

УДК 551.465

О ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКАХ ВЕЩЕСТВА В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

© 2014 г. В. Н. Лукашин, А. П. Лисицын, А. Н. Новигатский,
Э. И. Мусаева, А. К. Амбросимов, Л. А. Гайворонская

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

e-mail: lukashin@ocean.ru

Поступила в редакцию 25.02.2013 г., после доработки 08.04.2013 г.

Представлены первые результаты исследования вертикальных потоков осадочного вещества с использованием седиментационных ловушек на транскаспийском разрезе. Определены величины потоков, закономерности их распределения. Определены также потоки частиц, составляющих осаждающееся вещество. Внутригодовая изменчивость потоков соответствует сезонной изменчивости биологической активности. Над северным склоном Дербентской впадины максимальные вертикальные потоки отмечены зимой, что обусловлено интенсификацией придонных течений.

DOI: 10.7868/S0030157414020166

Изучение вертикальных потоков вещества является приоритетной задачей при исследовании процессов седиментации в океанах, морях и внутриконтинентальных бассейнах, так как поток служит основной количественной характеристикой, определяющей темпы поступления осадочного материала на дно и степень преобразования его при прохождении водной толщи. Терригенные частицы микронных размеров, поступающие в бассейны седиментации с речным стоком и через атмосферу, находятся в морской воде во взвешенном состоянии и не могут самостоятельно осаждаться в морских динамических условиях (ветер, волны, течения). И только в условиях “живого океана” при работе биологического насоса терригенная взвесь может погружаться и достигать дна [18, 23]. Осаждение терригенных частиц происходит при взаимодействии с биогенным веществом. Они агрегируются с биогенными компонентами взвеси, при фильтрации воды зоопланктоном включаются в состав фекальных пеллет и пищевых комков, налипают на слизистые поверхности аморфных детритных и желеобразных биогенных частиц (“морской снег”) [20, 23, 26, 32 и др.]. И только крупные раковины планктона (например, фораминифер, птеропод, крупных диатомей) могут осаждаться самостоятельно. Именно процессы агрегирования минеральных терригенных частиц с биогенными компонентами взвеси обеспечивают осаждение (поток) тонкого терригенного вещества в составе крупных биогенных агрегатов, которые сравнительно быстро (скорость осаждения в среднем 70 м в сут [12, 22, 28 и др.]) достигают морского дна. Вертикальные потоки вещества выражаются в единицах массы вещества, проходящей через единицу площади столба воды в единицу времени (обычно

в мг/м²/сут) и изучаются разными методами – изотопными, расчетными с использованием математического моделирования и прямым с помощью седиментационных ловушек, дающим наиболее точные результаты [4].

Исследования вертикальных потоков вещества в океанах и морях мировое научное сообщество проводит более 40 лет [9, 13, 15, 17, 21, 30, 33 и др.]. Уже первые результаты оказались настолько важными, что был организован международный проект JGOFS (Объединенное глобальное изучение потоков вещества в океане), включенный как основной проект в IGBP (Международную геосферно-биосферную программу), программу, разработанную в связи с глобальными климатическими изменениями, обусловленными повышением содержания CO₂ в атмосфере. Поэтому изучались преимущественно потоки углерода, являющиеся важным компонентом его глобального цикла [13, 17, 21, 30, 31, 33, 34 и др.]. Исследование потоков вещества как материала для формирования осадков или в целях мониторинга морской среды также проводилось, но в меньших масштабах [7, 15, 25, 29 и др.]

Во внутренних морях России и в морях, омывающих ее побережья (Белом, Черном, Баренцевом, Карском, Японском), потоки вещества изучались как российскими, так и зарубежными исследователями [например, 6, 11, 19, 24, 25]. В Каспийском море такие исследования не проводились, хотя оно является уникальным внутренним бассейном, расположенным в гумидной, семиаридной и аридной зонах, что определяет характер питания бассейна осадочным материалом. В акваторию Северного Каспия осадочный материал поступает главным образом с речным стоком, тогда как в западную часть Среднего и Юж-

ного Каспия поставка осадочного материала осуществляется речным стоком и в виде аэрозолей через атмосферу, а в восточную часть этих акваторий только через атмосферу. Кроме того, на дне Южного Каспия обнаружено множество грязевых вулканов, которые также являются важным источником осадочного вещества. Таким образом, исследование потоков вещества стало необходимым при выполнении программы “Система Каспийского моря”, руководимой академиком РАН А.П. Лисицыным, так как изучение функционирования системы моря без исследования потоков вещества невозможно. Поэтому в 30- и 32-м рейсах НИС “Рифт” в 2009 г. впервые в Каспийском море была поставлена серия притопленных буйковых станций-обсерваторий с седиментационными ловушками и измерителями течений Поток-2М для изучения вертикальных потоков вещества и условий его осаждения. В результате получен материал, предлагаемый для рассмотрения в этой статье. Целью работы является оценка вертикальных потоков осадочного материала, определение состава осаждающегося вещества и потоков его компонентов, выявление закономерностей их распределения в море и характера внутригодовой изменчивости.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал для изучения потоков вещества был получен в экспедициях 30-, 32- и 35-го рейсов НИС “Рифт” в апреле, сентябре 2009 г. и в июне 2010 г. соответственно [1, 2]. Сбор материала для исследования потоков вещества проводился на притопленных буйковых станциях-обсерваториях, поставленных на транскаспийском разрезе (рис. 1). В табл. 1 приведены данные по местоположению каждой седиментационной ловушки и времени сбора осаждающегося вещества (экспозиции). Притопленные буйковые станции состояли из буя (пенопластового или набранного из стеклянных плавающих), погруженного под воду на 30–40 м (под слой скачка плотности) для предотвращения влияния волнения и обрастания, груза-якоря (набор цементных бордюрных плит) и буйрепа – капронового фала между бум и якорем, на который навешивались приборы. Станции были оборудованы малыми цилиндрическими седиментационными ловушками МСЛ-110, разработанными и изготовленными в Лаборатории физико-геологических исследований ИО РАН [8], конусными 12-стаканными ловушками Лотос (ОКБ ОТ) и цилиндрическими 12-ти-стаканными ловушками Hydrobios (КУМ, ФРГ). Кроме того, на станции были поставлены измерители течений Поток-2м (ОКБ ОТ), регистрирующие скорость и направление течений и температуру воды. Каждая станция была снабжена гидроакустическим размыкателем троса АГАР (ОКБ ОТ),

