 205 мг ВВ в час. Таким образом, через 1 м сечения вдоль северного борта губы в сутки в латеральном направлении перемещается 53 г ВВ, а это в 100 раз больше, чем масштаб вертикального потока в данной точке [6].

В 3 экспериментах в южном борту бухты Оскара за 10–13 ч приливной стадии в ПУЛПОВ задерживалось от 3.1 до 8.3 мг ВВ при концентрации ВВ на горизонте исследования 0.83–0.87 мг/л, пересчет на 1 м<sup>2</sup> латерального потока составляет 113–222 мг ВВ в час. За 11–12 ч отливной стадии задерживалось от 3.7 до 6.7 мг ВВ при концентрации ВВ на горизонте исследования 0.86–1.0 мг/л, пересчет на 1 м<sup>2</sup> латерального потока составляет 93–275 мг ВВ в час. За сутки вдоль южного борта бухты через метр сечения в латеральном направлении перемещалось от 24 до 70.5 г ВВ, а это в 60–210 раз больше, чем масштаб вертикального потока в данной точке [6].

Таким образом, прибор работает при разных периодах экспозиции и при разных содержаниях ВВ в толще воды, а первые рекогносцировочные данные позволяют уверенно говорить о том, что масштаб латерального потока вещества в десятки раз больше (50–210), чем вертикальный поток ВВ.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках темы НИР ММБИ КНЦ РАН: 9-18-03 (№ госрегистрации АААА-А18-118030690060-6).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виленкин Б.Я., Перцов Н.А. Деление клеток водорослей на поверхности раздела фаз при различных гидродинамических режимах // Биофизика. 1983. Т. 28. Вып. № 3. С. 463-466.
2. Завалко С.Е. Параметры роста и структуры популяции *Cystoseira crinita* (Desf) Bory в условиях природного градиента подвижности воды // Экология моря. 1983. Вып. 15. С. 34-40.
3. Ковардаков С.А., Празукин А.В., Фирсов Ю.К., Попов А.Е. Комплексная адаптация цистозеры к градиентным условиям. Киев: Наука думка, 1985. 167 с.
4. Лукашин В.Н. Седиментация на континентальных склонах под влиянием контурных течений. М.: ГЕОС, 2008. 250 с.
5. Лукашин В.Н., Клювиткин А.А., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. Малая седиментационная ловушка МСЛ-110 // Океанология. 2011. Т. 51. № 4. С. 746-750.
6. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2014. 226 с.
7. Митяев М.В. Прибор учета латерального потока осадочного вещества. Патент № 173672 РФ: МПК<sup>51</sup> G 01 N 1/10 на полезную модель // Бюллетень. 2017. № 25. 8 с.
8. Русаков В.Ю., Лукашин В.Н., Буровкин А.А. Седиментационная ловушка для кратковременных исследований вертикальных потоков вещества в океане // Океанология. 1996. Т. 36. № 5. С. 798-800.
9. Русаков В.Ю., Лукашин В.Н., Дозоров Т.А. и др. Седиментационная ловушка для долгопериодных исследований вертикальных потоков вещества в океане — КСЛ 400/12 // Океанология. 1997. Т. 37. № 2. С. 303-306.
10. Русаков В.Ю., Лукашин В.Н., Москалев А.С. Патент Ru № 2119151 С1 на изобретение “Седиментационный пробоотборник” // Российское агентство по патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). 1998. С. 1-8.
11. Хайлов К.М., Парчевский В.П. Иерархические регуляции структуры и функций морских растений. Киев: Наука думка, 1983. 253 с.
12. Хайлов К.М., Завалко С.Е., Ковардаков С.А., Рабин М.А. Изготовление и применение гипсовых структур для регистрации физико-химического взаимодействия тела с движущейся водой в мелко-масштабном пространстве // Экология моря. 1988. Вып. 30. С. 83-89.
13. Boaden P.J.S., O'Connor R.J., Seed R. The composition and zonation of a *Fucus serratus* community in Strangford Lough, Co Down // Experimental Marine Biology and Ecology. 1975. V. 17. № 2. P. 111-136.
14. Doty M.S. Measurement of water movement in reference of benthic growth // Botanical Marina. 1971. V. 14. P. 32-35.

15. Gerard V.A., Mann K.H. Growth and productivity of *Laminaria longicurris* (Phaeophyta) population exposed to different intensities of water movement // Phycology. 1979. V. 15. P. 33-41.
16. Muus B.J. A field method for measuring "exposure" by means of plaster balls // Sarsia. 1968. V. 34. P. 61-68.
17. Stanley R.H.R., Buesseler K.O., Manganini S.J. et al. A comparison of major and minor elemental fluxes collected using neutrally buoyant and surfactant-trapped traps // Deep-Sea Res. I. 2004. V. 51. P. 1387-1395.
18. Valdes J.R., Price J. A neutrally buoyant, upper ocean sediment trap // J. Atmospheric and Oceanographic Technology. 2000. V. 17 (1). P. 62-68.

## DEVICE OF REGISTRATION THE LATERAL FLOW OF SEDIMENTARY MATTER

© 2019 M. V. Mityaev

*Murmansk marine biological institute KNC RAS, Murmansk, Russia*  
*e-mail: mityaev@mmbi.info*

Received December 11, 2017  
Revised version received October 15, 2018  
After revision February 05, 2019

A new sedimentation device was developed and tested. "Device of registration the lateral flow of sedimentary matter" is intended for sampling a sedimentary particulate matter moving in the water column in the lateral directions. The device can be successfully used to solve sedimentological, biological, ecological problems, including the monitoring of solid pollutants transfer.

**Keywords:** sedimentation, fluxes of sedimentary particulate matter, tidal cycle