

УДК 551.311.2 (282.247.18)

СТОК ВОДЫ, ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭРОЗИИ НА МУРМАНСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ

© 2018 г. Максим В. Митяев*, Марина В. Герасимова

*Мурманский морской биологический институт
Кольского научного центра РАН, Мурманск, Россия
E-mail: mityaev@mmbi.info

Поступила в редакцию 20.04.2016 г.

Аннотация. На основе многолетних данных о расходах воды и концентрации взвешенного вещества в водотоках Мурманского побережья проведена оценка стока воды, модуля стока взвешенного вещества и скорости эрозии водосборных пространств. Выявлено, что суммарный сток варьирует в диапазоне $50\text{--}80 \text{ км}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, ведущую роль в стоке играют транзитные и пограничные речные системы. В последние годы происходит уменьшение водного стока, максимальный сток происходит в весенний паводок и составляет $40\text{--}60\%$ годового стока. Установлено, что суммарный сток взвешенного вещества с побережья составляет $40\text{--}70$ тыс. тонн в год. Низкий среднемноголетний модуль стока взвешенного вещества ($<2 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) и медленная скорость эрозии ($<1.5 \text{ мкм} \cdot \text{г}^{-1}$), обусловлены геолого-геоморфологическим строением и географическим положением побережья, но не зависят от изменения среднегодовых температур воздуха и годовой суммы атмосферных осадков на территории региона.

Ключевые слова: Мурманское побережье, взвешенное вещество, модуль стока взвешенного вещества, скорость эрозии.

DOI: 10.7868/S2587556618010101

Flow of water and suspended matter and speed of erosion at the Murmansk coast

Maksim V. Mityaev* and Marina V. Gerasimova

*Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
E-mail: mityaev@mmbi.info

Received April 20, 2016

Abstract. The water flow, module of suspended matter yield and speed of erosion of water basin area have been assessed on the basis of studying multiannual data on the water discharge and concentration of suspended matter in the waterways of the Murmansk coast. It is revealed that total flow varies in the range of $50\text{--}80 \text{ км}^3 \cdot \text{y}^{-1}$; transit and boundary river systems play the leading role in the flow. In recent years there is a decrease in water flow, maximum flow occurs during the spring flood and is $40\text{--}60\%$ of the annual flow. It is found that the total flow of suspended matter from the coast is $40\,000$ to $70\,000 \text{ т} \cdot \text{y}^{-1}$. The low module suspended matter yield (is less than $2 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$) and slow speed of erosion (is less than $1.5 \text{ мкм} \cdot \text{y}^{-1}$) are predetermined by a geological-geomorphological structure of the territory and a geographical position of the coast, but do not depend on changes in average annual air temperatures and annual amount of precipitation in the region.

Keywords: Murmansk coast, suspended matter, module suspended matter yield, speed of erosion.

Существенную роль в поступлении осадочного вещества в воды Баренцева моря играют водотоки Мурманского побережья. Изучение динамики взвешенного вещества (ВВ) выносимого водными

артериями — важное звено комплексного исследования современного осадконакопления и актуально в связи с малой изученностью данных процессов, особенно в зимний период. В конце

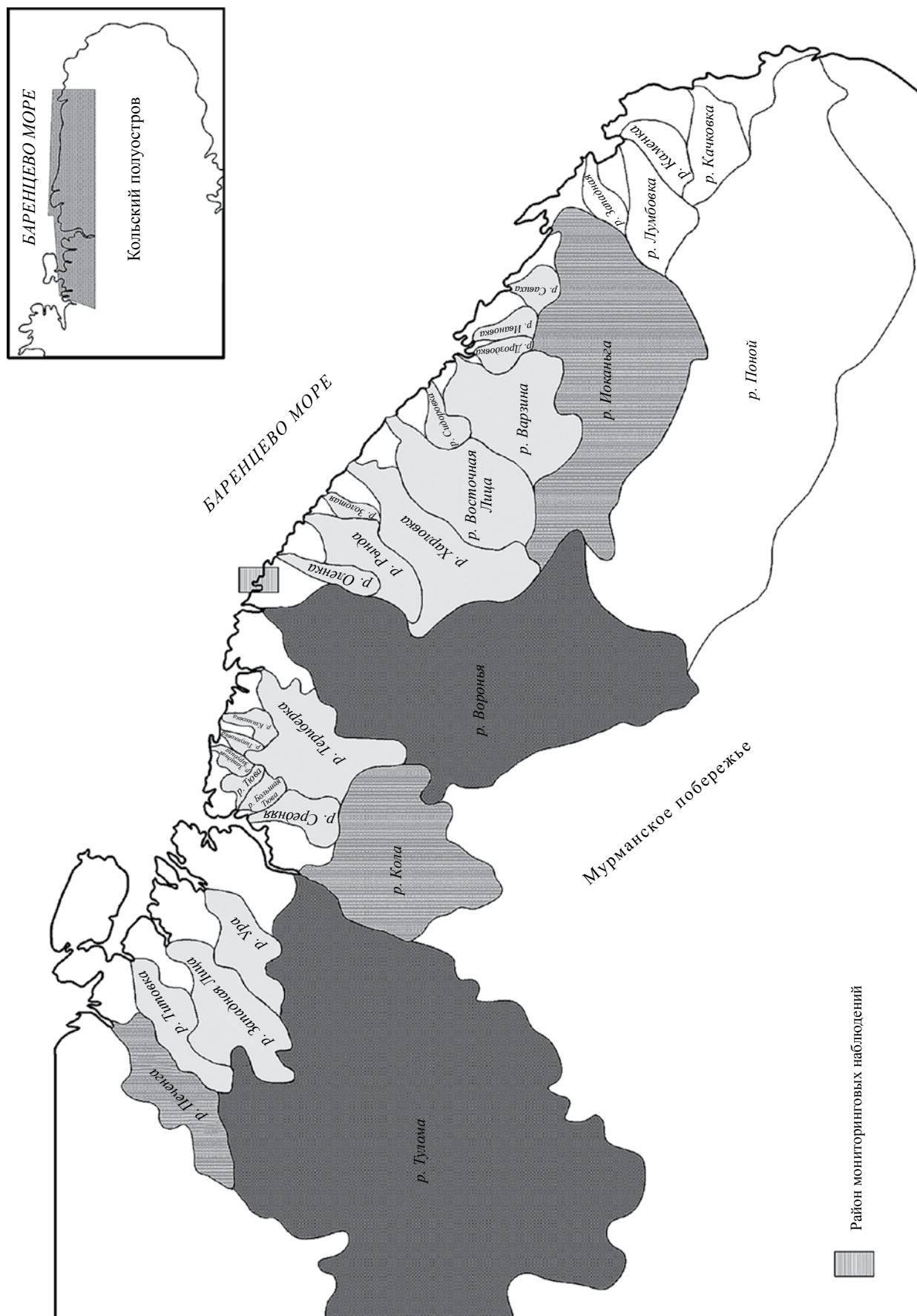


Рис. 1. Район исследований. Темно-серым цветом показаны водосборы транзитных рек, серым – пограничных рек, светло-серым – внутренних рек, белым – водосборы малых рек и ручьев.

1970-х годов ВВ в береговой зоне Мурманского побережья изучалось Мясниковым В.П., Карельской А.Г. [21]. Результаты комплексного исследования водотоков побережья были освещены в [18]. В настоящей работе на основе многолетних наблюдений проведена оценка расхода воды, модуля твердого стока ВВ и скорости эрозии водотоков Мурманского побережья.

Материалы и методы. Исследования проводились в период 1997–2015 гг. Методика полевых измерений включала в себя отбор проб воды в пластиковую емкость объемом 2 л, определение скорости течения и уровня воды в водотоках. Фильтрация проб воды проводилась через предварительно подготовленные ядерные фильтры с размером пор 0.45 мкм и диаметром рабочей поверхности фильтра 47 мм. Фильтры с взвесью высушивались в сушильном шкафу при температуре +40–60 °С и повторно взвешивались для определения концентрации взвеси. Расход воды вычислялся через скорость течения и площадь поперечного сечения русла в замыкающем створе водотоков, выше сизигийного прилива. Скорость течения измерялась поплавковым методом, а площадь поперечного сечения русла через глубину потока по всей ширине русла. Параллельно измерялась температура воды почвенным термометром с ценой деления 0.2 °С.

Было проведено более 500 прямых наблюдений скорости течения и уровня воды в 17 водотоках, еще в 5 водотоках проведены единичные расчеты расхода воды в весенне-летний период.

Для изучения ВВ в течение 1997–2005 гг. пробы воды отбирались ежемесячно в 8 водотоках (рр. Зарубиха, Оленка, Рында, Золотая, Харловка, Восточная Лица, ручьи Ярнышный, Собачий) и еще в 9 водотоков посезонно (рр. Печенга, Титовка, Западная Лица, Воронья, Териберка, Чегодаевка, Воятка, ручьи Вяжино, Трящино). В одном из районов Мурманского побережья (рис. 1) с 2005 г. по 2015 гг. в четырех водотоках (река Зарубиха, ручьи Ярнышный, Собачий и Зеленецкий) проводились мониторинговые наблюдения (с мая по октябрь ежемесячно, зимой – раз в три месяца) в остальных водотоках посезонно. На рр. Варзина, Сидоровка, Кола, Тулома и Ура отобраны единичные пробы.

