

СТОК ВОДЫ, ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭРОЗИИ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ КАРЕЛЬСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ)

© 2023 г. М. В. Митяев^а *, М. В. Герасимова^а

^аМурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

*e-mail: mityaev@mmbi.info

Поступила в редакцию 28.09.2022 г.

После доработки 20.10.2022 г.

Принята к публикации 03.11.2022 г.

С целью определения скорости понижения водосборных пространств Карельского побережья в период 2005–2017 гг. проведены круглогодичные наблюдения водотоков, впадающих в губы Чупа, Медвежья, Кереть и Летняя Белого моря. В реках и ручьях исследовались сезонные и годовые изменения расхода воды и концентраций взвешенных веществ. Выявлено, что речной водный сток не превышает 2.5 км^3 , а ручьевой – 45 млн м^3 в год. Годовой водный сток распределяется следующим образом: в весеннее половодье в среднем выносится $40 \pm 2\%$, в осенний паводок – $33 \pm 1\%$, в летнюю межень – $23 \pm 1\%$. Несмотря на большую продолжительность зимнего периода, зимний водный сток никогда не превышает 8% от годового стока. По концентрации взвеси реки и ручьи Карельского побережья относятся к водотокам с чистой водной массой: среднеголетняя концентрация взвешенного вещества в них составляет $3.30 \pm 0.95 \text{ мг/л}$. Выявлено, что суммарный речной сток взвешенного вещества составляет 6.5 тыс. т в год, ручьи за год выносят менее 500 т взвесей. Исходя из полученных данных, проведены оценки модуля стока взвешенного вещества и скорости эрозии водосборных пространств. Среднеголетний модуль стока взвешенного вещества в среднем составляет $1.98 \pm 0.31 \text{ т км}^{-2} \text{ г.}^{-1}$, скорость эрозии – $1.1 \pm 0.17 \text{ мкм г.}^{-1}$ ($n = 382$). Низкий модуль стока и медленная скорость понижения водосборных площадей обусловлены географическим положением и геолого-геоморфологическим строением Карельского побережья.

Ключевые слова: Карельское побережье, водный сток, взвешенные вещества, модуль стока взвешенного вещества, скорость эрозии

DOI: 10.31857/S2587556623010120, EDN: LKOUFG

ВВЕДЕНИЕ

Изучение динамики взвешенного вещества (ВВ), выносимого водными артериями, – важное звено комплексного исследования современного осадконакопления и актуально в связи с малой изученностью этой проблемы в регионе, особенно зимний период года. Материковые воды – это не только главный фактор понижения водосборных пространств, но одно из главных богатств северной Карелии. Изменение объемов водного стока, концентраций взвешенного вещества в водотоках непосредственно связаны с региональными изменениями природной среды и климата (Филатов и др., 2012), что требует систематических наблюдений за водными артериями с целью своевременного реагирования на возможные негативные изменения.

Первые результаты комплексного исследования малых водотоков Карельского побережья были освещены в работе (Митяев, Герасимова, 2010). Цель настоящей работы – определить скорость понижения водосборных пространств Ка-

рельского побережья. Для достижения поставленной цели на протяжении двенадцати лет изучались сезонные и годовые изменения расхода воды и концентрации взвешенного вещества водотоков, впадающих в губы Чупа, Медвежья, Кереть и Летняя Карельского побережья. На основе полученных данных определялся модуль твердого стока (Гордеев, 2012) и проводилась оценка скорости понижения водосборных пространств (Кукал, 1987).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2005–2017 гг. Методика полевых измерений включала в себя отбор проб воды в пластиковую емкость объемом 2 л , определение скорости течения воды в водотоках (поплачковым методом) и живого сечения русла водотоков (прямым замером) в замыкающем створе, выше сизигийного прилива. Во всех ручьях и р. Летняя пробы отбирались с берега с глубины $5\text{--}10 \text{ см}$, в р. Кереть – в середине русла с