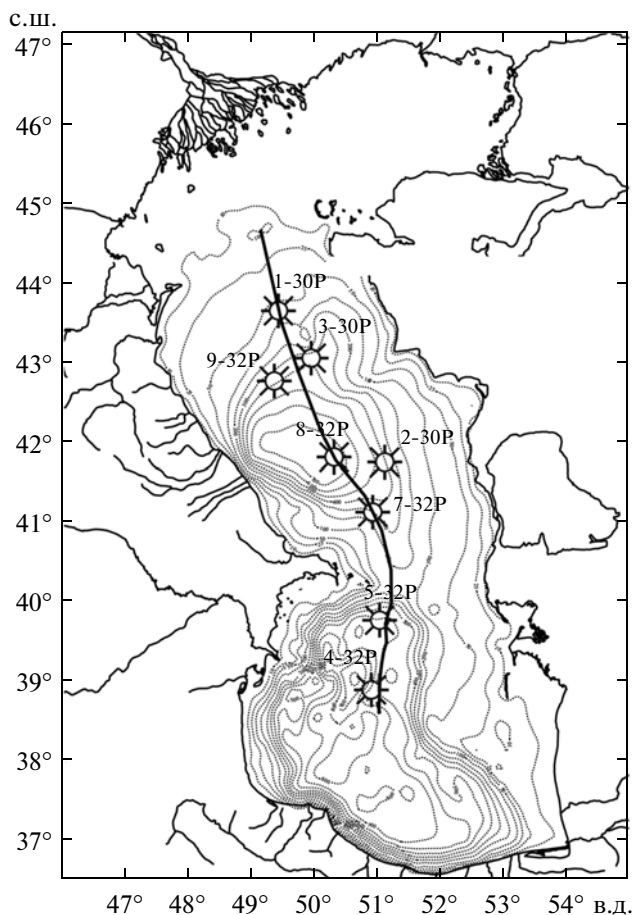


Рис. 1. Схема расположения станций-обсерваторий в Каспийском море. Линия обозначает положение транскаспийского разреза.

при срабатывании которого станция освобождалась от якоря по команде с судна. Станция всплывала и поднималась на борт судна.

Перед постановкой станции в пробосборники (полиэтиленовые флаконы) ловушек заливался плотный фиксирующий раствор (1% раствор HgCl_2 в морской воде с соленостью, доведенной до 35‰) для предотвращения разложения органического вещества в ловушке и вымывания собранного материала при подъеме станции.

После подъема станции пробосборники из ловушек вывинчивались, закрывались чистыми крышками и переносились для хранения в холодильник. По окончании экспедиции пробы перевозились в портативных холодильниках в лабораторию ИО РАН. Полученные пробы были разделены с помощью сплиттера на две части – 0.75 и 0.25. Меньшая часть переливалась в флакон и помещалась в холодильник, она предназначена для определения состава частиц. Большая часть сначала пропусклась через капроновое сито с размером ячеек около 300 мкм для отделения крупных

Таблица 1. Данные по седиментационным ловушкам в Каспийском море

№ станции	Даты постановки подъема	Координаты с.ш. в.д.	Глубина, м	Горизонт, м	Экспозиция, сут	Прибор	Поток, мг/м ² /сут
1-30P	19:07 19.04.09	43°40.31'	65.5	48	6.5	МСЛ 3	13955
	07:00 26.04.09	49°18.23'		62		Поток-2м	
2-30P	10:00 24.04.09 08:50 09.09.09	41°45.874' 50°57.738'	520	100	138	Поток-2м	470
				220		МСЛ 9, 10	
				320	137	7, 8	509
				420		5, 6	457
				500		Лотос 2	4–495
510	138	Поток-2м					
3-30P	16:20 25.04.09 14:20 14.09.09	43°07.442' 49°43.747'	320	100	141.9	МСЛ 17, 18	214
				220		15	273
				270	Поток-2м	13, 14	381
				310			
4-32P	06:00 11.09.09 17:30 16.06.10	39°03.325' 50°48.518'	975	130	278	МСЛ 29	244
				945		25	206
				955	Лотос 2	Поток-2м	13–251
				960			
5-32P	21:00 11.09.09 10:00 16.06.10	39°39.438' 50°56.335'	716	130	277	Поток-2м	330
				160		МСЛ 41	
				360	276	40	360
				560		34	182
				685		30	648
				696	Лотос-3	Поток-2м	759
706							
7-32P	21:00 12.09.09 15:00 15.06.10	41°26.828' 50°51.820'	456	45	276	Поток-2м	542
				100		МСЛ 39	
				300	Поток-2м	3550	
				435			33
				445			32
8-32P	12:00 13.09.09 06:00 09.06.10	41°49.550' 50°23.288'	753	150	269	МСЛ 37	298
				550		36	454
				705	268	31	417
				735		Hydrobios-4	57–835
				747		Поток-2м	
9-32P	22:00 14.09.09 07:00 08.06.10	42°43.638' 49°17.435'	417	120	267	МСЛ 42	262
				270		38	407
				380	266	35	1046
				397		Hydrobios-3	149–1856
				407		Поток-2м	

частиц. Уловленный ловушками планктон (свиммеры) выбирался чистым пластиковым пинцетом, крупные пеллеты разрушались струей биди-

стиллированной воды и проходили сквозь сито. После этого пробы отстаивались, морская вода декантировалась, а пробы дважды промывались би-