Геолого-геоморфологические особенности водотоков. Русла всех внутренних водотоков Мурманского побережья выработаны в породах Мурманского гранит-мigmatитового массива [5, 17, 20]. Водотоки прорезают маломощные отложения позднего плейстоцена (ледниковые, ледниково-морские) и голоцена (морские). Истоки рек

расположены в лесотундровой зоне, в своем течение они пересекают тундровый ландшафт. Большинство водосборов малых рек и ручьев целиком расположено в тундровом ландшафте. Часто истоками служат озерные котловины, реже болотные массивы. Длина ручьев изменяется от 1 до 15 км, протяженность внутренних рек не превышает 120 км, а пограничных и транзитных рек – 250 км. Русла водотоков сочетают в себе протяженные прямолинейные участки с коленообразными изгибами, глубина русел достигает 3–5 м, редко более. Питание водотоков осуществляется озерными, болотными водами и атмосферными осадками, грунтовые воды не играют значимой роли [5].

По характеру уклона русел, водотоки относятся к полугорным, со спокойным течением в истоках и бурным – в приустьевых частях. Этому способствует изломанность продольных профилей рек создающих большие уклоны русел. Наиболее характерен корытообразный поперечный профиль речных долин. У многих крупных рек (Западная и Восточная Лица, Териберка, Харловка, Воятка), в нижнем течении наблюдаются глубокие (до 100 м) узкие каньоны, пороги и водопады. Нередко, на заболоченных ступенях рельефа у ручьев нет единого русла, а сток осуществляется по извилистым каналам, соединяющимся в период паводков. В болотных массивах много временных водотоков, представляющих собой систему мочажин действующих как ручьи в паводки и периоды дождей.

Водный режим водотоков. Объем годового стока в многолетней ретроспективе изменяется от 50 до 80 км³, что в 2.5 раза меньше, чем сток р. Печора и в 4 раза меньше чем материковый сток в Белое море [3, 22]. Ведущую роль в стоке воды с Мурманского побережья играют транзитные (Тулома, Воронья) и пограничные речные системы (Июканька, Кола, Печенга). Их суммарный сток достигает 40% от общего стока региона. Таким образом, внутренние водотоки Мурманского побережья выносят не более 60% от суммарного стока. Здесь существенную роль играют малые реки и ручьи, сток которых превышает 25% от пресного стока всех внутренних водотоков [1, 4, 18, 20].

Температура воды в водотоках изменяется в зависимости от температуры воздуха (рис. 2). С конца апреля до середины мая происходит повышение температуры воды до 4 °С, далее до конца второй декады июня прогрев воды очень незначительный. К началу июля температура воды редко превышает 6–7 °С. Максимальный прогрев воды достигается к концу июля – началу августа,

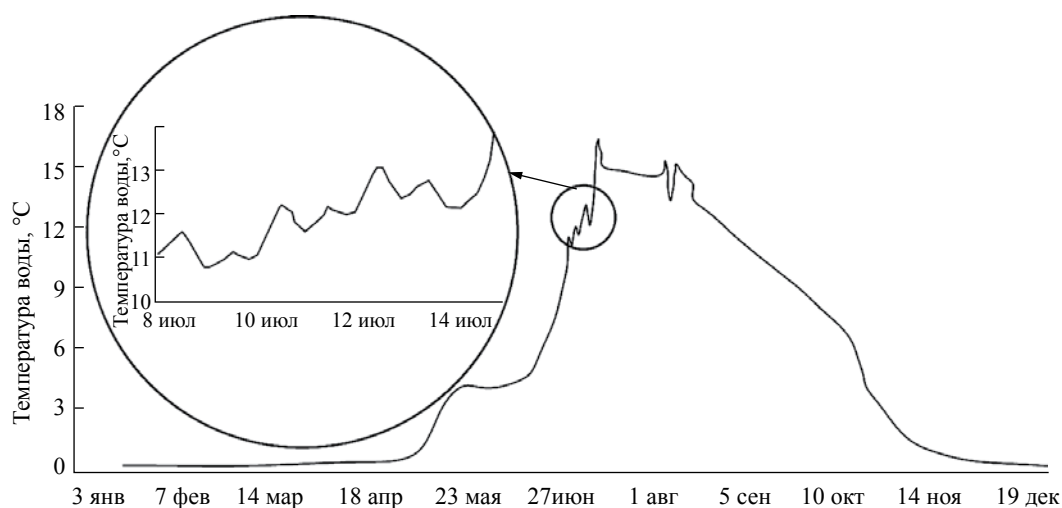


Рис. 2. Изменение температуры воды, ручей Ярнышный.

и может составлять 18–22 °C (в холодные годы не превышает 13–15 °C). В дальнейшем температура воды постепенно снижается, и к концу сентября (началу октября) опускается до 5–7 °C. Летом, во всех водотоках фиксируется ночное снижение температур воды и дневной прогрев. Разница между ночными и дневными температурами воды может составлять 2–3 °C. Наиболее высокая температура воды, и медленное ее остывание выявляется в водотоках, пересекающие крупные котловины.

Скорость течения воды в замыкающих створах водотоков в течение года изменяется в широких пределах, но редко превышает 3.5 м/с (рис. 3). В зимнюю межень, большую часть времени, скорость течения редко превышает 0.6–0.8 м/с. В летний меженный период нередко наблюдаются резкие изменения уровня и скорости течения воды (до 1.5 м/с) в водотоках, вызванные

атмосферными осадками. Максимально высокие скорости течения воды фиксируются в весеннее половодье (в среднем более 2 м/с). Весной наблюдаются резкие изменения скорости течения воды, вызванные ночными заморозками, дневным снеготаянием. В летне-осенние паводки подобных явлений не фиксируется, а скорость течения меняется плавно (редко превышая 2 м/с).

Во всех водотоках основной годовой расход воды происходит в весеннее половодье (более 45%) и осенний паводок (около 30%). Следовательно, основное эрозионное разрушение русел происходит в эти сезоны года. В меженные периоды эрозионная деятельность резко снижается, но на порогах и водопадах никогда не прекращается.

Среднегодовое стока водотоков Мурманского побережья напрямую зависит от площади водосбора (коэффициент корреляции (r) — 0.848,

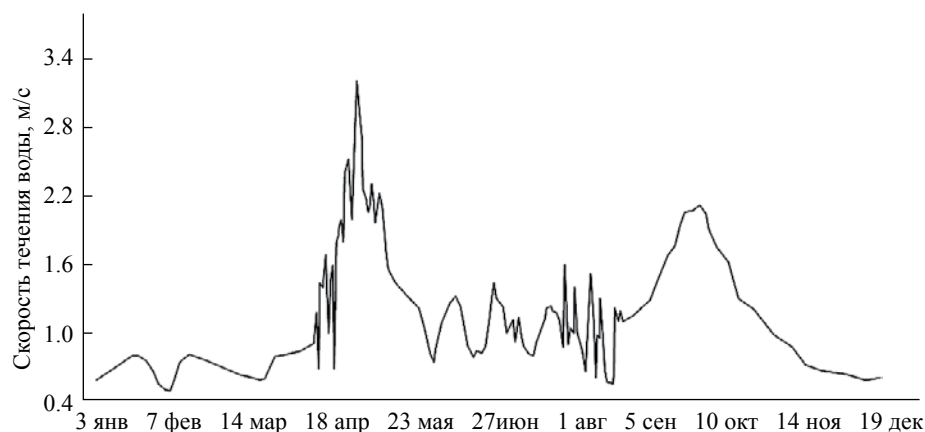


Рис. 3. Скорость течения воды, замыкающий створ ручей Ярнышный.

Таблица 1. Объем стока воды и сток ВВ водотоков Мурманского побережья

№ п/п	Водотоки	Объем стока воды, км ³ ·год ⁻¹	Сток ВВ, т·год ⁻¹	Концентрация ВВ, мг/л
1	Варзина	1.25	1150	0.89**
2	Сидоровка	0.51	320	0.64**
3	Восточная Лица	2.31	1850–2600	0.92 ± 0.21
4	Воятка	0.33	110–205	0.46 ± 0.13
5	Харловка	2.15	2100–2450	0.97 ± 0.18
6	Чегодаевка	0.15	70–110	0.62 ± 0.14
7	Золотая	0.33	220–350	0.88 ± 0.21
8	Рында	2.25	1750–2550	0.95 ± 0.18
9	Вящина	0.16	50–95	0.46 ± 0.14
10	Трящина	0.21	110–150	0.64 ± 0.10
11	Оленка	0.78	550–700	0.78 ± 0.12
12	Собачий	0.08	50–60	0.64 ± 0.08
13	Зарубиха	0.18	110–140	0.71 ± 0.07
14	Зеленецкий	0.03	25–30	0.90 ± 0.06
15	Ярнышный	0.13	55–60	0.79 ± 0.02
16	Воронья*	4.51	2900–4000	0.76 ± 0.12
17	Териберка	2.62	1600–2200	0.71 ± 0.12
18	Кола	2.57	1750	0.68**
19	Тулома*	9.99	6500	0.65**
20	Западная Лица	2.40	1600–2000	0.75 ± 0.08
	Печенга	2.80	1800–2600	0.79 ± 0.18

*Водотоки с зарегулированным стоком.

**Единичные замеры. Источник: составлено по [1, 4, 15–18, 20].

объем выборки (n) 27, уровень значимости (p) 0.99) и длины водотока ($r = 0.955$, $n = 27$, $p = 0.99$). Реки Тулома и Воронья совместно выносят в Баренцево море 30–35% от суммарного стока всех водотоков региона, крупные внутренние реки – более 35%, средние реки – менее 20%, малые реки и ручьи – около 10% (табл. 1).

