

УДК 551.465(268.45)

## ВЗВЕСЬ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ЗАЛИВАХ МУРМАНСКОГО БЕРЕГА БАРЕНЦЕВА МОРЯ И КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ

© 2017 г. М. В. Митяев<sup>1</sup>, М. В. Герасимова<sup>1</sup>, В. Я. Бергер<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия

<sup>2</sup>Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: mityaev@mmbi.info

Поступила в редакцию 20.01.2015 г.

После доработки 24.11.2015 г.

В летне-осенний период 2012–2014 гг. проведены исследования синхронного определения “валового” запаса взвешенного вещества (в том числе органического вещества) и вертикального потока осадочного вещества вдоль и вкрест оси губы Ярнышной (Мурманское побережье Баренцева моря) и губы Чупа (Карельское побережье Белого моря). В ходе исследований выявлено, что в губах органическая составляющая сестона не участвует в осадконакоплении и практически полностью утилизируется в процессе осаждения, а основная масса литогенного вещества выносится из губ. Проведена оценка общего запаса взвеси и ее компонентов в водной толще, а также общего потока осадочного вещества на дно губы Чупа и губы Ярнышной.

DOI: 10.7868/S0030157416060113

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что в последние пятнадцать лет ведутся интенсивные исследования взвешенного осадочного вещества [3–6, 9, 13, 14, 16, 18, 21, 22, 25, 26] и вертикальных потоков вещества на дно арктических морей [4, 6, 8, 9, 13, 15, 22, 25], остается много нерешенных проблем. В современной седиментологии общепризнанным считается тот факт, что основная масса взвешенного вещества (ВВ) не выносится из заливов, а отлагается внутри них [1, 3, 11, 12, 22]. Для проверки данного тезиса применительно к фиордообразным заливам Баренцева и Белого морей (рис. 1) были выполнены работы по синхронному определению концентрации ВВ (в том числе взвешенного органического вещества (ВОВ)) и вертикальному потоку осадочного вещества.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения потоков осадочного вещества была использована малая седиментационная ловушка (МСЛ) с диаметром цилиндров 0.13–0.16 м [13, 17]. В губе Ярнышная устанавливали пять МСЛ крестообразно (три поперек и три вдоль простирания оси губы). В губе Чупа семь МСЛ (пять крестообразно: три поперек, три вдоль простирания оси губы и две в бухтах). В губе Чупа МСЛ устанавливались в июне, июле и сентябре 2013–2014 гг. (с экспозицией 2–7 дней), в губе Яр-

нышная – в июле–августе 2012–2014 гг. (экспозиция 2–3 дня). Постановка МСЛ осуществлялась стандартным методом [13, 15, 17]. После подъема МСЛ флаконы с осадочным веществом отворачивали, добавляли 5 мл 40% формалина и закрывали крышками. Определение веса осевшего вещества проводилось на электронных весах с точностью до 1 мг.

Для оценки запаса ВВ и ВОВ определяли концентрацию этих компонентов над МСЛ. Отбор проб осуществлялся стандартным способом [18] с 3–5 горизонтов – поверхностный, придонный и на одном–трех промежуточных горизонтах (губа Ярнышная 5, 10 и 20 м, губа Чупа 5, 15 и 30 м).

Определение концентрации ВОВ проводили методом бихроматного окисления [2, 18–20] стекловолокнистых фильтров (Labfilter, США) с диаметром пор 1 мкм (grade V). Определение концентрации ВВ осуществляли стандартным методом [18] на лавсановых фильтрах с диаметром пор 0.45 мкм и диаметром рабочей поверхностью 47 мм. Вещество, накопившееся в МСЛ, подвергалось бихроматному окислению, по той же самой методике.

В губе Ярнышная в течение 3 лет получено 30 проб из МСЛ и проведено 6 определений запаса ВВ и ВОВ по акватории губы, для чего было отобрано 90 проб воды. В губе Чупа в течение 2 лет получено 43 пробы из МСЛ, проведено



Рис. 1. Схема расположения районов работ.

7 определений запаса ВВ и ВОВ по акватории губы, для чего было отобрано 136 проб воды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На исследуемой акватории губы Ярнышная концентрации ВВ не превышает 3 мг/л, наиболее типичен диапазон изменения 0.4–07 мг/л. Такие

концентрации и диапазон изменений ВВ обычны для губ и заливов Мурманского побережья [7, 17]. Наиболее часто встречаются 2 типа распределения ВВ по вертикали: 1 – постепенное увеличение концентрации ВВ с глубиной; 2 – снижение концентрации ВВ от поверхности к промежуточному горизонту, с последующим увеличением концентрации ВВ в придонном слое. Данные ти-

**Таблица 1.** “Валовой” запас, вертикальный поток вещества в разных районах губы Ярнышная и доля вещества, осаждающегося на дно, от “валового” запаса

	“Валовой” запас вещества, г м <sup>-2</sup>			Вертикальный поток вещества, г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup>			Отношение потока вещества к его запасу, %		
	ВВ	ВОВ	ВЛВ	ВВ	ВОВ	ВЛВ	ВВ	ВОВ	ВЛВ
Внутренняя область губы	24.9 ± 3.0	6.3	18.7	0.46 ± 0.14	0.09 ± 0.03	0.36 ± 0.2	1.8 ± 0.5	1.4	1.9
Центральная область губы	33.8 ± 3.1	6.8	27.1	4.92 ± 1.12	0.45 ± 0.10	4.6 ± 1.34	15.1 ± 3.9	6.5	17.0
Внешняя область губы	19.3 ± 1.5	4.3	15.1	1.59 ± 0.51	0.29 ± 0.16	1.45 ± 0.6	8.1 ± 2.6	6.5	9.5
Западный борт губы	24.8 ± 2.6	6.2	18.6	2.18 ± 0.42	0.21 ± 0.03	2.1 ± 0.38	8.7 ± 1.2	3.5	11.5
Восточный борт губы	19.0 ± 3.6	4.6	14.4	0.68 ± 0.24	0.18 ± 0.09	0.62 ± 0.2	4.1 ± 1.2	3.9	4.3

пы распределения ВВ по вертикали составляют 85–90% ( $n = 195$ ) от всех вертикальных распределений ВВ в губе Ярнышная [17].