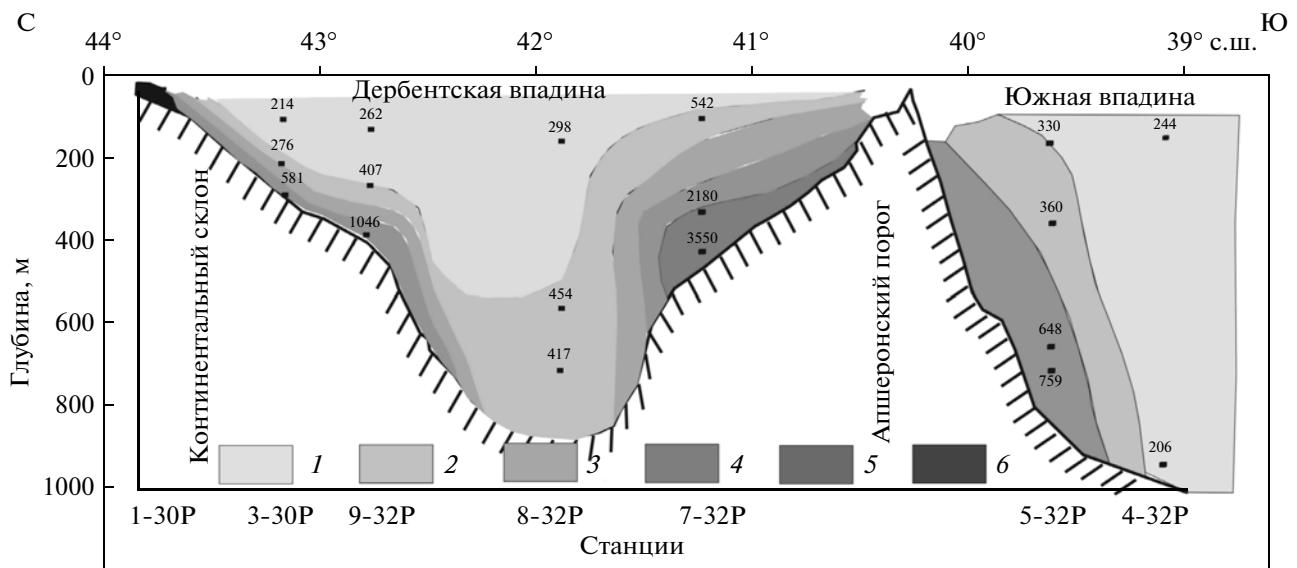


Рис. 2. Распределение потоков на транскаспийском разрезе, $\text{мг}/\text{м}^2/\text{сут}$.

1 – <300; 2 – 300–500; 3 – 500–1000; 4 – 1000–2000; 5 – >2000; 6 – >10000

дистиллятом для удаления солей. Затем они высушивались в чистом сушильном шкафу при 40°C и взвешивались. Расчет потоков вещества проводился на полную пробу с использованием данных по массам проб, площадям сбора ловушек и временам экспозиции в море. Величины потоков приведены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по суммарным потокам, полученные малыми седиментационными ловушками МСЛ-110, показывают, что их величины варьируют от 206 до $13955 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$. Максимальные значения приурочены к приволжскому шельфу Дербентской котловины (рис. 2), что обусловлено огромным количеством осадочного материала, поступающего с речным стоком. С удалением в море потоки уменьшаются, так как уменьшается влияние речного стока. Характер такого распределения нарушается в придонных слоях воды, на глубинах около 400 м, над северным склоном Дербентской впадины, где вертикальный поток увеличивается до более $1000 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$.

В верхней части столба воды в Дербентской котловине потоки незначительны – менее $300 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$, а с глубиной они несколько увеличиваются, что противоречит известным данным о распределении потоков с глубиной в океанах и открытых частях морей [7, 9, 16, 33]. Такое увеличение, вероятно, связано с влиянием речного стока, взвесь которого распространяется в глубоких слоях Дербентской впадины. Очень высокие значения (более $2000 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$) отмечаются

над северным склоном Апшеронского порога на горизонтах 300 и 435 м.

В Южной впадине Каспийского моря потоки распределяются по классической схеме – уменьшаются с глубиной. Над южным склоном Апшеронского порога в глубоких и придонных слоях воды потоки увеличиваются до $760 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$, что связано, по-видимому, с гравитационными процессами на склоне. В центральной части Южной впадины потоки минимальны, составляют у дна $206 \text{ мг}/\text{м}^2/\text{сут}$.

Таким образом, для распределения величин потоков осадочного вещества характерно уменьшение потоков с удалением от берегов. Эта закономерность нарушается в придонных слоях над склонами (глубины 300–450 м) значительным увеличением потоков, что обусловлено, по-видимому, процессами, характерными для континентальных склонов [5].

Просмотр материала из седиментационных ловушек под микроскопом в камере Богорова показал следующее. Основная масса вещества состоит из аморфных детритных комков (“морского снега”), размером 0.2–0.5 мм, подсчитать которые практически невозможно. Именно эти частицы соосаждают тонкий терригенный материал и мелкие панцири планктона, налипающие на их поверхностях. Другие частицы и их потоки представлены в табл. 2. Это, в основном, скелеты диатомовых водорослей и фекальные пеллеты зоопланктона. Вертикальные потоки этих частиц в верхних горизонтах столба воды, под слоем скачка плотности, составляют десятки и сотни тысяч экземпляров через м^2 в сут (рис. 3). В глубоковод-