Изучение речного стока на 12 водотоках Мурманского побережья (табл. 2) выявил следующие закономерности:

1. основной сток происходит в весеннее половодье (см. табл. 2), которое характеризуется максимальным среднесуточным расходом воды (см. рис. 3, 4);

2. весенний паводок редко бывает без снижения среднесуточного расхода воды, а более 60% стока происходит за 10–15 дней;

3. повышение уровня воды в осенний паводок происходит плавно и растягивается на несколько недель. Суммарный сток не превышает 20% годового (см. табл. 2), и напрямую зависит от количества атмосферных осадков;

4. в многоснежные годы суммарный зимний сток достигает 30% годового расхода воды, в малоснежные – не превышает 13–15%. В оттепели наблюдаются прорывы воды на поверхность льда, в результате образуются наледи, превосходящие ширину водотоков, что способствует денудации пойменных и террасовых уровней;

5. в летний период года суммарный сток не превышает 18% годового расхода воды. В целом, чем больше площадь бассейна водотока, тем больше доля летнего стока в годовом расходе (см. табл. 2). Летом во всех водотоках наблюдаются паводки,

Таблица 2. Объем стока воды водотоков Мурманского побережья

Диапазон многолетних изменений годового стока, м³·10 ⁶	Водотоки									
	Реки*		ручей Ярнышный		река Зарубиха		ручей Собачий		ручей Зеленецкий**	
	n		n		n		n		n	
	135	1322—1919	187	198—391	70	242—362	68	42—113	30	2.21—7.18
Зима,%	16	13—16	32	22—23	16	23—30	16	16—22	—	—
Весна,%	34	51—52	47	42—44	12	44—46	10	58—60	—	—
Лето,%	60	17—18	82	16—17	30	14.0—14.5	29	10—11	22	41—52
Осень,%	25	16—17	26	18—19	12	12—13	13	10—11	6	48—59
Среднесуточный сток, м³·10 ⁵										
За год	135	65.1±5.9	187	10.7±2.3	70	7.1±1.2	68	1.7±0.4	30	0.28±0.04
Медиана		46.0		5.7		3.9		0.55		0.26
Мода		33.4		3.8		4.2		0.52		0.31
Среднесуточный сток по месяцам, м³·10 ⁵										
Январь	10	8.2±5.1	2	3.6±0.8	2	4.28±0.4	2	0.49±0.1	—	—
Февраль	—	—	2	2.72±1.8	1	2.94	1	0.35	—	—
Март	—	—	4	1.01±0.2	3	0.91±0.3	4	0.38±0.2	—	—
Апрель	1	28.3	20	5.09±1.0	6	2.12±0.5	5	1.0±0.2	2	0.1±0.03
Май	4	580.2±121	33	30.2±3.9	6	30.1±1.1	3	10.6±1.8	—	—
Июнь	30	135.9±38	25	13.5±2.2	9	11.6±0.7	10	2.65±1.3	1	0.35
Июль	35	61.6±22	28	5.33±0.5	13	4.19±0.5	13	0.68±0.2	9	0.33±0.1
Август	25	29.1±9.5	43	4.14±0.4	14	3.51±0.5	13	0.75±0.2	12	0.2±0.04
Сентябрь	5	104.6±29	14	7.55±1.2	6	8.46±1.1	7	1.21±0.9	1	0.39
Октябрь	20	40.2±14	12	9.88±1.8	6	5.67±0.8	6	1.10±0.3	5	0.44±0.1
Ноябрь	—	—	2	4.80±0.6	2	4.92±0.3	2	1.04±0.5	—	—
Декабрь	5	22.1±3.5	2	2.38±0.5	2	3.97±0.4	2	0.73±0.3	—	—

*Среднее по 11 рекам (Печенга, Западная и Восточная Лица, Ура, Териберка, Оленка, Рында, Харловка, Золотая, Войтка, Чегодаевка, Варзина).

**Сток за летне-осенний сезон.

когда при атмосферных осадках резко повышается уровень и скорость течения воды. Их продолжительность от нескольких часов до нескольких суток.

Весной и осенью наблюдается большое количество временных водотоков. В пик схода снежного покрова фиксируется от 3 до 8 временных водотоков на один погонный километр береговой зоны. Расход воды в ручьях не превышает $200 \text{ м}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$, но в отдельных случаях достигает 5 тыс. $\text{м}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$.

Таким образом, главные особенности водотоков Мурманского побережья состоят в следующем:

1. суммарный сток 50–80 $\text{км}^3/\text{год}$;
2. в весенний паводок скорости течения воды достигают 3.5 м/с, в остальные сезоны года не превышают 2 м/с;
3. в паводковые периоды происходит вынос около 70% от годового расхода воды;
4. в летний период выносятся менее 18% от годового расхода воды.

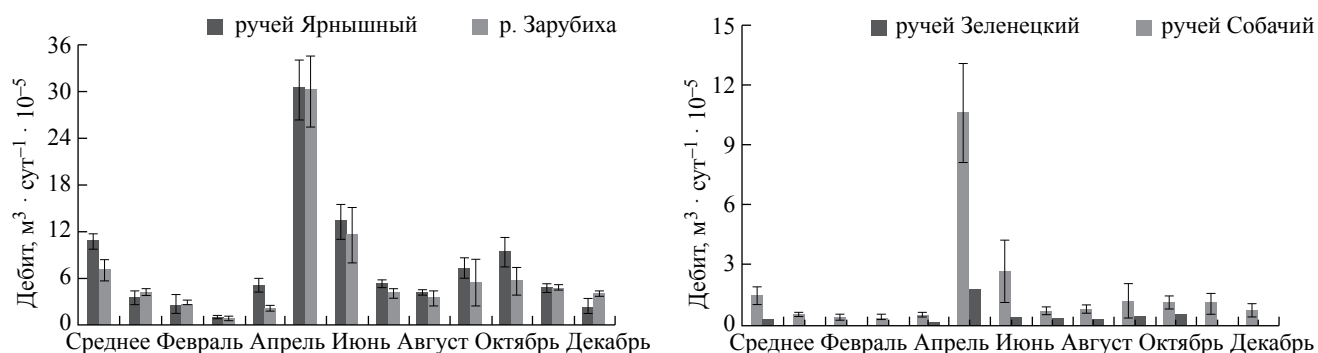


Рис. 4. Среднесуточный дебит водотоков Мурманского побережья.

Концентрация взвешенного вещества в водотоках. ВВ является одним из важнейших компонентов любой водной системы. Как отмечал академик А.П. Лисицын [9, 10], ВВ важный геохимический и экологический показатель не только морей и океанов, но и рек, так как здесь взвешенное состояние материала является основной формой переноса вещества. Пониженное или, наоборот, повышенное содержание ВВ в воде имеет непосредственное влияние на экологическое равновесие любых акваторий. Минеральные частицы взвеси могут ослаблять доступ солнечного света в придонные горизонты воды и, следовательно, тормозить развитие живых организмов, а фитопланктон, как составная часть ВВ, основой длинной пищевой цепи.

Большие скорости течения воды в водотоках побережья создают условия, для поддержания высоких концентраций ВВ. Геолого-геоморфологические особенности строения побережья с одной стороны благоприятствуют эрозионной деятельности водотоков (повышенная тектоническая раздробленность пород, большие уклоны русел), с другой затрудняют эрозию водосбора (устойчивые к денудации породы, грубообломочный состав рыхлых отложений). В целом для водотоков Мурманского побережья характерно низкое содержание ВВ (редко превышающее 2 мг/л, [18]), при среднем содержании ВВ рек мира 460–490 мг/л [2, 3, 6, 12, 13]. Концентрация ВВ здесь на порядок ниже, чем в водотоках Карелии и в реках Обь и Енисей [24] (табл. 3).

Концентрация ВВ в исследованных водотоках в период 1997–2015 гг. изменялась от 0.17 до 6.43 мг/л. При этом концентрации ВВ более 2 мг/л фиксировались всего семь раз. Повышенные концентрации ВВ могут наблюдаться в любое время года, но только в весенний паводок они стабильно высокие. Летом фиксируются минимальные концентрации ВВ.

Они не зависят от масштаба водотока, а их максимальные показатели фиксируются в устьевых частях. В 3 водотоках в течение 10 лет ведутся мониторинговые наблюдения расхода воды и концентрации ВВ в замыкающих створах водотоков. За это время среднегодовые показатели никогда не превышали 1 мг/л (рис. 5).

С 1997 г. по 2007 г. среднегодовые концентрации ВВ были низкими, а в 2001–2002 гг. — минимальные во всех водотоках. Далее в течение пяти лет (до 2007 г.) происходило постепенное повышение концентраций ВВ, в 2008 г. фиксировалось резкое увеличение концентраций ВВ во всех водотоках. Начиная с 2009 г. в ручье Ярнышном среднегодовые концентрации ВВ практически не меняются. В тоже время в ручье Собачьем они постепенно снижаются.

Цикличность изменения среднегодовых концентраций ВВ, возможно, связана с климатическими изменениями. Известно, что климат подвержен короткопериодическим изменениям (наиболее часто выделяются 4–6 летние циклы). Так на Мурманском побережье с 2002 г. по 2008 г. наблюдалось повышение среднегодовых температур воздуха и одновременно фиксировалось увеличение среднегодовых концентраций ВВ [20]. В дальнейшем среднегодовые температуры воздуха снижаются и фиксируется снижение среднегодовых концентраций ВВ в ручье Собачий (самый маленький по масштабу водоток). В других ручьях, отклик на климатические изменения проявился с временным опозданием, возможно, это связано с масштабом водотоков. В настоящее время фиксируется незначительное снижение среднегодовых концентраций ВВ, во всех водотоках, и снижение среднегодовых температур воздуха.