На исследуемой акватории губы Чупа концентрации ВВ не превышает 2 мг/л, наиболее типичен диапазон изменения 0.3–0.5 мг/л. Такие концентрации и диапазон изменений ВВ обычны для губ и заливов Карельского и Кандалакшского побережий [5, 6, 13, 14]. В толще воды ВВ распределено следующим образом: от поверхности ко дну сперва происходит снижение концентрации ВВ, с последующим увеличением концентрации ВВ в придонном слое воды, частота данного типа составляет 87% ( $n = 42$ ) [13, 18].

Таким образом, в обеих губах концентрации ВВ распределены неравномерно, как по акваториям губ, так и в толще воды (на любом из горизонтов водной толщи концентрация ВВ может изменяться от нескольких процентов до одного–двух порядков). Подобные явления описаны в фиордах архипелагов Шпицберген, Новая Земля, Земля Франца-Иосифа [1, 10, 11, 16, 21, 22, 24–26], в заливах Белого и Баренцева морей [4, 6, 8–10, 13, 17, 23].

Запас ВВ (“валовой”) в толще воды определяется тремя факторами: концентрацией ВВ, вертикальным распределением ВВ и глубиной моря. В губе Ярнышная в латеральном направлении, запас ВВ изменяется от сотен миллиграммов (в бортах губы) до десятков грамм (в осевой части) над одним квадратным метром дна [17].

“Валовой” запас ВВ и литогенного вещества (ВЛВ) в губе Ярнышная уменьшается от наиболее глубокой части губы во всех направлениях (табл. 1), то есть жестко привязан к глубине моря. В распределение “валового” запаса ВВ, ВОВ и ВЛВ выделяется две области. Первая (I) объединяет

западный борт, внутренний и центральный районы губы и характеризуется относительно высоким запасом вещества. Вторая (II) объединяет восточный борт и внешнюю часть губы и характеризуется относительно обедненным запасом вещества (табл. 1). Доля ВОВ в общем запасе вещества в среднем составляет 22–23%, причем как в целом по изучаемой акватории губы, так и в выделенных областях. Соответственно доля ВЛВ в среднем 77–78%. При этом выявляется четкая закономерность: от бортов к оси губы доля ВОВ уменьшается примерно на  $\frac{1}{4}$ . Аналогичное снижение доли ВОВ наблюдается по оси губы от внутреннего к центральному району (на  $\frac{1}{4}$ ). В центральном и внешнем районах губы доля ВОВ не имеет достоверных отличий.

Необходимо отметить, что запас ВОВ в I и II области отличаются в 1.5 раза (табл. 1). Возможно, что увеличение запаса ВОВ в первой области связано с аллохтонным приносом ВОВ из открытой акватории моря (вдольбереговым течением). Тогда относительно низкий запас ВОВ во II области может быть либо местным фоном автотонного органического вещества, либо связан с выносом ВОВ в открытую акваторию моря тем же самым течением.

Таким образом, в губе Ярнышная в “валовом” запасе ВВ содержится органического вещества меньше, чем литогенного примерно в 3 раза.

В губе Чупа в латеральном направлении, запас ВВ над квадратным метром дна изменяется от сотен миллиграммов (в бухтах и бортах губы) до десятков грамм (в осевой части губы) [13].

По оси губы Чупа “валовые” запасы ВВ и ВЛВ увеличиваются от внутренней области губы к центральной части почти в два раза. В устьевой части губы наблюдается небольшое снижение за-

**Таблица 2.** “Валовой” запас, вертикальный поток вещества в различных районах губы Чупа и доля вещества, осаждающегося на дно, от “валового” запаса

	“Валовой” запас вещества, г м <sup>-2</sup>			Вертикальный поток вещества, г м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup>			Отношение потока вещества к его запасу, %		
	ВВ	ВОВ	ВЛВ	ВВ	ВОВ	ВЛВ	ВВ	ВОВ	ВЛВ
Внутренняя область губы	18.5 ± 1	10.4 ± 1	8 ± 0.7	3.14 ± 0.3	0.27 ± 0.06	2.87 ± 0.3	17.1 ± 1.7	2.6 ± 0.6	35.5 ± 2.2
Центральная область губы	36 ± 3.8	17.0 ± 2.3	19 ± 3.2	3.33 ± 0.3	0.30 ± 0.04	3.03 ± 0.3	9.7 ± 1.3	1.8 ± 0.2	17.6 ± 2.9
Внешняя область губы	30.2 ± 3	15.9 ± 2.6	14.3 ± 2	0.99 ± 0.1	0.13 ± 0.03	0.86 ± 0.1	3.3 ± 0.3	0.8 ± 0.1	6.4 ± 1.0
Северный борт губы	17.9 ± 2	10.0 ± 0.9	8 ± 1.5	0.78 ± 0.1	0.10 ± 0.02	0.68 ± 0.1	4.3 ± 0.5	1 ± 0.2	9.0 ± 0.8
Южный борт губы	21.3 ± 3	10.4 ± 0.9	11 ± 2.6	0.39 ± 0.1	0.04 ± 0.01	0.35 ± 0.1	2.1 ± 0.6	0.4 ± 0.1	4.5 ± 1.5
Бухты губы	11 ± 1.3 19 ± 2.6	6.1 ± 0.8 11.2 ± 1.5	5 ± 1.2 8 ± 1.5	0.24 ± 0.1 0.53 ± 0.1	0.04 ± 0.01 0.09 ± 0.02	0.2 ± 0.04 0.44 ± 0.1	2.2 ± 0.5 2.9 ± 0.5	0.6 ± 0.2 0.8 ± 0.2	5.2 ± 1.5 6.5 ± 1.5