Таблица 2. Потоки частиц, составляющих осаждающееся вещество, экз/м²/сут

Частицы	Размер частиц, мм	Станция, горизонт									
		1-30P	2-30P			3-30P			4-32P	5-32P	
		48 м	220 м	320 м	420 м	100 м	220 м	270 м	130 м	160 м	360 м
Скелеты диатомовых	0.01–0.3	2624000	210243	94182	33809	245492	199855	231670	11223	23104	7114
Фекальные пеллеты, цилиндрические	~0.5	8200	44037	9802	11649	2054	18261	19745	4532	5198	188
Фекальные пеллеты, овальные	~0.25	1150	5700	149	128	1560	5411	7240	2482	243	18
Фрагменты личинок шкурок ракообразных	0.5–0.1	н.о.	7	н.о.	н.о.	296	186	1560	295	806	795
Яйца ракообразных	0.3	н.о.	68	50	36	138	76	99	19	20	12
Створки двустворчатых	0.25–0.37	н.о.	7	н.о.	7	н.о.	н.о.	6		3	0
Обрывки макроводорослей	0.6–2	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	61
Шарики, похожие от водорослей или нефти	0.05–0.2	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Прозрачные гроздья, серые	0.6	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Частицы	Размер частиц, мм	Станция, горизонт									
		5-32P		7-32P	8-32P			9-32P			
		560 м	685 м	100 м	150 м	550 м	705 м	120 м	270 м	380 м	
Скелеты диатомовых	0.01–0.3	10397	547	222609	337390	112463	117857	178691	204984	28922	
Фекальные пеллеты, цилиндрические	~0.5	523	97	20290	16066	14460	4103	241	499	3089	
Фекальные пеллеты, овальные	~0.25	н.о.	н.о.	17391	6426	2008	2582	145	72	2808	
Фрагменты личинок шкурок ракообразных	0.5–0.1	43	27	12464	8435	75	52	6807	8642	437	
Яйца ракообразных	0.3	н.о.	н.о.	16	11	11	11	9	19	н.о.	
Створки двустворчатых	0.25–0.37	н.о.	н.о.	25043	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
Обрывки макроводорослей	0.6–2	н.о.	н.о.	483	689	11	н.о.	2658	1404	н.о.	
Шарики, похожие от водорослей или нефти	0.05–0.2	н.о.	н.о.	68	367	н.о.	н.о.	1118	1092	н.о.	
Прозрачные гроздья, серые	0.6	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	522	235	н.о.	н.о.	н.о.	

Примечание. н.о. – не обнаружено.

ных котловинах (станции 5-32P и 8-32P) с глубиной потоки этих компонентов уменьшаются за счет частичного разрушения пеллет и растворения кремнистых скелетов диатомовых в толще воды. Потоки аморфных детритных комков, по-видимому, также уменьшаются, а относительное со-

держание увеличивается, что отмечалось ранее в Атлантике [7]. На склонах (станции 2-30P и 9-32P) потоки этих частиц в толще воды также уменьшаются. В придонных горизонтах уменьшаются потоки диатомовых, а потоки фекальных пеллет возрастают. Это обусловлено тем, что диатомовые

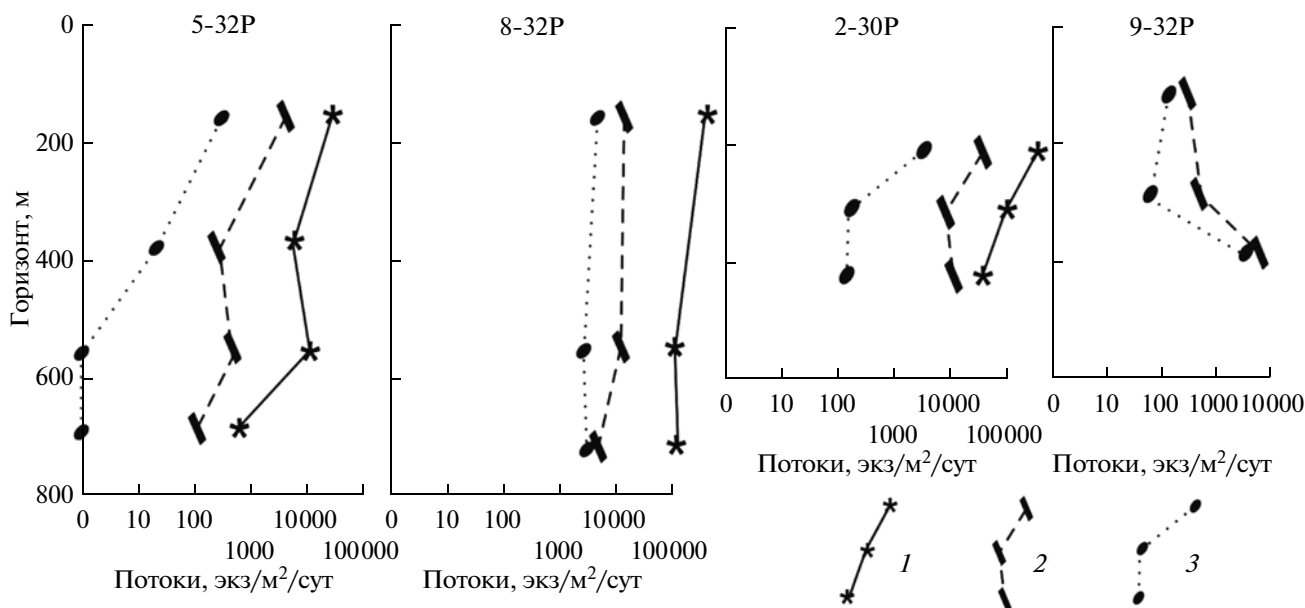


Рис. 3. Изменение с глубиной потоков основных компонентов осаждающегося вещества, экз/м²/сут. 1 – скелеты диатомовых; 2 – фекальные пеллеты цилиндрические; 3 – фекальные пеллеты овальные.

сравнительно быстро растворяются и в толще воды, и в осадках, тогда как пеллеты, осаждаясь на дно, накапливаются в верхнем неустойчивом слое осадков. При взаимодействии осадков с придонными течениями они взмучиваются, переходя в придонный нефелоидный слой, и переносятся течением, вновь осаждаясь по пути следования течения, то есть переотлагаются. О том, что такие течения есть на глубинах около 400 м, свидетельствуют наши данные по измерениям профилей течений на станциях, а также записи измерителей течений Поток-2М, стоявших на притопленных буйковых станциях в придонном горизонте [1, 2].