В водотоках выявлены достоверные сезонные изменения концентрации ВВ (рис. 6, табл. 4). Но в крупных реках средние концентрации ВВ летом и осенью достоверно не отличаются (см. табл. 4).

Таблица 3. Концентрация ВВ в реках Белого, Баренцева и Карского морей

Море	Водоток	Даты	Концентрация, мг/л	Источник
Белое	Северная Двина	Июль 1995 г.	10–23*	[26]
		Июнь 2002 г.	4.33–10.73*	[12]
	Онега	Июнь 2002 г.	26.19**	
		Август 2004 г.	11.5–16.5*	[8]
	Нива	Июнь 2000 г.	<1.5	[14]
	Кемь	Июль 2001 г.	7.16**	[25]
		Август 2002 г.	5.17**	[7]
	Шишня	Сентябрь 2002 г.	16.25**	[12]
	Кереть	Сентябрь 2000 г.	1.14**	[7]
	Кереть	Июнь–октябрь 2009–2012	1.43–3.96*	[19]
	ручьи Карельского побережья	Май–октябрь 2006–2012 гг.	0.34–19.69*	
Баренцево	Водотоки Мурманского побережья	1997–2015 гг.	0.17–6.43*	Данная работа
Карское	Обь	Сентябрь 1993 г.	69.3–115.3*	[24]
	Енисей	Сентябрь 1993 г.	29.1**	

* Диапазон изменения концентрации ВВ.

** Среднемесячные концентрации ВВ.

В наиболее детально изученном водотоке (ручей Ярнышный) сезонное изменение концентраций ВВ происходят следующим образом. В период зимней межени устанавливаются минимально низкие концентрации ВВ (менее 0.4 мг/л), которые к концу зимнего сезона начинают постепенно повышаться (см. рис. 5). В весенний паводок они повышаются резко (в 2 и более раз). Переход весеннего сезона к летнему характеризуется постепенным снижением показателей вплоть до начала осени. В конце осеннего сезона происходит резкое (в 1.5–2 раза) снижение концентрации ВВ (см. рис. 6).

Фиксируются короткопериодические изменения концентрации ВВ в водотоках вызванные паводками (рис. 7). Так в летний меженный период концентрации ВВ в целом изменяются незначительно (не более чем на 0.4 мг/л), и очень редко (в паводки) превышают некоторую “верхнюю” предельную концентрацию ВВ меженного периода (см. рис. 7). Для каждого водотока предельная концентрация ВВ в меженный период различна (ручей Собачий – 0.75 мг/л, ручей Зеленецкий – 0.50 мг/л, р. Зарубиха – 0.80 мг/л, в крупных внутренних реках – 0.80–0.95 мг/л) и ее превышение

происходит только в паводки. Весенний период высоких концентраций ВВ в водотоках редко превышает 10 суток, осенью – может длиться несколько недель [20].

Короткопериодические изменения концентрации ВВ в замыкающих створах водотоков происходят не только под действием атмосферных осадков, но и зависят от приливоотливной стадии моря и суточного градиента температур воздуха (ночное охлаждение и дневной прогрев).

В приливную стадию происходит подпор толщей морской воды пресных вод, уровень воды в замыкающих створах водотоков повышается на 1–1.5 м (максимальный подъем воды наблюдался в 2002 г. в ручье Собачий и достигал 3.5 м), резко замедляется стоковая скорость течения воды. В ручьях и малых водотоках проникновение соленых вод не превышает первых десятков метров (чаще всего 10–30 м), максимальное проникновение соленых вод наблюдалось в р. Воронья на расстояние 12 км. Казалось бы, в таких условиях должно происходить снижение концентраций ВВ в водотоке, так как несущая способность водотока резко понижается, но по четырехлетним наблюдениям такое фиксировалось всего один раз

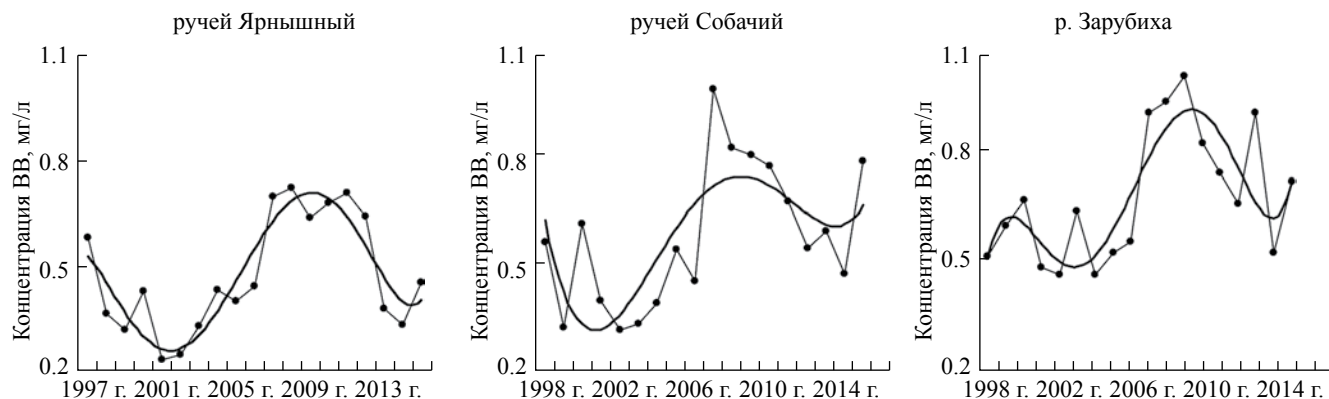


Рис. 5. Изменение среднегодовых концентраций ВВ (сплошная линия тренд).

($n = 96$). Во всех других случаях в прилив фиксировалось повышение концентрации ВВ (рис. 8).

Вероятно, повышение концентраций ВВ связано с относительным накоплением ее в замыкающем створе, так как количество поступающего ВВ не меняется, ведь выше по течению изменений не происходит, а вынос ВВ в море замедляется, что ведет к повышению концентрации ВВ.

Изменение концентрации ВВ, вызванные резкими градиентами температур воздуха (ночным охлаждением), наблюдаются в основном в осенний период года. Ее повышение происходит в первую половину дня и связано с увеличением количества пустых створок диатомовых водорослей во взвеси [18]. Массовая гибель планктонных организмов, возможно, вызвана формированием кристаллов льда на поверхности воды в ночные часы.

По результатам изучения концентраций ВВ в замыкающих створах водотоков Мурманского побережья установлено:

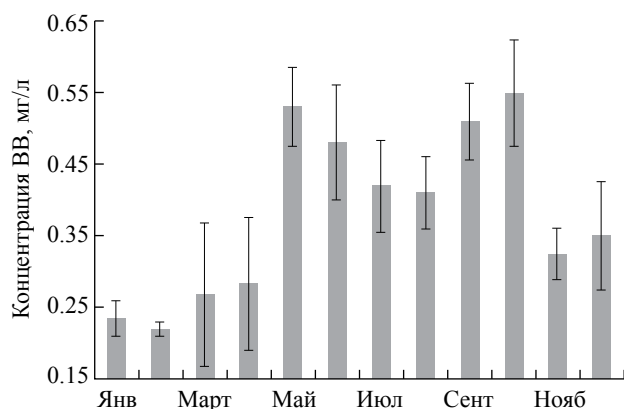


Рис. 6. Среднеголетние изменения месячных концентраций ВВ, ручей Ярнышный (линии доверительные интервалы).

1. В малых реках и ручьях (независимо от сезона года) вероятность обнаружения концентрации ВВ 0.20–1.0 мг/л составляет 0.87–0.92 ($\rho = 0.99$, $n = 300$). Вероятность обнаружения концентрации взвеси менее 0.2 мг/л и более 1.5 мг/л составляет в среднем 0.11, это редкие явления, первые изредка фиксируются в меженные периоды года ($n = 6$), вторые постоянно фиксируются в паводковые периоды.

2. В средних и крупных реках (независимо от сезона года) вероятность концентрации ВВ 0.30–0.90 мг/л составляет 0.79 ($\rho = 0.99$, $n = 135$). Вероятность обнаружения концентрации ВВ более 1.5 мг/л – в среднем 0.15, а более 3.0 мг/л – 0.09, хотя обнаружение таких концентраций ВВ явления редкие, они встречаются в два раза чаще, чем концентрации ВВ менее 0.30 мг/л ($r = 0.05$, $\rho = 0.99$, $n = 135$).

Таким образом, водотоки Мурманского побережья по мутности относятся к ультрачистым, так как концентрации ВВ в них на 3 порядка ниже, чем среднее по рекам мира [3], на 1–2 порядка ниже, чем в великих Сибирских реках [24] и на порядок ниже, чем в водотоках, впадающих в Белое море [7, 8, 12, 14, 25, 26].

Вынос взвешенного вещества. Опираясь на данные по концентрации ВВ (см. табл. 4) и годовому расходу воды (см. табл. 2) определяется сток ВВ в бассейн седиментации (табл. 5). Основное влияние на количество выносимого ВВ, в условиях Мурманского побережья, оказывает расход воды в водотоках [18, 20].