пасов ВВ и ВЛВ, не выходящее за пределы доверительных интервалов (табл. 2). “Валовой” запас ВОВ увеличивается от внутренней части губы к центральной более чем в 1.5 раза. В центральной и внешней части губы “валовой” запас ВОВ практически не меняется (табл. 2). По акватории губы доля ВОВ в “валовом” запасе ВВ в среднем составляет  $52 \pm 2.5\%$ , а доля ВЛВ – в среднем  $48 \pm 2.5\%$ .

Также фиксируется увеличение “валового” запаса ВВ, ВОВ и ВЛВ от бухт к бортам губы и далее к осевой части (глубоководной) (табл. 2). В этом же направлении в “валовом” запасе увеличивается доля ВЛВ от  $42.1 \pm 3.9\%$  в бухтах до  $45.4 \pm 3.9\%$  в бортах и до  $48 \pm 2.5\%$  в осевой части губы. Соответственно уменьшается доля ВОВ с  $57.9 \pm 3.8\%$  в бухтах до  $54.6 \pm 3.9\%$  в бортах губы и до  $52 \pm 2.5\%$  в осевой части губы. Снижение доли ВОВ фиксируется на фоне увеличения их абсолютных значений (табл. 2).

Необходимо отметить, что в бортах и внутренней части губы различия в значениях летне–осеннего запаса ВОВ не превышают 5% (в б. Левая значения ВОВ достоверно не отличаются от значений в этих акваторий), что дает основание предположить их автохтонный генезис (табл. 2). Увеличение количества ВОВ во внешней и центральной частях губы, возможно, связано с аллохтонным приносом ВОВ из сопредельных акваторий. Низкие значения ВОВ в б. Круглая, возможно, связано с тем, что в бухте установлен экспериментальный полигон, который населяют колонии моллюсков (*Mytilidae*), вероятно, выедающие ВОВ.

В целом можно констатировать, что в губе Чупа в “валовом” запасе ВВ органического вещества больше, чем литогенного в среднем на 9–10%.

Таким образом, выявляется принципиальное различие в составе ВВ между двумя губами. В губе Ярнышная в составе ВВ резко доминирует литогенное вещество, а в губе Чупа ВОВ и ВЛВ содержится примерно равное количество при небольшом преобладании ВОВ.

Опираясь на полученные данные, можно оценить общий запас ВВ (и его компонентов) на изучаемых акваториях губ. В губе Ярнышной общий запас ВВ в июле–августе 2012–2014 гг. изменялся от 60.5 до 75.5 тонн, в среднем  $66.5 \pm 4$  тонн (ВОВ – 15.5 тонн, ВЛВ – 51 тонна, рис. 2а). В губе Чупа общий запас ВВ в июне–сентябре 2013–2014 гг. изменялся от 405 до 510 тонн, в среднем  $450 \pm 21$  тонн (ВОВ –  $252 \pm 20$  тонн, ВЛВ –  $210 \pm 18$  тонн, рис. 2б).

Если сравнивать запас вещества в губе Чупа и губе Ярнышная то общее, нормированное на единицу площади, количество ВВ сопоставимо, но состав ВВ принципиально разный. Так в губе Ярнышной над одним км<sup>2</sup> дна ВЛВ содержится в 2 раза больше, а ВОВ в 2 раза меньше чем в губе Чупа (табл. 3).

Максимальные значения вертикального потока ВВ, ВОВ и ВЛВ в губе Ярнышной фиксируются в центральной части. Во внешней части значения вертикального потока и всех его компонентов уменьшаются в 3–4 раза. Еще более значительное снижение значений вертикального потока (до порядка) наблюдаются во внутренней части губы. Резко, в 3.5 раза, отличаются значения потока вещества в западном и восточном бортах губы (табл. 1).

В губе по вертикальному потоку вещества можно выделить две области. Первая (I) объединяет западный борт и центральный район губы –

с относительно высокими значениями потока вещества (сюда же следует отнести и внешнюю область, хотя она имеет существенные отличия, но они статистически не достоверны). Вторая (II) объединяет восточный борт и внутреннюю часть губы и характеризуется низкими значениями потока вещества (табл. 1).

Если в среднем по изучаемой части губы Ярнышной доля ВОВ в вертикальном потоке составляет  $15.3 \pm 2.7\%$ , то в I области —  $11.5 \pm 2.3\%$ , во II —  $21 \pm 5.7\%$ . Соответственно доля ВЛВ в среднем по акватории губы —  $84.7 \pm 2.7\%$ , в I области —  $88.5 \pm 2.3\%$  (56–93.5%), во II —  $79 \pm 5.7\%$  (46.5–92.5%).

Наблюдается устойчивое увеличение доли ВОВ в вертикальном потоке от котловины в осевой части губы Ярнышной во всех направлениях (к бортам и периферийным частям губы).

В губе Чупа максимальные значения вертикального потока вещества фиксируются во внутренней и центральной частях губы. Во внешней части губы значения вертикального потока вещества уменьшаются в 3–4 раза. Еще более значительное снижение значений вертикального потока фиксируется в бортах и бухтах губы (табл. 2). Наблюдается закономерное снижение доли ВОВ в вертикальном потоке от бухт ( $16.2 \pm 1.2\%$ ), к бортам ( $11.9 \pm 1.8\%$ ) и к осевой части губы ( $10.5 \pm 1.5\%$ ). Соответственно увеличивается доля ВЛВ.