Кроме этих основных компонентов, отмечены фрагменты личинок шкурки ракообразных, их яйца, обрывки микроводорослей и др. Этих частиц значительно меньше, и они не оказывают какого-либо влияния на седиментационный процесс. Аморфные детритные комки и фекальные пеллеты зоопланктона являются основными носителями и поставщиками вниз терригенного осадочного материала.

С помощью 12-стаканных седиментационных ловушек на четырех станциях удалось получить внутригодовое распределение потоков с шагом 30 сут (рис. 4). На ст. 2-30P, работавшей с 25 апреля по 9 сентября 2009 г., по данным ловушки Лотос (гор. 500 м, в 20 м от дна), потоки изменялись от 4 до 495 мг/м²/сут, причем максимальные значения в мае, что связано с цветением фитопланктона, интенсивным его выеданием зоопланктоном и, соответственно, увеличением потока осаждающегося вещества [26]. По мере уменьшения интенсивности цветения летом уменьшаются и

значения потоков, минимальные — в августе. Влияние придонных факторов (придонные течения нефелоидный слой) не отмечается.

На ст. 8-32P, стоявшей с 12 сентября 2009 г. по 9 июня 2010 г. в центре Дербентской впадины, седиментационная ловушка Hydrobios располагалась в 18 м от дна (гор. 735 м). Значения потоков изменялись от 57 до 835 мг/м²/сут. Здесь наблюдаются два пика потоков. Один пик во время осеннего цветения фитопланктона в ноябре (754 мг/м²/сут), и второй пик весенний (835 мг/м²/сут), в мае 2010 г., так же как на ст. 2-30P в мае 2009 г. Зимой и, вероятно, летом (см. диаграмму для ст. 2-30P) вертикальные потоки вещества незначительны, минимальное значение получено в конце зимы (февраль–март). Сезонная изменчивость потоков, обусловленная биологическими процессами, характерна для вод всего Мирового океана, причем данные многолетних исследований показали, что максимумы потоков могут сдвигаться в сторону зимы или, наоборот, лета [14, 16, 31, 34 и др.].

Подобное распределение характерно для придонного горизонта в центре Южной котловины на глубине 955 м на ст. 4-32P, работавшей также с сентября 2009 по май 2010 гг. Потоки здесь в разы ниже, чем в Дербентской впадине. Высокие потоки отмечены осенью, в октябре–ноябре, зимой с января потоки уменьшаются и остаются минимальными — 13–20 мг/м²/сут до мая.

Станция 9-32P также была поставлена в сентябре 2009 г. и снята в июне 2010 г. Она стояла на северном склоне Дербентской впадины. Седиментационная ловушка Hydrobios стояла в 20 м от

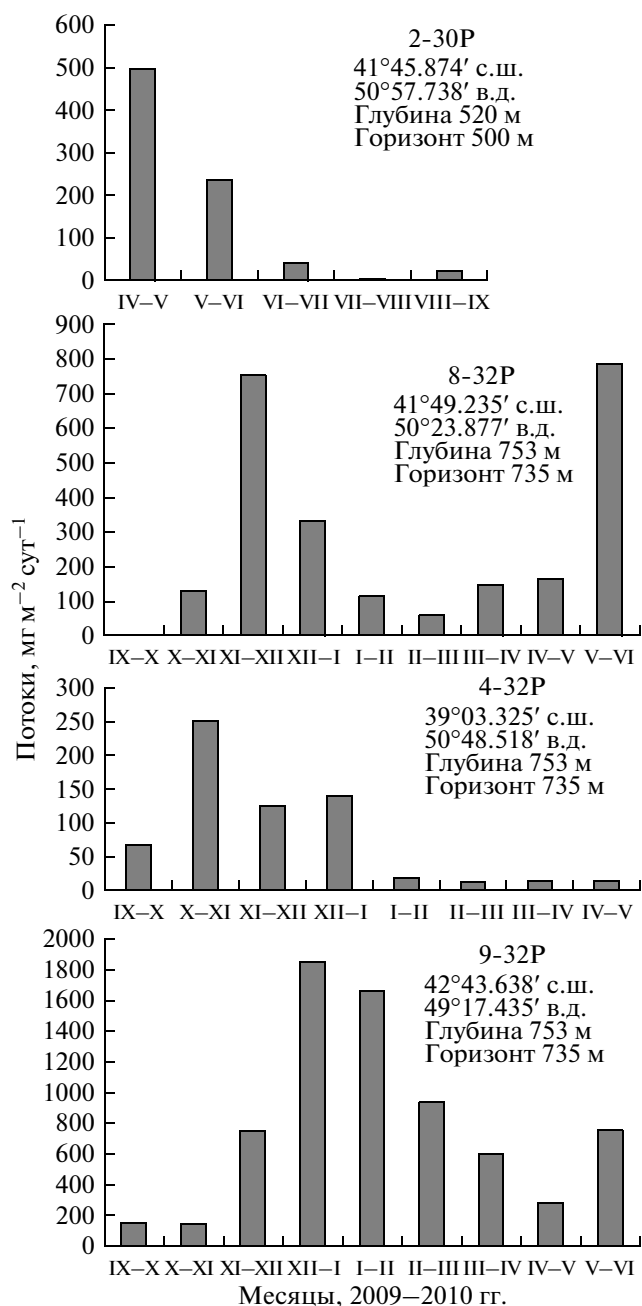


Рис. 4. Внутригодовая изменчивость потоков.

