

УДК 551.465(268.45)

ЛАТЕРАЛЬНЫЕ ПОТОКИ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ

М. В. Митяев*, М. В. Герасимова, Л. Г. Павлова

Представлено академиком РАН В.М. Котляковым 22.02.2018 г.

Поступило 25.01.2018 г.

Получены первые данные о масштабах латерального перемещения сестона в водной толще. Установлено, что масштаб латерального перемещения взвешенного вещества в прибрежных районах в 50–210 раз больше вертикальных потоков вещества на дно.

Ключевые слова: взвешенное вещество, вертикальный поток вещества, латеральный поток вещества, “валовой” запас взвеси.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524875573-577>

В настоящее время основная масса седиментологических исследований морской воды сосредоточена на всестороннем изучении взвешенного вещества (ВВ) и вертикальных потоков вещества на дно водоёмов. Считается, что в открытых морских акваториях за пределами маргинальных фильтров латеральные потоки вещества на несколько порядков превосходят вертикальные потоки вещества на дно [4]. Для проверки данного тезиса применительно к заливам Баренцева и Белого морей был разработан прибор (прибор учёта латерального потока осадочного вещества — ПУЛПОВ [9]), позволяющий получать весовые данные по латеральному потоку вещества.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для изучения вертикального потока осадочного вещества была использована малая седиментационная ловушка (МСЛ) с диаметром цилиндров 0,15 м. В точке наблюдения МСЛ устанавливались на тот же самый горизонт и временной интервал, что и ПУЛПОВ. Постановка МСЛ осуществлялась стандартным способом [4, 5]. Определение веса осевшего вещества проводилось на электронных весах с точностью до 1 мг.

Для определения валового запаса ВВ определяли его концентрацию над МСЛ стандартным методом [4, 5]. Пробы воды отбирались на трёх горизонтах: поверхностном (0,5 м), 5 м и горизонте постановки МСЛ. Фильтры с ВВ взвешивались на электронных весах с точностью до 0,1 мг.

ПУЛПОВ представляет собой два сквозных цилиндра с диаметром входного отверстия 4 см и внутренней приёмной камерой диаметром 6 см. На входе в цилиндр устанавливалось мельничное сито с диаметром ячеек 500 мкм (для исключения заплыва 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 (подъёмной силы 2,2 кг) вдоль верхней плоскости прибора. ПУЛПОВ устанавливался на растяжке. Растяжка представляет собой два вертикальных линия с якорями в 30 кг и двумя буйами. Первый буй подъёмной силы 13 кг для поддержания вертикальности линия, второй буй подъёмной силы 0,2 кг маркерный. ПУЛПОВ на верёвках, с тяжёлыми такелажными скобами, вдоль маркерных линий опускался до подъёмных буюв с закрытыми крышками. После установки такелажных скоб на подъёмные буйи прибор на маркерном фале поднимался на лодку, где заполнялся дистиллированной водой и с закрытыми крышками погружался на глубину 0,5 м. В подводных условиях крышки снимались, и прибор опускался на исследуемый горизонт. Подъём прибора осуществлялся за маркерный фал до глубины 0,5 м, где устанавливали крышки. В лабораторных условиях воду из цилиндров сливали через сливные отверстия и промывали дистиллированной водой. Пробу воды из ПУЛПОВ фильтровали через лавсановые фильтры с диаметром пор 0,45 мкм и рабочей поверхностью 47 мм с последующей промывкой вещества дистиллированной водой. Фильтры с осадочным веществом высушивались до постоянного веса при температуре 40–60 °С и взвешивались на электронных весах с точностью до 0,1 мг.

Мурманский морской биологический институт
Кольского научного центра Российской Академии наук
*E-mail: mityaev@mmbi.info

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 °С, солёность 30,2‰. Эксперимент проводился на гипсовых шарах. Использование гипсовых структур для регистрации движения водной массы были впервые предложены В.Ю. Моусом [15] и апробированы в 70–80-х годах прошлого века отечественными и зарубежными исследователями [1–3, 10–14].

Гипсовые шары изготовлялись из строительного алебастра диаметром 3,5 см и весом 35–38 г. 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, 10, 14]. В работе К.М. Хайлова с соавторами [11] 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 четыре шара, два помещались в цилиндры и подвешивались в приёмной камере на капроновой нити, один шар помещался в чистую закрытую ёмкость 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 подъёма прибора все шары извлекались и помещались в термостат при температуре 26–28 °С, где высушивались до постоянного веса.

Исследования вертикального, латерального потока вещества и “валовых” запасов ВВ 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) бортах бухты Оскара губы Дальнезеленецкая Баренцева моря. В губе Чула в июне 2016 г. в бухте Круглая (66°20,193' с.ш., 33°38,313' в.д., глу-

бина 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, в бухте Круглая — вдоль длиной оси. Всего получено 12 проб из ПУЛПОВ, 5 проб из МСЛ и проведено 5 определений запаса ВВ в толще воды, для чего было отобрано 15 проб воды.

РЕЗУЛЬТАТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Контрольный шарик № 4, помещённый в закрытую ёмкость с морской водой, потерял в весе около 1,5% (табл. 1), 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 учётом растворения гипса вымывание составило около 11% (табл. 1). Потеря веса двух гипсовых шариков, помещённых 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 учётом растворения гипса вымывание составило чуть более 2,5% (табл. 1).

Таким образом, в приборе ПУЛПОВ движение воды происходит, но оно медленнее, чем в толще воды. При этом изначально и предполагалось, что в приёмной камере движение воды замедлится и частицы ВВ осядут, а тонкое мельничное сито не позволит увеличиться скорости течения воды при уменьшении диаметра выходного отверстия. При этом приёмные камеры имеют разное направление входного отверстия: первая ориентировалась с запада на восток, вторая — с востока на запад. Следовательно, можно предположить, что в одну приёмную 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 приёмной камеры в результате дополнительного давления

Таблица 1. Изменение массы гипсовых шаров за 24 часа

№ п/п	Масса, г		Потеря массы					
	Начальная	Конечная	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

за счёт сужения выходного отверстия. Тогда, вероятно, скорость прохождения воды через прибор не более чем в два раза медленнее, чем за пределами прибора.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Валовой запас ВВ в толще воды бухты Круглая и пролива о-ва Феттах в июне и октябре 2016 г. различался незначительно, составляя 0,66–0,7 г·м⁻³, а вертикальные потоки вещества различались более чем в 1,5 раза (табл. 2).

Валовой запас ВВ в толще воды бухты Оскара в августе 2016 г. изменялся от 0,78 до 0,91 г·м⁻³, в сентябре увеличился до 1,07 г·м⁻³. В целом запас ВВ в бухте с начала августа по вторую декаду сентября постоянно повышался. Вертикальные потоки вещества в течение августа изменялись незначительно (не более 15%), а в сентябре увеличился более чем в 1,5 раза (табл. 2).

Несмотря на различия в значениях валового запаса ВВ и вертикальных потоков ВВ на дно и их изменений во времени (табл. 2), в обоих районах исследования с июля по сентябрь 2016 г. на дно поступало 4–6% ВВ от его валового запаса в толще воды.

Масштабы латеральных потоков ВВ в десятки раз превышают вертикальные потоки на дно. Так, за сутки в бухту Круглая в приливную стадию через 1 м² поступает около 0,5 г ВВ, а через метр сечения устья бухты приносится до 9,8 г ВВ, что составляет

75% от его валового запаса. В отливную стадию за сутки через 1 м² перемещается более 1 г ВВ, а через метр сечения устья бухты выносятся до 21 г ВВ, что в полтора раза больше, чем валовой запас ВВ в толще воды. Баланс вещества таков, что за сутки из бухты через метр сечения выносятся более 10 г ВВ, а это 70% от его валового запаса. Общее количество ВВ, участвующего в латеральном потоке, более 30 г/сут, а это в 2,5 раза больше, чем валовой запас ВВ в данной точке, и в 60 раз больше, чем масштаб вертикального потока.

В проливе о-ва Феттах за сутки через метр сечения во внутреннюю часть губы поступает 7,9 г, а выносятся в открытую акваторию моря 14,4 г ВВ. Таким образом, за сутки через пролив выносятся 6,5 г ВВ, а это более 65% от валового запаса ВВ в данной точке. Баланс вещества таков, что за сутки через метр сечения пролива в толще воды горизонтально перемещается 22 г ВВ, а это в 2,5 раза больше, чем запас ВВ в данной точке, и в 50 раз больше, чем масштаб вертикального потока.

В северном борту бухты Оскара за сутки с запада на восток перемещается 23,5 г ВВ, а с востока на запад (в сторону открытой акватории моря) — 29,5 г ВВ. Таким образом, за сутки вдоль северного борта бухты выносятся 6 г ВВ, а это более 50% от его валового запаса. В целом за сутки через метр сечения вдоль северного борта губы в толще воды горизонтально перемещается 53 г ВВ, что в 5,5 раза больше, чем валовой запас ВВ в данной точке, и более чем в 100 раз больше, чем масштаб вертикального по-

Таблица 2. Запас ВВ и потоки осадочного вещества в районах исследования

Район	Дата	Ориентировка ПУЛПОВ	Фаза прилив/ отлив	Время экспозиции, сут	Поток, мг·м ⁻² ·ч ⁻¹		Запас ВВ, г·м ⁻²		
					вертикальный	латеральный			
Губа Чупа									
Бухта Круглая	18.06.2016	север—юг	отлив	0,21	24,4	185,5	13,30		
		юг—север				99,0			
		север—юг	прилив			0,16		98,5	13,10
		юг—север				139,5			
Пролив о-ва Феттах	12–13.10.2016	запад—восток	прилив- отлив	0,57	14,9	99,7	8,40		
		восток—запад				54,5			
Губа Дальнезеленецкая, бухта Оскара									
Северный борт	6–7.08.2016	запад—восток	прилив- отлив	1,01	20,6	163,2	9,76		
		восток—запад				204,7			
Южный борт	4–5.08.2016	запад—восток		прилив- отлив	0,93	19,7	93,4	9,34	
		восток—запад					112,7		
	22–23.08.2016	запад—восток	1,02		21,1	275,2	10,84		
		восток—запад				213,7			
	18–19.09.2016	запад—восток	1,17		31,8	116,6	12,78		
		восток—запад				221,7			