Таким образом, в составе вещества, участвующего в вертикальном потоке, в обеих губах преобладает ВЛВ (ВОВ оседает в 3–10 раз меньше). При общем сходстве вертикального потока вещества в губе Ярнышной и губе Чупа отмечается и принципиальное отличие.

Сходство:

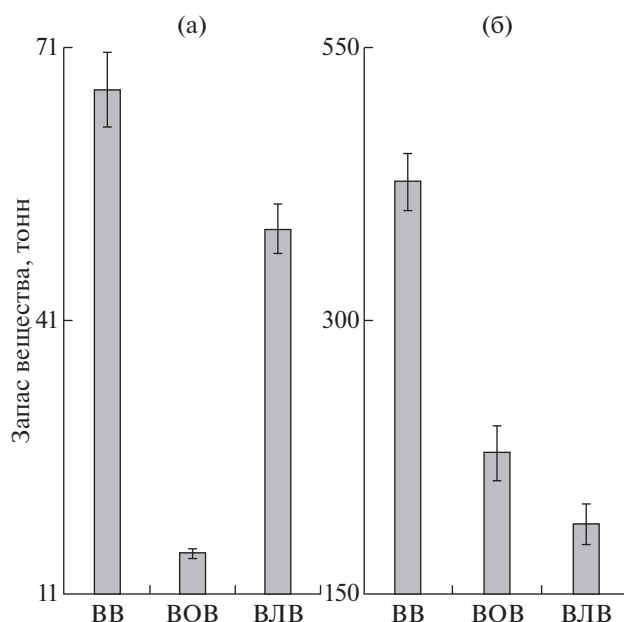
1. Близкий состав вещества, участвующего в вертикальном потоке, в губе Чупа средняя доля ВОВ —  $12.4 \pm 0.9\%$ , в губе Ярнышной —  $15.3 \pm 2.7\%$ .

2. Снижение доли ВОВ в вертикальном потоке в направлении наиболее глубоководных частей губы (возможно, увеличение времени осаждения и утилизации).

3. Снижение значений вертикального потока в районах, где вода движется под действием силы Кориолиса в устьевую часть губы.

**Таблица 3.** Количество вещества, находящегося во взвешенном состоянии ( $\text{т км}^{-2}$ ) и оседающего на дно ( $\text{т сут}^{-1} \text{ км}^{-2}$ ) в губах Белого и Баренцева морей

Район	Тонн над одним $\text{км}^2$ дна			Тонн в сутки на один $\text{км}^2$ дна		
	ВВ	ВОВ	ВЛВ	ВВ	ВОВ	ВЛВ
губа Чупа	$18.5 \pm 1.0$	$10.1 \pm 0.9$	$8.4 \pm 1.0$	$1.0 \pm 0.1$	$0.1 \pm 0.02$	$0.9 \pm 0.03$
губа Ярнышная	$21.0 \pm 1.2$	$4.9 \pm 0.7$	$16.1 \pm 1.4$	$2.0 \pm 0.4$	$0.2 \pm 0.06$	$1.8 \pm 0.5$



**Рис. 2.** Летне-осенний запас ВВ, ВОВ и ВЛВ в толще воды губы Ярнышная (а) и губы Чупа (б). Линиями показаны доверительные интервалы.

Различие заключается в роли вертикального потока во внутренних областях губ — в губе Чупа во внутреннем районе происходит основное осадконакопление, где доля ВОВ минимальная, в губе Ярнышной внутренний район — это область транзита вещества, где доля ВОВ максимальная (табл. 1, 2).

Опираясь на полученные данные, можно оценить общий вертикальный поток вещества на изучаемые акватории губ. Так в июле–августе 2012–2014 гг. на дно губы Ярнышной оседало от 5.2 до 8.5  $\text{т сут}^{-1}$  (в среднем  $6.9 \pm 1.3 \text{ т сут}^{-1}$  из них ВОВ —  $0.8 \pm 0.2$ , ВЛВ —  $6.4 \pm 1.7 \text{ т сут}^{-1}$ , рис. 3а). В июне–сентябре 2013–2014 гг. на дно губы Чупа оседало от 21 до 27  $\text{т сут}^{-1}$  (в среднем  $25.5 \pm 1.1 \text{ т сут}^{-1}$  из них ВОВ —  $2.7 \pm 0.4$ , ВЛВ —  $22.5 \pm 0.8 \text{ т сут}^{-1}$ , рис. 3б).

Если сравнивать обе губы, то в губе Ярнышной отлагается, на единицу площади, в 2 раза больше вещества (ВВ, ВОВ и ВЛВ (табл. 3). Следовательно, осадконакопление протекает в два раза интенсивней, чем в губе Чупа.

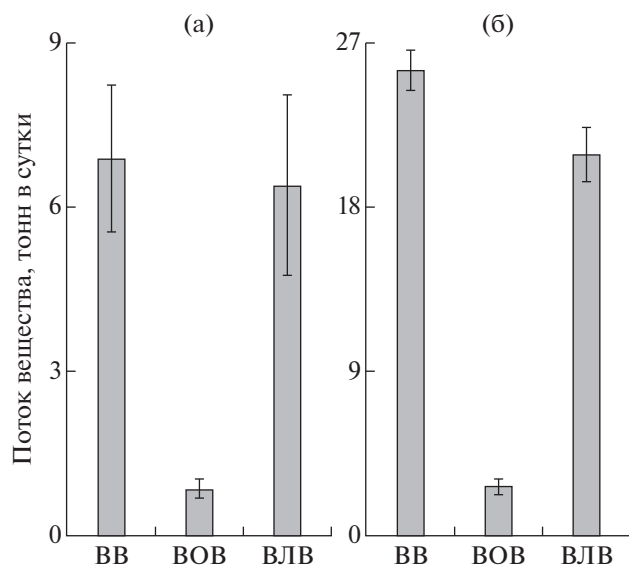


Рис. 3. Летне-осенний вертикальный поток ВВ, ВОВ и ВЛВ в губе Ярнышная (а) и губе Чупа (б). Линиями показаны доверительные интервалы.