дна, а ниже был расположен измеритель течений Поток-2М. Здесь, в отличие от ст. 8-32P, максимальные значения наблюдались зимой. Анализ данных показал, что, во-первых, распределение потоков контролируется сезонными вариациями, связанными с биологическими процессами в море. Об этом свидетельствует близость величин потоков для мая и ноября на этой станции (758 и 768 мг/м²/сут) и ст. 8-32P (см. выше). Во-вторых, зимний максимум обязан интенсификации придонных течений, зарегистрированных измерителем течений

Поток-2М [2]. Накопление осаждающегося материала в ловушке и измерение параметров придонного течения проводились синхронно. Данные по распределению вертикальных потоков показывают максимальные значения 1860 мг/м²/сут в декабре, 1665 мг/м²/сут в январе и 940 мг/м²/сут в феврале. В марте и апреле потоки убывают и вновь увеличиваются в мае. Записи регистрации течений показали (рис. 5), что именно в зимний период скорости течений в 10 м от дна были очень высоки (до 45 см/с). Это связано с процессами охлаждения и осолонения воды в Северном Каспии в результате зимнего конвективного перемешивания и льдообразования. Плотность воды становится выше, чем на больших глубинах в Дербентской впадине, что приводит к стеканию воды по континентальному склону (каскадинг) и эпизодической вентиляции придонных вод [3, 10]. Течение направлено на юго-запад, что предполагает его циклонический характер в районе измерения. Воздействие течений на поверхность дна приводит к взмучиванию нестабильного слоя осадков и частичного перевода его во взвесь с образованием придонного нефелоидного слоя. Взвесь нефелоидного слоя при высоких скоростях течений и, соответственно, турбулентности агрегируется и, утяжеляясь, вновь осаждается [27, 32]. Происходит перетолжение осадочного материала.

Высокие вертикальные потоки вещества над северным склоном Апшеронского порога, вероятно, также связаны с придонным течением. Здесь, после постановки притоленной станции 7-32P, было проведено ступенчатое измерение профилей течений доплеровским профилографом ADCP Continental Nortec [1]. Данные профилирования показали, что на глубинах от 250 м до дна существует течение, направленное на юго-восток, со скоростями, достигающими в придонном слое 20 см/с (рис. 6а). Записи измерителя течений Поток-2М, работавшего на станции в 10 м от дна, также свидетельствуют о течении, которое в начале экспозиции (в сентябре–октябре) было направлено на юго-восток, а в конце октября повернуло на северо-восток и ускорилось (рис. 6б). Наиболее высокие скорости (до 30 см/с) наблюдались в январе–феврале 2010 г. Здесь, так же как на северном склоне Дербентской впадины, при воздействии течения на донные осадки возможно образование нефелоидного слоя, за счет которого в придонном горизонте увеличивается вертикальный поток осадочного материала. Кроме того, увеличению потоков здесь могут способствовать буровые работы на многочисленных платформах, установленных на пороге.

Таким образом, в зимнее время формируется циклоническое контурное течение с высокими скоростями, воздействующими на донные осадки. В результате образуется нефелоидный слой, являющийся источником материала для осадков,

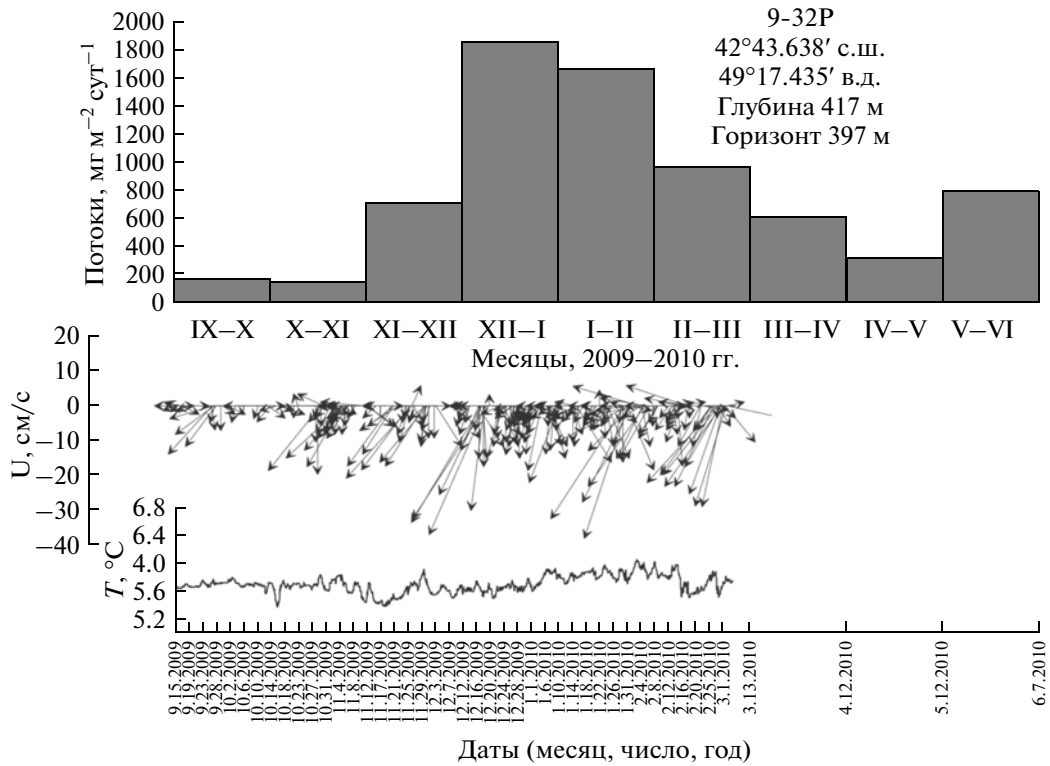


Рис. 5. Изменчивость потоков для ст. 9-32P и векторы скоростей течения и температура с 15.09.2009 г. по 5.03.2010 г., по данным измерителя течений Поток-2М.