В 2001 г. произошло резкое снижение количества выносимого ВВ с Мурманского побережья, а в период 2001–2005 гг. фиксировался минимальный расход воды и сток ВВ (рис. 9). В 2006 г. произошло увеличение выноса ВВ, а период в 2006–2010 гг. зафиксирован максимальный расход воды

Таблица 4. Концентрации ВВ в водотоках Мурманского побережья

Концентрация ВВ, мг/л	Реки*		ручей Ярнышный		р. Зарубиха		ручей Собачий		ручей Зеленецкий**	
	п		п		п		п		п	
Среднегодовая	135	0.9 ± 0.18	122	0.44 ± 0.02	75	0.71 ± 0.07	73	0.64 ± 0.08	30	0.9 ± 0.06
Медиана		0.61		0.39		0.63		0.52		0.93
Мода		0.51		0.38		0.61		0.44		0.88
Зима	16	2.08 ± 0.9	22	0.30 ± 0.05	17	0.51 ± 0.07	16	0.4 ± 0.06	—	—
Весна	34	1.10 ± 0.3	35	0.46 ± 0.06	15	0.71 ± 0.10	14	0.75 ± 0.1	—	—
Лето	60	0.62 ± 0.1	38	0.38 ± 0.04	28	0.67 ± 0.15	28	0.57 ± 0.2	22	0.9 ± 0.07
Осень	25	0.6 ± 0.05	27	0.53 ± 0.05	15	0.74 ± 0.10	15	0.65 ± 0.1	6	0.92 ± 0.2
Среднемесячная										
Январь	10	2.96 ± 0.4	2	0.24 ± 0.03	2	0.31 ± 0.01	2	0.26 ± 0.1		—
Февраль		—	2	0.22 ± 0.01	1	0.26	1	0.32		—
Март		—	4	0.27 ± 0.1	4	0.48 ± 0.07	4	0.3 ± 0.15		—
Апрель	1	0.77	10	0.28 ± 0.1	6	0.66 ± 0.17	5	0.36 ± 0.2	2	0.72 ± 0.2
Май	4	3.72 ± 0.6	13	0.54 ± 0.06	5	0.75 ± 0.23	4	0.95 ± 0.2		—
Июнь	30	0.67 ± 0.1	22	0.48 ± 0.1	10	0.67 ± 0.1	10	0.65 ± 0.1	1	0.97
Июль	35	0.59 ± 0.1	16	0.42 ± 0.06	14	0.63 ± 0.07	14	0.54 ± 0.1	9	0.92 ± 0.1
Август	25	0.66 ± 0.1	22	0.41 ± 0.05	14	1.03 ± 0.3	14	0.58 ± 0.1	12	0.89 ± 0.1
Сентябрь	5	0.72 ± 0.1	15	0.51 ± 0.05	8	0.66 ± 0.07	8	0.56 ± 0.1	1	0.95
Октябрь	20	0.54 ± 0.1	12	0.55 ± 0.07	7	0.84 ± 0.21	7	0.69 ± 0.1	5	0.91 ± 0.2
Ноябрь	—	—	2	0.33 ± 0.04	2	0.32 ± 0.02	2	0.43 ± 0.1	—	—
Декабрь	5	0.34 ± 0.1	2	0.35 ± 0.07	2	0.67 ± 0.01	2	0.62 ± 0.1	—	—

Примечания. *Среднее по 7 рекам (Оленка, Рында, Харловка, Золотая, Воятка, Чегодаевка, Восточная Лица). Включены единичные замеры в реках: Печенга, Западная Лица, Ура, Териберка, Воронья, Варзина.

**Данные за летне-осенний сезон.

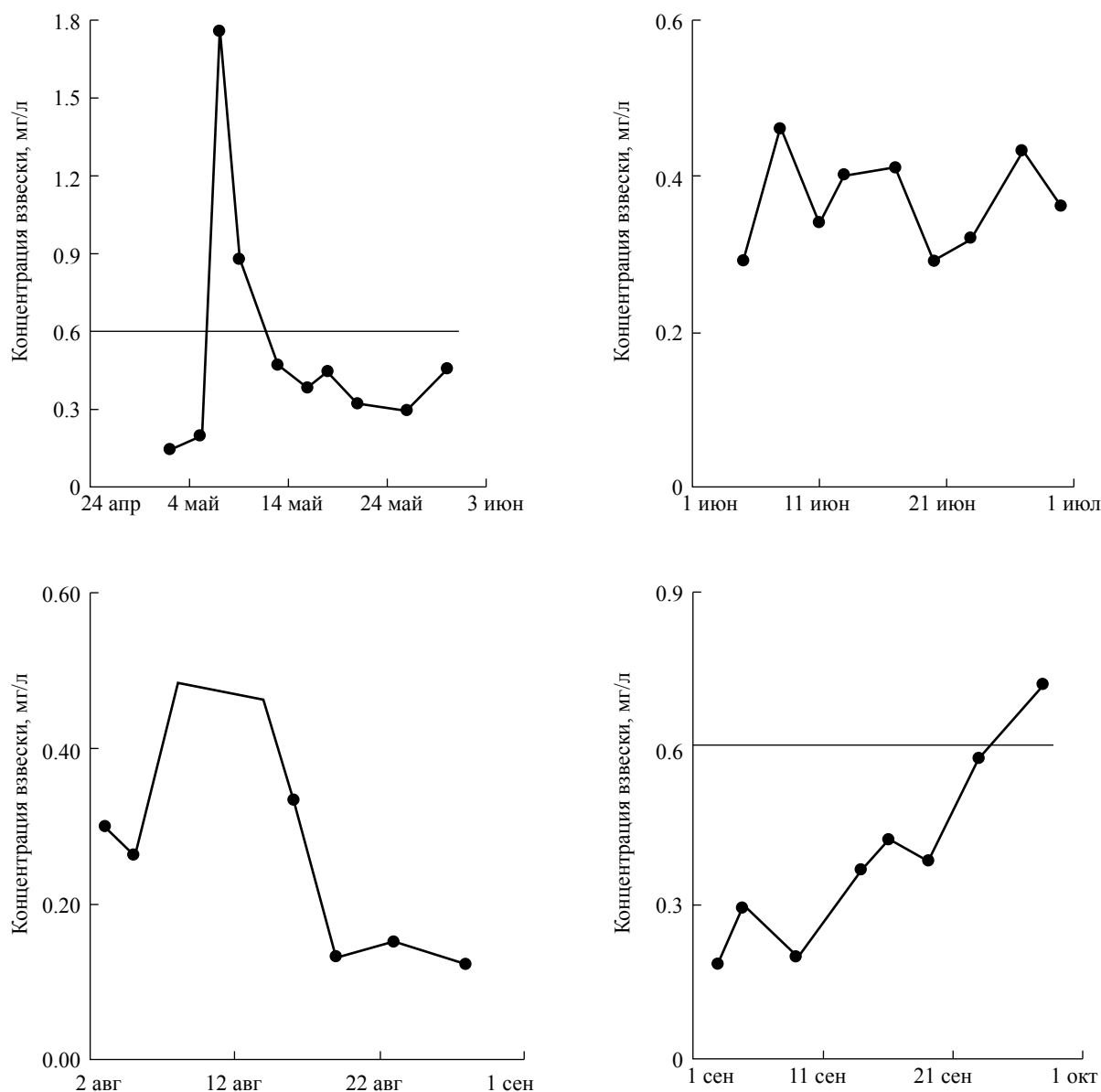


Рис. 7. Изменения концентрации ВВ, ручей Ярнышный. Линия “верхняя” предельная концентрация ВВ в меженьный период.

и сток ВВ с побережья. В 2011 г. вновь наблюдалось снижение стока ВВ, а в 2014 г. наметилась тенденция увеличения выноса ВВ. Таким образом, сток ВВ с Мурманского побережья подвержен цикличности с периодом 4–5 лет.

В весенний паводок в малых реках и ручьях происходит вынос более 45% от годового стока ВВ, в крупных водотоках не превышает 40% (см. табл. 5). Минимальный сток ВВ происходит летом и осенью и редко превышает 20% от годового стока ВВ, в зимний период (за счет длительности сезона) сток ВВ может достигать 30% годового

выноса ВВ, что типично для северных рек России [3].

В стоке ВВ выявлено несколько закономерностей (рис. 10):

1. Максимальный среднесуточный твердый сток происходит в мае и во всех водотоках весной выносятся более 40% от годового стока ВВ;
2. Среднесуточный сток ВВ в июне больше стока в осенний паводок;
3. Минимальный среднесуточный сток ВВ происходит с января по март.

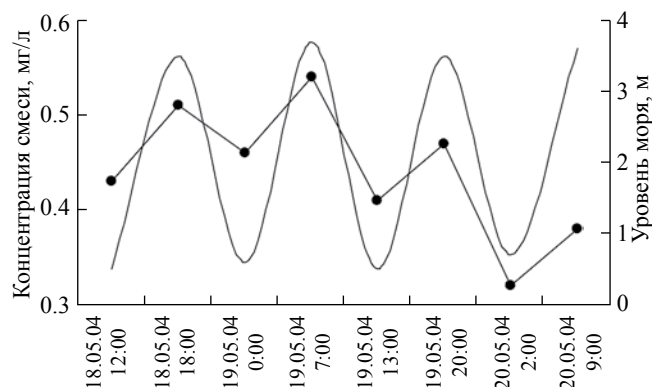


Рис. 8. Изменение уровня моря и концентрации ВВ, май 2004 г.

Полученные данные позволяют оценить суммарный вынос ВВ с Мурманского побережья за год (табл. 6). В зависимости от водности года, водотоки выносят в воды Баренцева моря от 40 до 72 тыс. тонн ВВ в год. Доля ручьев в среднем превышает 10% от суммарного стока ВВ всех водотоков Мурманского побережья.

Таким образом, малые водотоки Мурманского побережья нельзя не учитывать при балансовых расчетах, что часто происходит при региональных исследованиях в других регионах. Для этого есть объективные причины — большое количество водотоков и трудоемкость их изучения. Так же считается, что крупные и средние речные системы выносят в бассейны седиментации подавляющее количество осадочного материала [3, 11].