Сравнение “валовых” запасов ВВ, ВОВ и ВЛВ с их количеством, осевшем в МСЛ (рис. 2, 3), позволяет определить долю каждого компонента ВВ, участвующего в осадконакоплении (рис. 4).

В губе Ярнышной в целом осаждается не более 25% ВВ от его общего запаса (максимально зафиксированное значение 24.9%). В среднем по акватории губы осаждается  $7.5 \pm 1.2\%$  ВВ,  $4.4 \pm 1.1\%$  ВОВ и  $8.8 \pm 3.0\%$  ВЛВ. Четко выделяется зона транзита вещества — из внутреннего района (где оседает менее 3.5% всех компонентов осадконакопления) через восточный борт (где отлагается менее 10% вещества) к открытой акватории моря (рис. 5). Наиболее интенсивное осадконакопление происходит в центре котловины (где может выводиться из оборота до  $\frac{1}{4}$  от запаса вещества), во внешнем районе и западном борту губы интенсивность осадконакопления, по сравнению с депоцентром, уменьшается почти в 1.5 раза, но и здесь может выводиться из оборота до 17–18% от общего количества ВВ (рис. 5). Вынос ВВ через восточный борт, вероятно, связан с действием вдольберегового течения и силой Кориолиса, которая в восточном борту даже в стадию прилива направлена в устьевую часть губы. В стадию отлива сила Кориолиса препятствует транзиту ВВ вдоль западного борта к устью губы и, возможно, создает условия более интенсивного осаднения ВВ. Таким образом, всегда >75% ВЛВ не осаждается.

В губе Чупа доля осаждающегося вещества также не превышает 25% от общего запаса ВВ. В среднем по изучаемой части губы осаждается  $7.0 \pm 1.0\%$  ВВ,  $1.4 \pm 0.3\%$  ВОВ и  $11 \pm 0.9\%$  ВЛВ. Четко выделяется два направления уменьшения

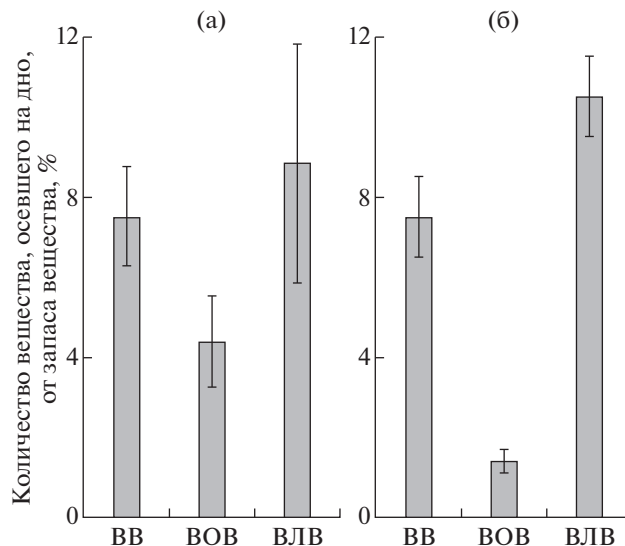


Рис. 4. Средние значения доли осаждающегося ВВ, ВОВ и ВЛВ от запаса этих компонентов в толще воды губы Ярнышная (а), губы Чупа (б). Линиями показаны доверительные интервалы.

интенсивности осадконакопления: с запада (внутренняя область) на восток (внешняя область) и от осевой части к бортам и бухтам губы (табл. 2, рис. 6). В широтном направлении интенсивность осадконакопления уменьшается в 5–6 раз, а в устьевой части губы осадконакопление практически не происходит. В северном борту губы интенсивность осадконакопления выше, чем в южном борту, несмотря на то, что запас вещества меньше (табл. 2). Возможно, это связано с действием силы Кориолиса способствующей более интенсивному транзиту вещества по южному борту губы, и создающее препятствие для транзита вещества с северного борта в устьевую часть губы.

В губе Чупа внешняя область, борта и бухты губы — это области транзита ВВ в открытую акваторию моря, во внутренней части губы до  $\frac{1}{4}$  вещества выводится из круговорота, но более 75% ВВ не осаждается. В центральной котловине может выводиться до 15% от общего запаса ВВ (рис. 6).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнении процессов в губе Ярнышной с аналогичными процессами в губе Чупа выявляется больше сходств, чем различий. Рассмотрим сходство:

1. В обеих губах ВОВ не участвует в осадконакоплении, оно, вероятно, утилизируется в процессе осаднения.
2. В обеих губах доля осаждающегося ВВ не превышает 25% от запаса вещества.
3. В среднем осаждается: ВВ в губе Чупа —  $7.0 \pm 1.0\%$ , в губе Ярнышной —  $7.5 \pm 1.2\%$ , ВОВ в губе