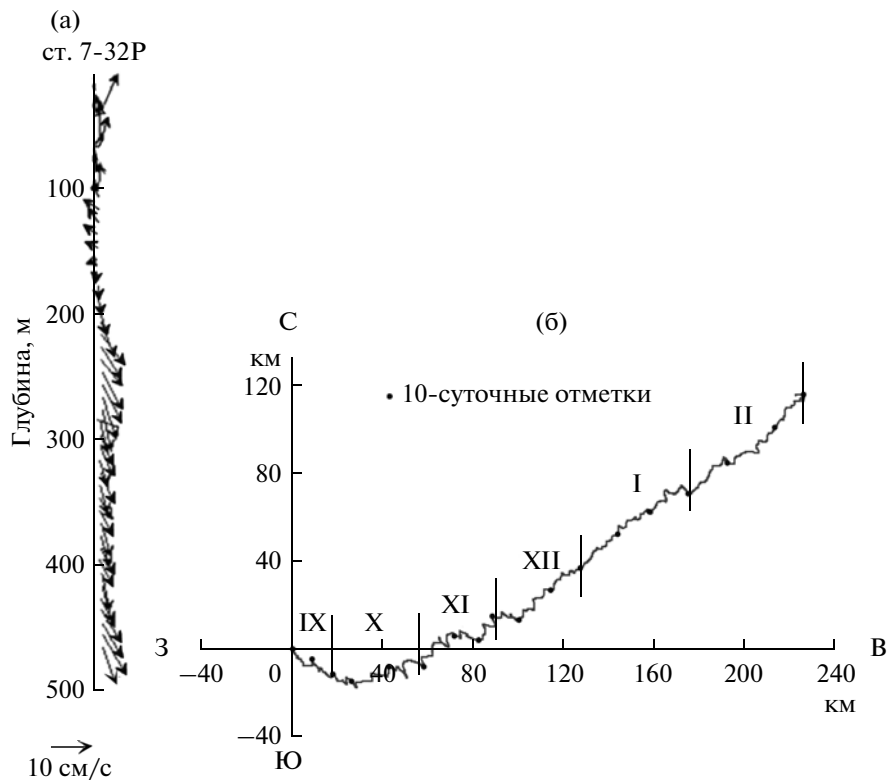


Рис. 6. Распределение векторов течений в столбе воды в точке ст. 7-32P, по данным ступенчатого профилирования ADCP Continental Nortec (а), и прогрессивная векторная диаграмма перемещений, полученная по данным измерителем течений Поток-2М, работавшем на притопленной станции-обсерватории 7-32P с 13.09.2009 г. по 02.03.2010 г. в 10 м от дна (б).

формирующихся под течением. Это следует подтвердить путем исследований с использованием притопленных долговременных станций-обсерваторий на тех же глубинах на западном и восточном склонах Дербентской впадины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены первые результаты по исследованию вертикальных потоков осадочного вещества в Каспийском море. Установлено, что распределение потоков вещества на транскаспийском разрезе подчиняется “циркумконтинентальному” типу зональности, характеризующемуся уменьшением величин потоков с удалением от источников осадочного материала. В Каспийском море идет нормальный осадочный процесс с закономерным распределением и темпами осаждения поступающего в море терригенного вещества. Этот процесс нарушается на северном континентальном склоне и склонах Апшеронского порога в результате воздействия контурного течения на неустойчивый верхний слой донных осадков и частичного перехода их во взвешенное состояние с образованием придонного нефелоидного слоя. Контурное течение является агентом перераспределения осадочного материала, а высокие вертикальные потоки вещества над склонами указывают на переотложение осадков.

Вещество, осажденное в седиментационных ловушках, состоит из биогенных агрегатов – аморфных детритных комков, фекальных пеллет зоопланктона, которые включают в себя дисперсные терригенные частицы, а также скелетов диатомовых и других биогенных частиц. Механизм агрегирования терригенного вещества путем фильтрации воды морскими организмами, главным образом зоопланктоном, является основным в обеспечении быстрой транспортировки осадочного материала на морское дно.

Таким образом, впервые удалось получить данные по вертикальным потокам осадочного вещества в Каспийском море. Исследование потоков на транскаспийском разрезе позволило установить общие закономерности их распределения, определить состав частиц осаждающегося материала и их потоки, определить характер и причины внутригодовой изменчивости.

Исследование поддержано Президиумом РАН (программа № 23) и Отделением наук о Земле РАН (проект “Микро- и наночастицы в Мировом океане и пресноводных объектах”), НШ-618.2012.5, а также РФФИ (грант № 11-05-00456-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Буренков В.И. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 32-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 751–757.
2. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Либина Н.В. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 35-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 1. С. 751–757.
3. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. М.: Изд-во МГУ, 1975. 272 с.
4. Лисицын А.П. Потоки вещества и энергии во внешних и внутренних сферах Земли // *Глобальные изменения / Ред. Добрецов Н.Л., Коваленко В.И.* Новосибирск: Наука, 2001. С. 163–248.
5. Лисицын А.П. Лавинная седиментация и перерывы в осадкообразовании в морях и океанах. М.: Наука, 1988. 309 с.
6. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Виноградов М.Е. и др. Потоки осадочного вещества в Карском море и в эстуариях Оби и Енисея // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 748–758.
7. Лукашин В.Н., Исаева А.Б., Серова В.В., Николаева Г.Г. Геохимия осадочного вещества и его потоки в восточной части экваториальной Атлантики // *Геохимия*. 2002. № 3. С. 306–318.
8. Лукашин В.Н., Ключиткин А.А., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. Малая седиментационная ловушка МСЛ-110 // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 746–750.
9. Лукашин В.Н., Шевченко В.П., Романкевич Е.А. Потоки осадочного вещества в Юго-восточной Атлантике // *Докл. РАН*. 1993. Т. 330. № 5. С. 638–641.
10. Тужилкин В.С., Гончаров А.В. О вентиляции глубинных вод Каспийского моря // *Тр. ГОИН*. 2008. Вып. 211. С. 43–64.
11. Шевченко В.П., Иванов Г.И., Буровкин А.А. и др. Потоки осадочного вещества в желобе Святой Анны и в восточной части Баренцева моря // *Докл. РАН*. 1998. Т. 359. № 3. С. 401–404.
12. Alldredge, A.L., Silver, M.W. Characteristics, dynamics and significance of marine snow // *Progress in Oceanography*. 1988. V. 20. P. 41–82.
13. Bishop J.K.B. Regional extremes in particulate matter composition and flux: effects on the chemistry of the ocean interior // *Productivity of the Ocean: Present and Past / Eds. Berger W.H. et al.* N.Y.: Wiley and Sons, 1989. P. 117–137.
14. Deuser W.G. Temporal variability of particle flux in the deep Sargasso sea // *Particle flux in the ocean / Eds. Ittekkot V. et al.* N.Y.: Wiley and Sons, 1996. P. 185–198.
15. Hongo S. Particle fluxes and modern sedimentation in the Polar Oceans // *Polar Oceanography. Part B. Chemistry, biology and Geology / Ed. Smith W.O.* N.Y.: Academic Press, 1990. P. 687–739.
16. Honjo S., Hay B.J., Manganini S.J. et al. Seasonal cyclicity of lithogenic particle fluxes at a southern Black Sea sediment trap station // *Particle Flux in the Ocean / Eds. Degens E.T. et al.* Hamburg: Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univer. Hamburg, 1987. № 62. P. 19–39.
17. Honjo S., Manganini S.J., Cole J.J. Sedimentation of biogenic matter in the deep ocean // *Deep-Sea Res.* 1982. V. 29. № 5A. P. 608–625.