Полученные данные позволяют рассчитать модуль стока ВВ с водосборных пространств Мурманского побережья [23]. Средний модуль стока ВВ с водосборов Мурманского побережья изменяется от 0.35 до 1.95 $\text{т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, в среднем составляя $1.01 \pm 0.09 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ (табл. 7). На водосборных пространствах крупнейших транзитных рек фиксируется минимальный модуль стока ВВ — менее 0.40 $\text{т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, а у ручьев — максимальный (в среднем $>1.25 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$).

Вероятно, низкий модуль стока ВВ водосборов р. Тулома и р. Воронья ($0.33\text{--}0.36 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) связан с зарегулированностью стока и искусственным повышением базиса эрозии на обширных площадях водосбора. Подобное явление (снижение модуля стока ВВ за счет строительства водохранилищ) установлено для 68 рек мира [3]. Относительно высокий модуль стока ВВ небольших ручьев явление естественное в сильно расчлененном “молодом” рельефе, когда водотоки

только осваивают территорию. По скорости денудации водосборов местными реками наблюдается увеличение модуля стока ВВ при увеличении масштаба водотока. Средний модуль стока ВВ на Мурманском побережье соответствует модулю стока ВВ средних по масштабу рек. Интересно, что максимальный модуль стока ВВ выявлен в двух несопоставимых водотоках: р. Рында ($1.95 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) и ручей Собачий ($1.87 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$). Вероятно, высокий модуль стока ВВ ручья Собачий связан с тем, что его русло, на всем протяжении, выработано в морских аккумулятивных террасах, сложенных разнозернистыми песками с прослоями глин и гравия.

Модуль стока ВВ крупных рек в Северный Ледовитый океан в среднем составляет $10.1 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, при среднем модуле стока ВВ всех рек мира $150\text{--}180 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ [3, 22]. Это самый низкий модуль стока ВВ рек для всех океанов (в 8 раз меньше, чем рек впадающих в Атлантический океан и в 50 раз меньше рек впадающих в Индийский океан). Сток ВВ в Белое море оценивается в $9\text{--}10 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ [22], при этом в Кандалакшский залив поступает минимальное количество (для Белого моря) ВВ. По нашим данным, средний модуль стока ВВ водотоков Карельского побережья составляет $1.99 \pm 0.38 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ ($n=217$), у крупных ручьев (расход воды более $10 \text{ млн м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$) модуль стока ВВ ($9.10 \pm 1.96 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) соответствует среднему показателю водотоков Белого моря [20], что естественно для молодого рельефа.

Модуль стока ВВ непосредственно связан со скоростью эрозии водосборных пространств. Исходя из полученных данных, средняя скорость смыва с водосборов Мурманского побережья составляет $0.65 \pm 0.07 \text{ мкм} \cdot \text{год}^{-1}$ ($\text{мкм} \cdot \text{год}^{-1}$) (от 0.2 до $1.3 \text{ мкм} \cdot \text{год}^{-1}$). Максимальная скорость эрозии наблюдается на водосборах крупных рек и ручьев ($0.8\text{--}0.9 \text{ мкм} \cdot \text{год}^{-1}$), минимальная у рек с зарегулированным стоком (менее $0.3 \text{ мкм} \cdot \text{год}^{-1}$). Очень низкая скорость эрозии водосборов Мурманского побережья (средняя скорость смыва с континентов — $70\text{--}330 \text{ мкм} \cdot \text{г}^{-1}$, водоразделов России — $34 \text{ мкм} \cdot \text{год}^{-1}$, водосбора Белого моря — $5\text{--}6 \text{ мкм} \cdot \text{год}^{-1}$, [3, 22]) предопределена геолого-геоморфологическим строением территории и географическим положением побережья, которое определяет особенности климата региона.

В современной литературе большое значение в изменении практически природных систем придается климату. Данную концепцию поддерживают как зарубежные, так и российские исследователи. Можно привести много публикаций

Таблица 5. Вынос ВВ водотоками Мурманского побережья

Диапазон изменения годового выноса ВВ, т/год	Водотоки									
	Реки*		ручей Ярнышный		р. Зарубиха		ручей Собачий		**ручей Зеленецкий	
	n		n		n		n		n	
	135	1503–1982	187	72–191	70	73–313	68	16–97	30	2–8
Зима, %	16	29–33	32	13–18	16	16–23	16	4–9	—	—
Весна, %	34	36–40	47	46–52	12	46–61	10	56–70	—	—
Лето, %	60	15–18	82	11–12	30	17–18	29	13–20	22	40–48
Осень, %	25	14–18	26	24–26	12	14–16	13	7–21	6	52–61

Среднесуточный вынос взвеси, т/сутки

В течение года		4.8 ± 0.6		0.5 ± 0.1		0.55 ± 0.1		0.12 ± 0.01		0.03 ± 0.01
Медиана	135	2.94	187	0.21	70	0.20	68	0.04	30	0.02
Мода		1.81		0.13		0.15		0.03		0.03

Среднесуточный вынос взвеси по месяцам, кг/сутки

Январь	7	2320 ± 240	2	90 ± 30	2	130 ± 10	2	10 ± 10	—	—
Февраль	2	2070 ± 120	2	60 ± 20	1	77	1	11	—	—
Март	2	2180 ± 310	4	40 ± 10	3	50 ± 20	4	10 ± 10	—	—
Апрель	2	3170 ± 330	20	110 ± 50	6	210 ± 100	5	20 ± 10	2	10 ± 10
Май	3	21700 ± 940	33	1150 ± 420	6	2800 ± 580	3	900 ± 170	—	—
Июнь	30	8330 ± 340	25	1070 ± 390	9	850 ± 320	10	200 ± 60	1	34
Июль	35	3490 ± 680	28	300 ± 60	13	270 ± 50	13	50 ± 20	9	30 ± 10
Август	25	2020 ± 480	43	170 ± 30	14	370 ± 150	13	90 ± 20	12	20 ± 10
Сентябрь	5	7530 ± 1120	14	420 ± 110	6	390 ± 200	7	40 ± 10	1	38
Октябрь	20	2250 ± 670	12	600 ± 140	6	410 ± 110	6	70 ± 20	5	40 ± 10
Ноябрь	—	—	2	160 ± 40	2	160 ± 10	2	40 ± 10	—	—
Декабрь	5	750 ± 110	2	12 ± 40	2	270 ± 20	2	50 ± 20	—	—

*Среднее по 7 рекам (Оленка, Рында, Харловка, Золотая, Воятка, Чегодаевка, Восточная Лица). Включены единичные замеры в реках: Печенга, Западная Лица, Ура, Териберка, Воронья, Варзина.

**Вынос за летне-осенний сезон. ± Ошибка среднего.

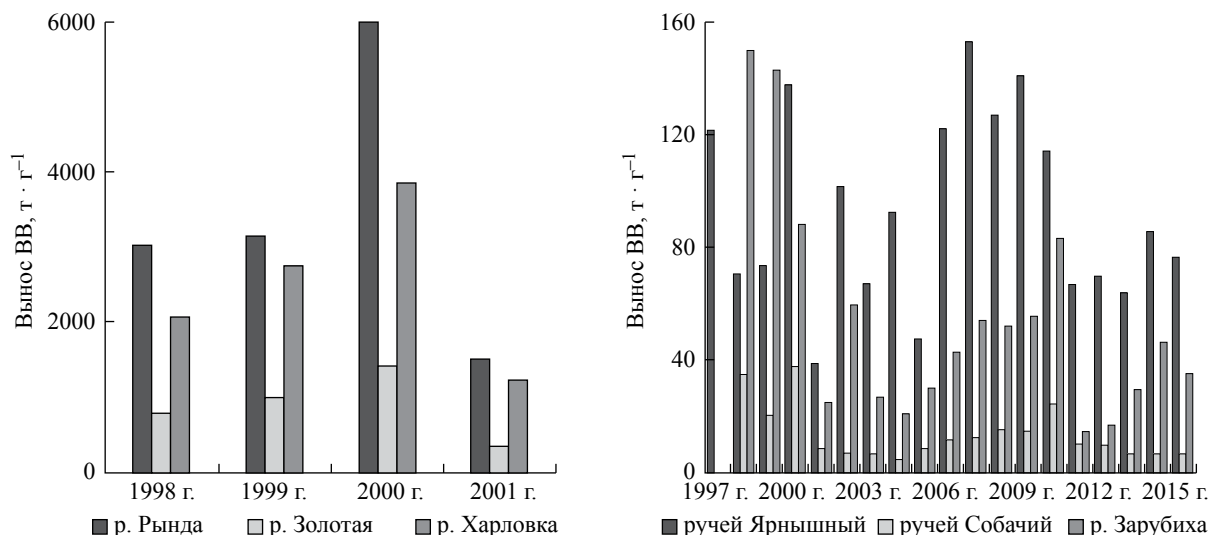


Рис. 9. Динамика выноса ВВ с Мурманского побережья.

последних 10–12 лет, в которых сток арктических рек связывается с глобальным изменением климата (см. книгу В.В. Гордеева [3]).

Анализ скорости эрозии водосборных пространств с изменением среднегодовых температур воздуха и годовой суммы атмосферных осадков в центральной части Мурманского побережья (рис. 11, 12), показывает, что данные параметры изменяются независимо друг от друга. При этом на скорость эрозии непосредственно влияет количество аномальных метеоусловий (количество и продолжительность ливней, оттепелей зимой,

штормовых ветров, быстрый сход снежного покрова и т.п.).