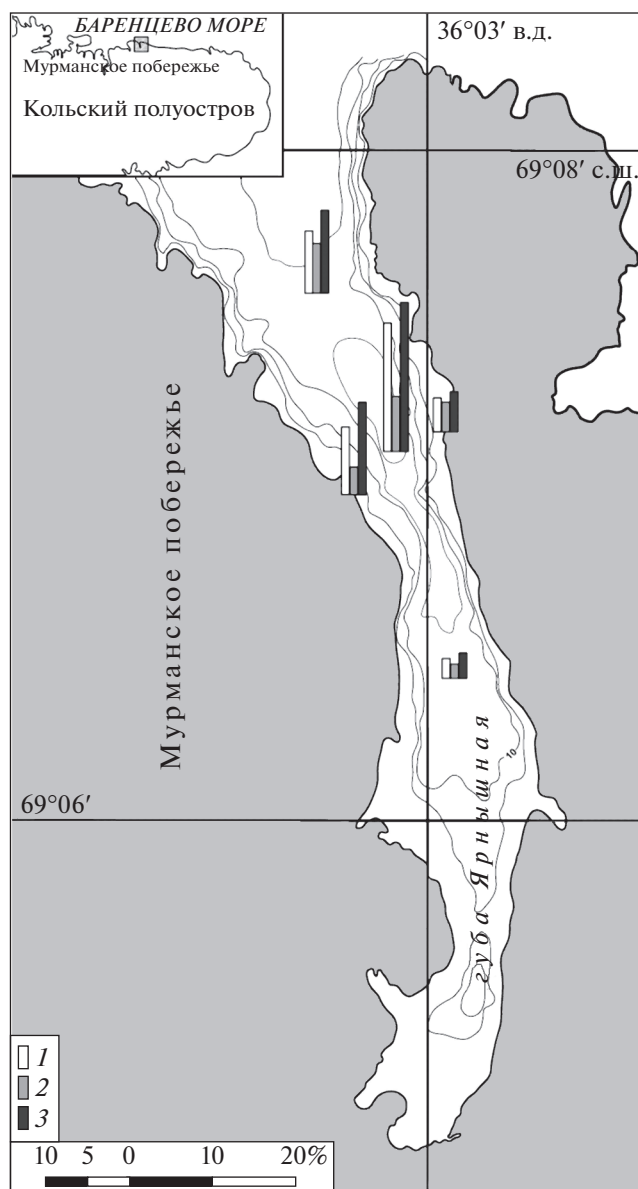


Рис. 5. Изменение доли осаждающегося ВВ, ВОВ и ВЛВ от запаса этих компонентов в толще воды по акватории губы Ярнышная: 1 – ВВ; 2 – ВОВ; 3 – ВЛВ.

Чупа –  $1.4 \pm 0.3\%$ , в губе Ярнышной –  $4.4 \pm 1.1\%$ , ВЛВ в губе Чупа –  $11 \pm 0.9\%$ , в губе Ярнышной –  $8.8 \pm 3.0\%$ . Сопоставимы не только средние значения, но и диапазоны изменения.

4. В обеих губах, там, где вода под действием силы Кориолиса движется в сторону открытой акватории моря, наблюдается максимальный транзит вещества, а там где эта сила направлена вглубь губ, фиксируется увеличение доли осаждаемого вещества.

Различие:

1. В губе Чупа во внутренней области фиксируется максимальная доля отлагаемого вещества от его запаса, в губе Ярнышной – минимальная доля.

2. В губе Чупа во внешней области доля отлагаемого вещества от его запаса минимальная, в губе Ярнышной там может отлагаться до 18% от запаса вещества.

3. Депоцентры аккумуляции в губе Чупа – внутренний район губы, в губе Ярнышной – наиболее глубоководная часть губы.

Таким образом, можно утверждать, что ВОВ не участвует в осадконакоплении, дна достигает ничтожно малая часть ВОВ (не превышает 6.5%).

По акваториям обеих губ в целом более 90% вещества (более 60% литогенного вещества), находящегося во взвешенном состоянии, не участвует в вертикальном потоке, но выносится ли оно из залива? Расчет “чистого” запаса ВВ в придонном горизонте и горизонтального потока взвеси под действием приливоотливных течений позволяет оценить количество ВВ, перемещающегося вглубь заливов в приливную фазу и в сторону открытой акватории моря в фазу отлива. Так, в губе Ярнышная за полный приливоотливный цикл (12 часов) в сторону открытой акватории моря перемещается 9–10% ВВ, что в 2–3 раза больше, чем осаждается за сутки в центральной части губы [17]. В губе Чупа за полный приливоотливный цикл (12 часов) в сторону открытой акватории моря перемещается 2–13% (в среднем  $7 \pm 1.5\%$ ) ВВ, что сопоставимо с количеством ВВ, осаждающегося во внутреннем и центральном районах и 4–5 раз больше, чем осаждается во внешней части губы [18].

Тогда можно с уверенностью предположить, что в настоящее время в губах Ярнышная и Чупа органическое вещество утилизируется внутри губы, а литогенное – выносится в открытую акваторию моря.

Остается одна нерешенная проблема – запас ВВ (в конкретном заливе в конкретный сезон года) – величина довольно постоянная. В губе Ярнышная при летнем расходе ВЛВ в  $6 \text{ т сут}^{-1}$  поставку вещества абразией, аллювиальным стоком и эоловым путем можно оценить в  $0.5\text{--}0.75 \text{ т сут}^{-1}$  [16]. Плоскостным смывом может быть поставлено еще  $1500 \text{ кг}$ , при модуле твердого стока  $1.75 \text{ т км}^{-2} \text{ г}^{-1}$  (водосбор ручья Ярнышный) и скорости понижения суши  $0.71 \text{ мкм г}^{-1}$  (Мурманское побережье –  $0.4\text{--}0.9 \text{ мкм г}^{-1}$ ) [17]. Тогда дефицит ВЛВ составляет  $3.5\text{--}4 \text{ т}$  (около 60% от вертикального потока ВЛВ). В губе Чупа при летне-осеннем расходе ВЛВ в  $22.5 \text{ т сут}^{-1}$  поставку вещества абразией, аллювиальным стоком и эоловым путем можно оценить в  $7.5\text{--}9 \text{ т сут}^{-1}$  [13]. Плоскостным смывом может быть поставлено недостающие  $15 \text{ т}$ , если принять модуль твердого стока равный  $30 \text{ т км}^{-2} \text{ г}^{-1}$  (менее 20% от среднего модуля рек мира) и скорость понижения суши в  $65 \text{ мкм г}^{-1}$  (средний смыв с поверхности суши  $0.12 \text{ мм г}^{-1}$ , [3]). Но у водотоков губы Чупа модуль твердого стока  $0.6\text{--}$