18. *Honjo S., Manganini S.J., Krishfield R.A., Francois R.* Particulate organic carbon fluxes to the ocean interior and factors controlling the biological pump: A synthesis of global sediment trap programs since 1983 // *Progress in Oceanography*. 2008. V. 76. P. 217–285.
19. *Izdar E., Konuk T., Ittekkot V. et al.* Particle flux in the Black Sea: nature of the organic matter // *Particle Flux in the Ocean* / Eds. Degens E.T. et al. Hamburg: Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univer. Hamburg, 1987. № 62. P. 1–18.
20. *Kepkay P.E.* Particle aggregation and the biological activity of colloids // *Marine Ecology Project Series*. 1994. V. 109. P. 293–304.
21. *Knauer G.A., Martin J.H., Bruland K.W.* Fluxes of particulate carbon, nitrogen, and phosphorus in the upper water column of the northeast Pacific // *Deep-Sea Res.* 1979. V. 26A. P. 97–108.
22. *Komar P.D., Morse A.P., Small L.F., Fowler S.W.* An analysis of sinking rates of natural copepod and euphausiid fecal pellets // *Limnol. Oceanogr.* 1981. V. 26. P. 172–180.
23. *Lisitzin A.P.* Sediment fluxes, natural filtration and sedimentary systems of a “Living Ocean” // *Russian Geology and geophysics. Special Issue*. Novosibirsk: SB RAS, 2004. V. 45. P. 12–43.
24. *Lukashin V.N., Isaeva A.B., Rat'kova T.N., Prego R.* Particulate Matter and Vertical Particle Fluxes in the White Sea // *Oceanology*. 2003. V. 43. Suppl. 1. P. 159–172.
25. *Masuzawa T., Noriki S., Kurosaki T. et al.* Compositional change of settling particles with water depth in the Japan Sea // *Marine Chemistry*. 1989. V. 27. P. 61–78.
26. *Peinert R., Bathmann U., von Bodungen B., Noji T.* The impact of grazing on spring phytoplankton growth and sedimentation in the Norwegian Current // *Particle Flux in the Ocean* / Eds. Degens E.T. et al. Hamburg: Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univer. Hamburg, 1987. № 62. P. 149–164.
27. *Ransom B., Shea K.F., Burkett P.J. et al.* Composition of pelagic and nepheloid layer marine snow: implications for carbon cycling // *Marine Geology*. 1998. V. 150. P. 39–50.
28. *Shanks A.L., Trent J.D.* Marine snow: sinking rates and potential role in vertical flux // *Deep-Sea Res.* 1980. V. 27. P. 137–143.
29. *Soutar A., Kling S.A., Crill P.A. et al.* Monitoring the marine environment through sedimentation // *Nature*. 1977. V. 266. P. 136–139.
30. *Suess E.* Particulate organic carbon flux in the oceans – surface productivity and oxygen utilization // *Nature*. 1980. V. 307. P. 260–263.
31. *Takahashi, K., Fujitani, N., Yanada, M., Maita, Y.* Long-term biogenic particle fluxes in the Bering Sea and the central subarctic Pacific Ocean, 1990–1995 // *Deep-Sea Res. Part I*. 2000. V. 47. P. 1723–1759.
32. *Thomsen L., Ritzrau W.* Aggregate studies in the benthic boundary layer at a continental margin // *J. of Sea Res.* 1996. V. 36. P. 143–146.
33. *Walsh J., Dymond J., Collier R.* Rates of recycling of biogenic components of settling particles in the ocean derived from sediment trap experiments // *Deep-Sea Res.* 1988. V. 35. P. 43–58.
34. *Wefer G.* Particle flux in the Ocean: effects of episodic production // *Productivity of the Ocean: Present and Past* / Eds. Berger W.H. et al. N.Y.: Wiley and Sons, 1989. P. 139–153.

On the Vertical Particle Fluxes in the Caspian Sea

V. N. Lukashin, A. P. Lisitzin, A. N. Novigatsky, E. I. Musaeva,
A. K. Ambrosimov, L. A. Gayvoronskaya

The first results on a study of the vertical particle fluxes with the use of sedimentation traps in the trans-Caspian section are represented. The flux values, regularity their distribution were determined. Fluxes of particles composed the sinking matter are considered. The intra-annual variability of particle fluxes corresponds to the seasonal variability of biological activity. Above the northern slope of the Derbent Basin maximum vertical fluxes are noted by winter, which is caused by intensification of the near bottom currents.