тока. В южном борту бухты Оскара нет одного преобладающего направления переноса вещества, хотя различия в среднем небольшие (10–11%). С запада на восток в этой части бухты за сутки через 1 м² перемещается 13,5–39,6 г ВВ, а с востока на запад — 16,2–31,9 г ВВ. В среднем за сутки вдоль южного борта бухты через метр сечения в толще воды перемещается 49,5 г (24–70,5 г) ВВ, а это в 4,5 раза больше, чем валовой запас ВВ в данной точке бухты, и в 85 раз больше, чем масштаб вертикального потока.

Таким образом, в изученных губах латеральные потоки вещества в десятки раз масштабней вертикального осаждения взвесей. Так, в губе Чупа в латеральном потоке ВВ участвует в 50–60 раз больше вещества, а в губе Дальнезеленецкой в 60–210 (в среднем 90) раз больше вещества, чем в вертикальном потоке ВВ. Возможно, различия в масштабах латерального потока в губах связаны с тем, что губа Дальнезеленецкая — это область транзита осадочного вещества [5–8], а в северном борту губы Чупа транзит вещества в открытую акваторию моря затруднен воздействием на толщу воды силы Кориолиса [7].

Источники финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы” (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61616X0073). В рамках темы НИР ММБИ КНЦ РАН 9–18–03 (ГЗ 0228–2018–0016) “Вертикальные и латеральные потоки осадочного вещества в береговых зонах Баренцева и Белого морей в условиях изменяющейся природной среды и климата”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виленкин Б.Я., Перцов Н.А. Деление клеток водорослей на поверхности раздела фаз при различных гидродинамических режимах // Биофизика. 1983. Т. 28. В. 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. В. 15. С. 34–40.
3. Ковардаков С.А., Празукин А.В., Фирсов Ю.К., Попов А.Е. Комплексная адаптация цистозир к градиентным условиям. Киев: Наук. думка, 1985. 167 с.
4. Лукашин В.Н. Седиментация на континентальных склонах под влиянием контурных течений. М.: Геос, 2008. 250 с.
5. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2014. 226 с.
6. Митяев М.В., Герасимова М.В., Бергер В.Я. Взвесь и вертикальные потоки осадочного вещества губа Ярнышная (Мурманское побережье). В сб.: XXI Междунар. науч. конф. (школа) по морской геологии. М.: Геос, 2015. Т. 3. С. 60–64.
7. Митяев М.В., Бергер В.Я., Герасимова М.В. Взвесь и вертикальные потоки осадочного вещества губа Чупа (Карельское побережье). В сб.: XXI Междунар. науч. конф. (школа) по морской геологии. М.: Геос, 2015. Т. 3. С. 65–69.
8. Митяев М.В., Герасимова М.В., Бергер В.Я. Взвесь и вертикальные потоки осадочного вещества в заливах Мурманского берега Баренцева моря и Карельского берега Белого моря // Океанология. 2017. Т. 57. № 2. С. 339–347.
9. Митяев М.В. Прибор учета латерального потока осадочного вещества. Пат. № 173672 РФ: МПК⁵¹ G 01 N1/10 № 2017115950 // Бюл. 2017. № 25. 8 с.
10. Хайлов К.М., Парчевский В.П. Иерархические регуляции структуры и функций морских растений. Киев: Наук. думка, 1983. 253 с.
11. 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 мелкомасштабном пространстве // Экология моря. 1988. В. 30. С. 83–89.
12. Boaden P.J.S., O'Connor R.J., Seed R. The Composition and Zonation of a *Fucus serratus* Community in Strangford Lough, Co Down // Exp. Mar. Biol. and Ecol. 1975. V. 17. № 2. P. 111–136.
13. Doty M.S. Measurement of Water Movement in Reference of Benthic Growth // Bot. Mar. 1971. V. 14. P. 32–35.
14. Gerard V.A., Mann K.H. Growth and Productivity of *Laminaria longicuris* (Phaeophyta) Population Exposed to Different in Tensities of Water Movement // Phycology. 1979. V. 15. P. 33–41.
15. Muus B.J. A Field Method for Measuring “Exposure” by Means of Plaster Balls // Sarsia. 1968. V. 34. P. 61–68.

**HORIZONTAL FLOW OF SEDIMENTARY MATTER
IN THE COASTAL ZONES OF BARENTS AND WHITE SEAS**

M. V. Mityaev, M. V. Gerasimova, L. G. Pavlova

*Murmansk Marine Biological Institute Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Murmansk, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS V.M. Kotlyakov February 22, 2018

Received January 25, 2018

The first data on the scale of the lateral movement of the sessile in the water column are obtained. It is established that the scale of the lateral movement of suspended matter in the coastal regions is 50–210 times greater than the vertical flow of matter to the bottom.

Keywords: suspended particulate matter, vertical sedimentary matter flow, horizontal sedimentary matter flow, gross particulate standing crop.