Выводы. Подводя итог, выделим главное:

1. Суммарный сток воды с Мурманского побережья варьирует в диапазоне $50\text{--}80 \text{ км}^3 \cdot \text{год}^{-1}$. В последние годы происходит его уменьшение.
2. Максимальный сток воды происходит в весенний паводок и составляет 40–60% годового стока.
3. В водотоках Мурманского побережья концентрация ВВ низкая.

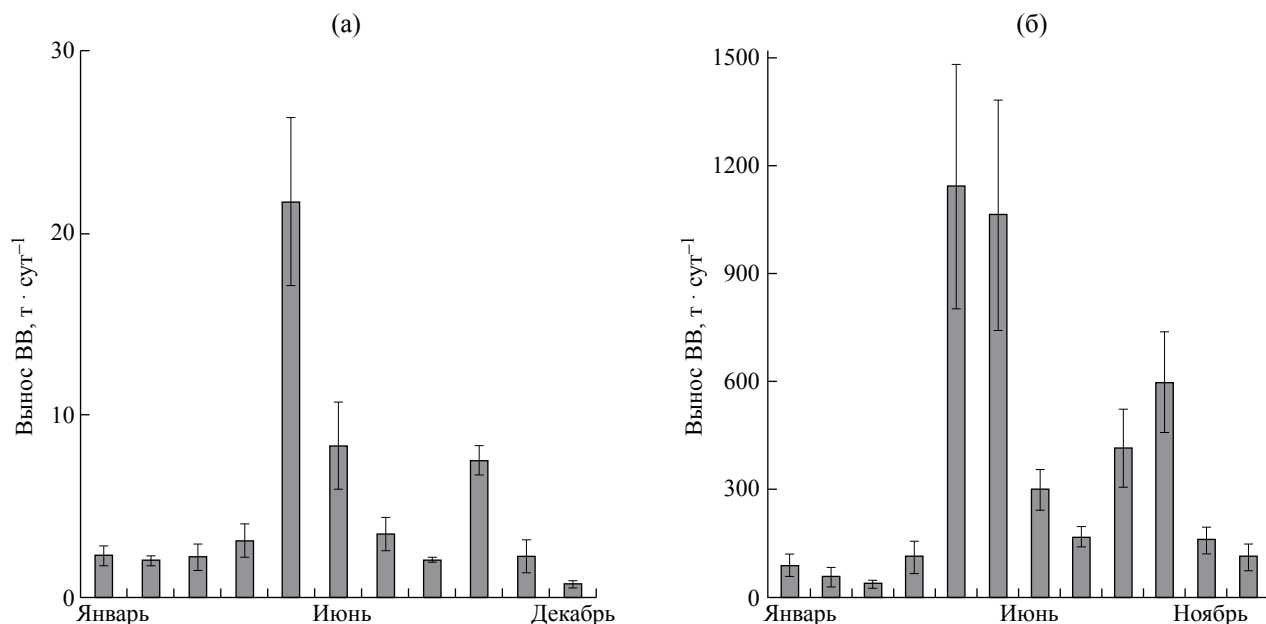


Рис. 10. Годовая динамика выноса ВВ водотоками Мурманского побережья. (а) – р. Рында, (б) – ручей Ярнышный.

Таблица 6. Сток ВВ водотоков Мурманского побережья, т/год

Внутренние водотоки	n	Диапазон	Среднее	Доля водотоков, %
Крупные реки	16	34500–45500	38000 ± 5500	65–86
Средние реки	65	4500–16500	12000 ± 2500	11.5–23.5
Малые реки и ручьи	190	2500–10000	6000 ± 500	6–14
Всего		41500–72000	59000 ± 4500	100

Таблица 7. Оценка стока ВВ с Мурманского побережья

№ п/п	Водотоки	Модуль твердого стока, $\text{т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$	Смыв с поверхности водосборов, $\text{мкм} \cdot \text{год}^{-1}$
1	Иоканька	1.18	0.79
2	Савиха	0.40	0.27
3	Ивановка	0.70	0.47
4	Черная	0.53	0.35
5	Дроздовка	0.38	0.25
6	Варзина	0.77	0.51
7	Сидоровка	0.66	0.44
8	Восточная Лица	1.21	0.81
9	Воятка	1.46	0.97
10	Харловка	1.12	0.75
11	Чегодаевка	0.62	0.41
12	Золотая	0.64	0.43
13	Рында	1.95	1.30
14	Вящина	1.46	0.97
15	Трящина	0.65	0.43
16	Оленка	1.28	0.85
17	Собачий	1.87	1.25
18	Зарубиха	1.44	0.96
19	Зеленецкий	1.75	1.17
20	Ярнышный	1.06	0.71
21	Воронья*	0.34	0.23
22	Териберка	1.33	0.89
23	Климковка	1.17	0.78
24	Кола	0.38	0.25
25	Тулома*	0.35	0.23
26	Зап. Лица	0.75	0.50
27	Печенга	0.73	0.49

Средний модуль стока ВВ Мурманского побережья $1.01 \pm 0.09 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ Средняя скорость эрозии водосборов $0.65 \pm 0.07 \text{ мкм} \cdot \text{год}^{-1}$

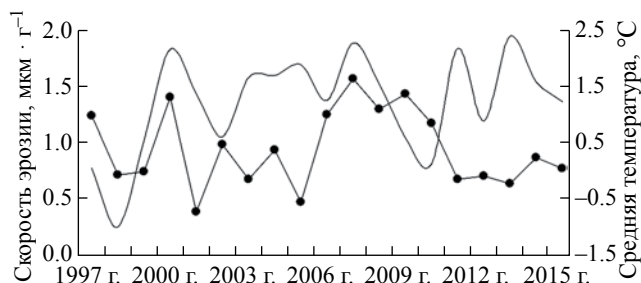


Рис. 11. Изменение скорости эрозии и среднегодовых температур воздуха. Кривая с маркерами — скорость эрозии.

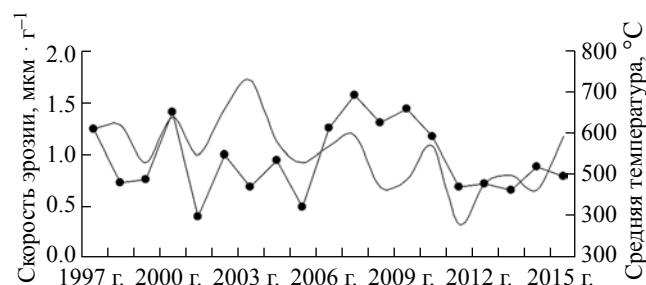


Рис. 12. Изменение скорости эрозии и суммы атмосферных осадков. Кривая с маркерами — скорость эрозии.

4. В малых реках и ручьях вероятность обнаружения концентрации ВВ 0.20–1.0 мг/л составляет 0.87–0.92; менее 0.20 мг/л и более 1.5 мг/л — явления редкие.

5. В средних и крупных реках вероятность обнаружения концентрации ВВ 0.30–0.90 мг/л составляет 0.79.

6. Суммарный сток ВВ с Мурманского побережья оценивается в 40–70 тыс. т в год, изменения стока ВВ имеет цикличность с периодом 4–5 лет.

7. Модуль стока ВВ водотоков Мурманского побережья не превышает $2 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

8. Скорость эрозии водосборов Мурманского побережья не превышает $2 \text{ мкм} \cdot \text{год}^{-1}$, низкая скорость эрозии предопределена геолого-геоморфологическим строением территории и географическим положением региона, но не зависит от изменения среднегодовых климатических показателей на территории региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Мурманской области. М.: Изд-во ГУГК, НИГЭИ ЛГУ, 1971. 33 с.
2. Гордеев В.В. Речной сток в океане и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
3. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М.: И.П. Матушкина И.И., 2012. 452 с.
4. Герасимова М.В. Взвешенное вещество водотоков Мурманского побережья (Восточный Мурман) и его роль в прибрежном осадконакоплении // Автор. дис. ... канд. геогр. наук. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2004. 22 с.
5. Геология СССР. Т. 27. Мурманская область. М.: Госгеолтехиздат, 1958. Ч. I. 714 с.
6. Бурдыкина А.П. Твердый сток рек Советской Арктики. // Л., фонды ААНИИ, 1949. Т. 1. 160 с.
7. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П., Немова Н.Н., Римский-Корсаков Н.А., Денисенко Н.В., Кутчева И.П., Бояринов П.М., Петров М.П., Лифшиц В.Х., Платонов А.В., Демина Л.Л., Кухарев В.И., Коваленко В.Н., Здоровеннов Р.Э., Ратькова Т.Н., Сергеева О.М., Новигатский А.Н., Паутова Л.А., Филиппова К.В., Нюттик Е.-М., Лоренцели Х. Мониторинг приливоотливных обстановок в эстуариях карельского побережья Белого моря // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 6. С. 670–688.
8. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П., Петров М.П., Толстиков А.В., Здоровеннов Р.Э., Платонов А.В., Филиппов А.С., Бушуев К.Л., Кутчева И.П., Денисенко Н.В., Штайн Р., Заукель К. Комплексные исследования в Онежском заливе Белого моря и эстуарии реки Онега в летний период // Океанология. 2008. Т. 48. № 2. С. 276–289.
9. Лисицын А.П. Новые данные о распределении и составе взвешенных веществ в морях и океанах в связи с вопросами геологии // Докл. АН СССР, 1959. Т. 126. № 4. С. 863.
10. Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974. 438 с.
11. Лисицын А.П. Глобальные пояса лавинной седиментации // Обстановки осадконакопления и их эволюция. М.: Наука, 1984. С. 231–282.
12. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Буренков В.И., Копелевич О.В., Васильев Л.Ю. Взвесь и гидрооптика Белого моря — новые закономерности количественного распределения и гранулометрии // Актуальные проблемы океанологии / Гл. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2003. С. 556–607.
13. Лисицын А.П., Шевченко В.П. Проект “Система Белого моря” — четырехмерное изучение морей // Природа. № 11. 2008. С. 81–82.
14. Лукашин В.Н., Шевченко В.П., Ключиткин А.А., Новигатский А.Н., Прего Р. Взвеси и потоки вещества в Кандалакшском заливе Белого моря // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: Матер. межд. конф. Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2002. Т. 2. С. 453–457.
15. Митяев М.В. Современные экзогенные процессы северного побережья Кольского полуострова //

- Биологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях океанического перигляциала. Тез. докл. Межд. науч. конф. (Мурманск, Россия) Мурманск, 1996. С. 50–51.
16. Митяев М.В. Геологическая среда и особенности ее строения // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. С. 28–36.
 17. Митяев М.В., Герасимова М.В., Дружков Н.В. Некоторые особенности динамики взвешенного вещества в водотоках Мурманского побережья // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. С. 63–73.
 18. Митяев М.В., Герасимова М.В., Дружков Н.В. Перенос взвешенного вещества в водотоках Мурманского побережья // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 3. С. 301–306.
 19. Митяев М.В., Герасимова М.В. Современные экзогенные процессы. Карельский берег Канда拉克шского залива Белого моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. 102 с.
 20. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.
 21. Мясников В.П., Карельская А.Г. Взвесь и биогенные элементы в морских водах береговой зоны Мурманна // Биология Баренцева и Белого морей. Апатиты, 1979. С. 60–65.
 22. Система Белого моря (рассеянный осадочный материал, потоки вещества, микробные процессы и загрязнения атмосферы). М.: Новый мир, Т. III, 2013. 784 с.
 23. Страхов Н.М. Основные черты питания современных внутриконтинентальных водоемов осадочным материалом // Образование осадков в современных водоемах. М.: АН СССР, 1954. С. 35–80.
 24. Шевченко В.П., Северина О.В., Майорова Н.Г., Иванов Г.И. Количественное распределение и состав взвеси в эстуариях Оби и Енисея // Вестн. моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996. № 3. С. 81–86.
 25. Dolotov Yu.S., Kovalenko V.N., Lifshits V. Kh., Petrov M.P., Platonov A.V., Prego P., Rat'kova M.P., Filatov N.N., and Shevchenko V.P. On the dynamics of water and suspension in the Keret' River estuary (the Karelian coast of the White Sea) // Oceanology. 2002. Vol. 42. № 5. P. 731–740.
 26. Koukina S.E., Calafal-Frau C., Hummel H., and Palerud R. Trace metals in suspended particulate matter and sediments from the Severnaya Dvina estuary, Russian Arctic // Polar Record. № 37 (202), 2001. P. 249–256.
 2. Gordeev V.V. *Rechnoi stok v okeane i cherty ego geohimii* [River Runoff in the Ocean and Features of its Geochemistry]. Moscow: Nauka Publ., 1983. 160 p.
 3. Gordeev V.V. *Geohimiya sistemy reka-more* [Geochemistry of the River-sea System]. Moscow: I.P. Matushina I.I., 2012. 452 p.
 4. Gerasimova M.V. Suspended matter of watercourses of the Murmansk coast (Eastern Murman) and its role in coastal sedimentation. Extended Abstract of Cand. Sciences (Geogr.) Dissertation. Murmansk: MMBI KSC RAS, 2004. 22 p.
 5. *Geologiya SSSR. Murmanskaya oblast'* [Geology of the USSR. Murmansk Region]. Moscow: Gosgeoltekhizdat Publ., 1958. Part I. 714 p.
 6. Burdykina A.P. *Tverdyi stok rek Sovetskoi Arktiki* [The Solid Runoff of the Rivers of the Soviet Arctic]. Leningrad: foundations of AARI, 1949, vol. 1, 160 p.
 7. Dolotov Yu.S., Filatov N.N., Shevchenko V.P. et al. Monitoring of tidal conditions in estuaries of the Karelian coast of the White Sea. *Water resources*, 2005, vol. 32, no 6, pp. 670–688. (In Russ.).
 8. Dolotov Yu.S., Filatov N.N., Shevchenko V.P. et al. Integrated research in the Onega Bay of the White Sea and the estuary of the Onega River in summer. *Oceanology*, 2008, vol. 48, no 2, pp. 276–289. (In Russ.).
 9. Lisicyn A.P. New data on the distribution and composition of suspended solids in the seas and oceans in connection with geology issues. Dokl. AN SSSR, 1959, vol. 126, no. 4, 863 p. (In Russ.).
 10. Lisicyn A.P. *Osadkoobrazovanie v okeanah* [Sedimentation in the Oceans]. Moscow: Nauka Publ., 1974. 438 p.
 11. Lisicyn A.P. Global belts of avalanche sedimentation. Conditions of sedimentation and their evolution. Moscow: Nauka Publ., 1984, pp. 231–282. (In Russ.).
 12. Lisicyn A.P., Shevchenko V.P., Burenkov V.I. et al. Suspension and hydrooptics of the White Sea – new regularities in the quantitative distribution and granulometry. *Actual problems of oceanology*. N.P. Laverov, Ed. Moscow: Nauka Publ., 2003, pp. 556–607. (In Russ.).
 13. Lisicyn A.P., Shevchenko V.P. Project “System of the White Sea” – four-dimensional study of the seas. *Nature*, 2008, no11, pp. 81–82. (In Russ.).
 14. Lukashin V.N., Shevchenko V.P., Kljuvitkin A.A. et al. Suspensions and fluxes of matter in the Kandalaksha Gulf of the White Sea // Ecology of the Northern Territories of Russia. Problems, the forecast of a situation, ways of development, decisions. Materials Int. Conference. Arkhangelsk: Institute of Environmental Problems of the North, Ural Branch RAN, 2002, vol. 2, pp. 453–457. (In Russ.).
 15. Mityaev M.V. Modern exogenous processes of the northern coast of the Kola Peninsula. Biological processes and the evolution of marine ecosystems in the oceanic periglacial. Thes. reports International scientific conference. (Murmansk, Russia) Murmansk: 1996, pp. 50–51.

REFERENCES

1. *Atlas Murmanskoi oblasti* [Atlas of the Murmansk Region]. Moscow: Ed. GUGK, NIGEL Leningrad State University, 1971. 33 p.

16. *Mityaev M.V.* Geological environment and features of its structure. Kola Bay: oceanography, biology, ecosystems, pollutants. Apatity: Ed. KSC RAS, 1997. pp. 28–36. (In Russ.).
17. *Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Druzhkov N.V.* Some features of the dynamics of suspended matter in the waterways of the Murmansk coast Sedimentological processes and the evolution of marine ecosystems in marine periglacial conditions. Apatity: Ed. KSC RAS, 2001. P. 63–73. (In Russ.).
18. *Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Druzhkov N.V.* Transport of suspended matter in the watercourses of the Murmansk coast. *Water resources*. 2005, vol. 32, no. 3, pp. 301–306. (In Russ.).
19. *Mityaev M.V., Gerasimova M.V.* *Sovremennye ekzogennye processy. Karel'skii bereg Kandalakshskogo zaliva Belogo moria* [Modern Exogenous Processes. Karelian Coast of the Kandalaksha Gulf of the White Sea]. Apatity: Ed. KSC RAS, 2010. 102 p.
20. *Mityaev M.V.* *Murmanskoe poberezh'e (geologo-geomorfologicheskie i klimaticheskie osobennosti, sovremennye geologicheskie protsessy)* [Murmansk Coast (Geological-geomorphological and Climatic Features, Modern Geological Processes)]. Apatity: Ed. KSC RAS, 2014. 226 p.
21. *Myasnikov V.P., Karel'skaia A.G.* *Vzves' i biogennye elementy v morskikh vodah beregovoi zony Murmana* [Suspension and Biogenic Elements in the Marine Waters of the Coastal Zone of Murman. *Biology of the Barents and White Seas*. Apatity, 1979, pp. 60–65.
22. *Sistema Belogo morya (rasseyannyy osadochnyy material, potoki veshchestva, mikrobnye protsessy i zagryazneniya atmosfery)* [The White Sea System (Dispersed Sedimentary Material, Substance Flows, Microbial Processes and Atmospheric Pollution)]. Moscow.: New World, 2013. V. III. 784 p.
23. *Strahov N.M.* Main features of nutrition of modern intercontinental reservoirs with sedimentary material. *Formation of sediments in modern reservoirs*. Moscow: AN SSSR, 1954, pp. 35–80. (In Russ.).
24. *Shevchenko V.P., Severina O.V., Majorova N.G et al.* Quantitative distribution and composition of suspended matter in the estuaries of the Ob and the Yenisei. *Bulletin of the Moscow State University. Ser. 4. Geology*. 1996, no 3 pp. 81–86. (In Russ.).
25. *Dolotov Yu. S., Kovalenko V.N., Lifshits V. Kh. et al.* On the dynamics of water and suspension in the Keret' River estuary (the Karelian coast of the White Sea). *Oceanology*. 2002, vol. 42, no 5, pp. 731–740. (In Russ.).
26. *Koukina S.E., Calafal-Frau C., Hummel H. et al.* Trace metals in suspended particulate matter and sediments from the Severnaya Dvina estuary, Russian Arctic. *Polar Record*, 2001, no. 37 (202), pp. 249–256. (In Russ.).