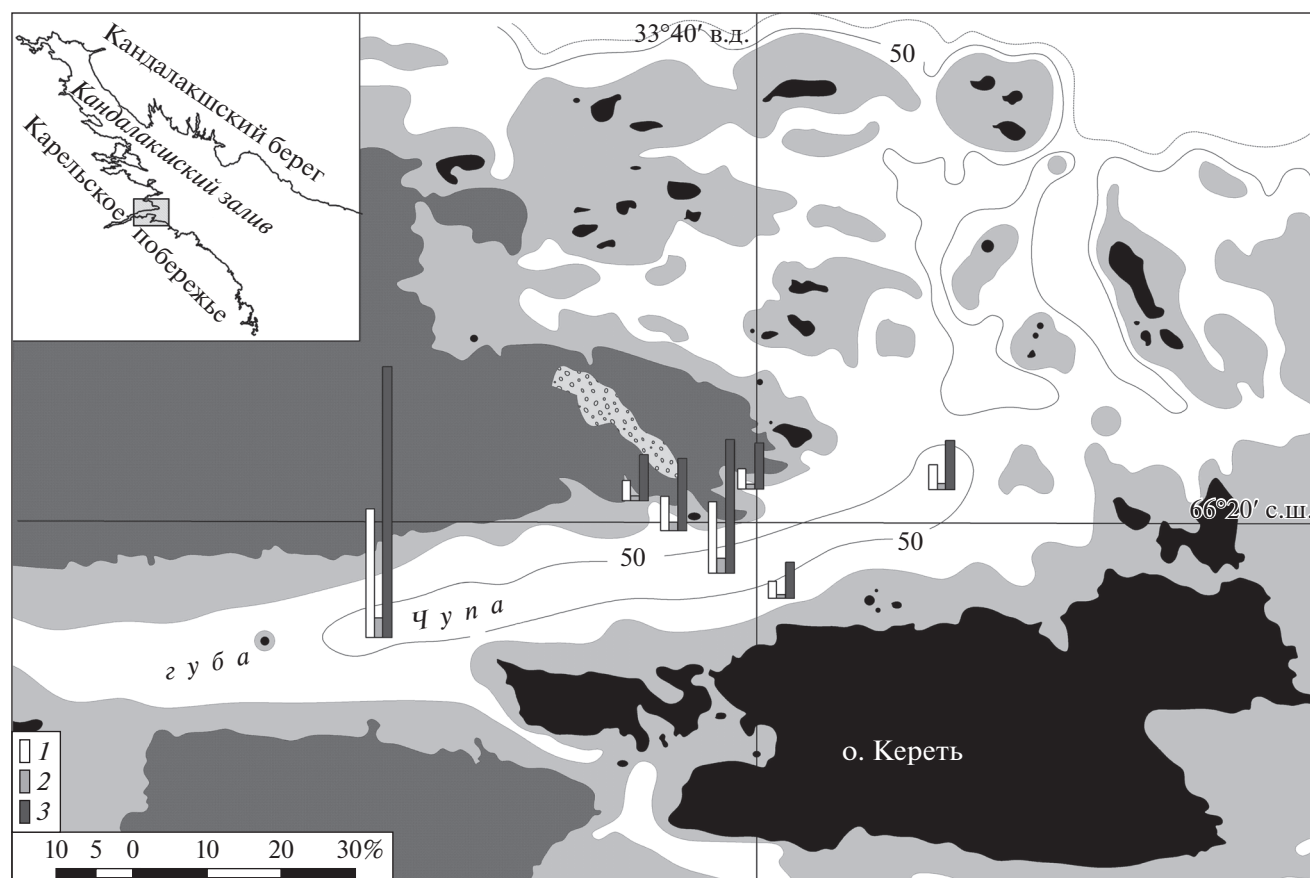


Рис. 6. Изменение доли осаждающегося ВВ, ВОВ и ВЛВ от запаса этих компонентов в толще воды по акватории губы Чупа. Условные обозначения см. рис. 5.

2 т сут<sup>-1</sup> [13], что дает дефицит ВЛВ в 10–12 т (около 45% от вертикального потока ВЛВ).

Таким образом, поставка вещества в заливы требует дополнительных исследований, так как около половины вещества, осаждающееся на дно, должно компенсироваться второстепенными экзогенными процессами (подводная эрозия дна и склонов, включая взмучивание верхнего слоя осадков; часть вещества, вероятно, компенсируется кремневыми раковинами планктонных организмов (диатомей), спорами и пылью).

Авторы благодарят академика Г.Г. Матишева, д.б.н. П.Р. Макаревича, д.б.н. Г.М. Воскобойникова, д.б.н. М.В. Макарова, зав. ББС “Картеш” к.б.н. А.А. Сухотина, Ю.Н. Курзикова, Е.И. Лихареву за помощь в выполнении работ.

Работа выполнена в рамках проекта “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы”, идентификатор проекта RFMEFI61616X0073, соглашение № 14.616.21.0073.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимова М.В., Корсун С.А. Концентрация взвеси в приледниковых водах Северного острова Новой Земли // Научный отчет экспедиции ММБИ “Ясногорск-95”. Морские биологические и геологические исследования у ледников Новой Земли и в желобе Святой Анны. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996. С. 27–29.
2. Гигиняк Ю.Г. Калорийность водных беспозвоночных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука, 1979. С. 43–57.
3. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М.: И.П. Матушкина И.И., 2012. 452 с.
4. Долотов Ю.С., Коваленко В.Н., Лифшиц В.Х. и др. О динамике вод и взвеси в эстуарии р. Кереть (Карельское побережье Белого моря) // Океанология. 2002. Т. 42. № 5. С. 765–774.
5. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др. О характере природных процессов в фазы прилива и отлива в эстуариях Карельского побережья Белого моря // Океанология. 2004. Т. 44. № 5. С. 784–792.
6. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др. Мониторинг приливоотливных обстановок в эстуариях Карельского побережья Белого моря // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 6. С. 670–688.



7. Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / Отв. ред. Матишов Г.Г. М.: Наука, 2009. 381 с.
8. Лисицын А.П., Навигацкий А.Н., Шевченко В.П. Рассеянная форма осадочного вещества и их потоки в океанах и морях на примере Белого моря (результаты 12 лет исследований) // Докл. РАН. 2014. Т. 456. № 3. С. 355–359.
9. Лукашин В.Н., Шевченко В.П., Кловиткин А.А. и др. Взвеси и потоки вещества в Кандалакшском заливе Белого моря // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: материалы междунар. конф. Архангельск: Ин-т экологических проб. Севера УрО РАН, 2002. Т. 2. С. 453–457.
10. Медведев В.С., Кривоносова Н.М. Распределение взвешенного вещества в Белом море // Океанология. 1968. Т. 8. № 6. С. 1101–1115.
11. Медведев В.С., Потехина Е.М. Количественное распределение и особенности динамики взвеси в юго-восточной части Баренцева моря // Океанология. 1986. Т. 26. № 4. С. 639–645.
12. Митяев М.В., Погодина И.А., Герасимова М.В. Фациальная изменчивость современных отложений в заливе Хорнсунн, Западный Шпицберген // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 5. С. 465–471.
13. Митяев М.В., Герасимова М.В. Современные экзогенные процессы. Карельский берег Кандалакшского залива Белого моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. 102 с.
14. Митяев М.В., Герасимова М.В. Динамика содержания взвеси в губе Чупа Карельского побережья Белого моря в летне-осенний период // Докл. РАН. 2010. Т. 435. № 3. С. 399–402.
15. Митяев М.В., Герасимова М.В., Дружкова Е.И. Вертикальные потоки осадочного вещества в прибрежных районах Баренцева и Белого морей // Океанология. 2012. Т. 52. № 1. С. 121–130.
16. Митяев М.В., Герасимова М.В. Геолого-тектонические, геоморфологические особенности строения и современные условия седиментации архипелага Земля Франца-Иосифа // Тр. КНЦ РАН. Сер. Океанология. 2014. Вып. 2. № 4 (23). С. 5–60.
17. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.
18. Митяев М.В., Бергер В.Я., Сезонная изменчивость концентрации водной взвеси в губе Чупа (Белое море) // Океанология. 2014. Т. 54. № 3. С. 368–377.
19. Остапеня А.П. Калорийность вещества тела водных организмов и методы ее определения // Методы определения продукции водных животных. Минск: Изд-во Высшая школа, 1968. С. 26–38.
20. Скопинцев Б.А. Органическое вещество в природных водоемах // Тр. ГОИН. 1950. Вып. 7 (9). С. 1–290.
21. Шевченко В.П., Герасимова М.В., Корсун С.А. и др. Количественное распределение и состав водной взвеси в зоне влияния ледников Северного острова архипелага Новая Земля // Биологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях океанического перигляциала. Мурманск: Книжное издание, 1996. С. 71–72.
22. Gorlich K., Weslawski J.M., Zajaczkowski M. Suspension settling effect on macrobenthos biomass distribution in the Hornsund fjord, Spitsbergen // Polar Research. 1987. V. 5. № 2. P. 175–192.
23. Politova N.V., Shevchenko V.P., Zernova V.V. Distribution, composition and vertical fluxes of particulate matter in bays of Novaya Zemlya Archipelago, Vigach Island at the end of summer // Advances in Meteorology. 2012. V. 2012. Article ID 259316. 15 p.
24. Shevchenko V.P., Dolotov Y.S., Filatov N.N. et al. Biogeochemistry of the Kem' River estuary, White Sea (Russia) // Hydrology and Earth System Sciences. 2005. V. 9. P. 57–66.
25. Zajaczkowski M. On the use of sediment traps in sedimentation measurements in glaciated // Polish Polar Res. 2002. V. 23. № 2. P. 161–174.
26. Zajaczkowski M., Wlodarska-Kowalczyk M. Dynamic sedimentary environments of an Arctic glacier-fed river estuary (Adventfjorden, Svalbard). I Flux, deposition, and sediment dynamic // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2007. V. 74. № 1–2. P. 285–296.

## Suspension and Vertical Flows of Sedimentary Matter in the Bays of the Murmansk (Jarnischnaja bay) and Karelian (Chupa bay) Coasts

M. V. Mityaev, M. V. Gerasimova, V. Ja. Berger

The investigations of synchronous determination of the total suspended organic and mineral particulate matter together with the vertical sedimentary matter flow were carried out in various regions of Chupa Bay (Karelian coast) and Jarnischnaja bay (Murmansk coast). It was revealed that the seston organic component does not participate in sedimentation and is almost completely utilized during precipitation, but the main part of the mineral matter is transported out of the bay. The total amount of suspended matter and its components in the water column totally deposits on the bottom in the Chupa Bay and Jarnischnaja bay.