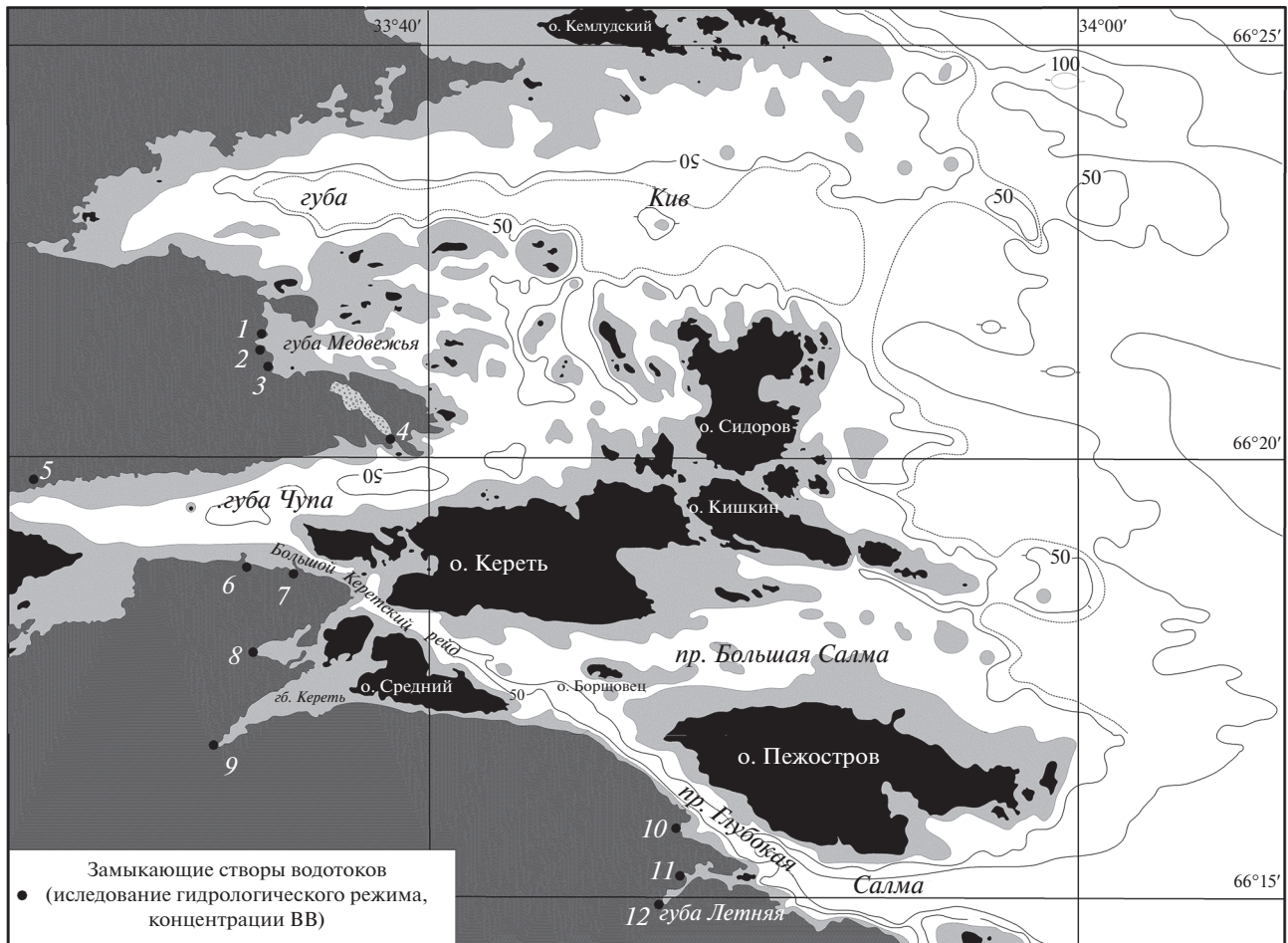


Рис. 1. Схема района исследований. Замыкающие створы водотоков: 1 – руч. 4-й Медвежий; 2 – руч. 3-й Медвежий; 3 – руч. 2-й Медвежий; 4 – руч. Кривой; 5 – руч. Оленчик; 6 – руч. Лисий Нос; 7 – руч. Коровья Варака; 8 – руч. Лебязжий; 9 – р. Кереть; 10 – руч. Яжевников; 11 – руч. Летний; 12 – р. Летняя.

глубины 0.2–0.3 м. Расход воды (в м³ в сутки) вычислялся, исходя из скорости течения воды и площади сечения русла.

Фильтрация проб воды проводилась через предварительно подготовленные ядерные фильтры с размером пор 0.45 мкм и диаметром рабочей поверхности 47 мм. Фильтры с ВВ высушивались в сушильном шкафу при температуре 40–60°C и повторно взвешивались для определения концентрации ВВ. Параллельно почвенным термометром с ценой деления 0.2°C измерялась температура воды. Проведено более 380 наблюдений скорости течения и живого сечения русел 7 водотоков, еще в 5 водотоках проведены единичные расчеты расхода воды за летне-осенний период (рис. 1).

Для изучения ВВ с мая по ноябрь пробы воды отбирались 1–2 раза в месяц (р. Кереть, ручьи 2-й и 4-й Медвежий, Кривой, Оленчик, Лисий Нос, Коровья Варака) и еще в 5 водотоках с июня по сентябрь в течение двух лет раз в месяц (р. Лет-

няя, ручьи 3-й Медвежий, Летний, Яжевников, Лебязжий). В зимний период пробы воды отбирались раз в месяц в марте–апреле. В весеннее половодье 2012–2013 гг. пробы воды отбирались с конца апреля по середину мая раз в 3–5 дней (ручьи Оленчик, Кривой, 2-й и 4-й Медвежий).

Оценка скорости понижения водораздельных пространств осуществлялась через модуль твердого стока (Гордеев, 2012; Страхов, 1954), по модернизированной формуле С. Джадсона и Д. Риттера (Кукал, 1987): $E = \rho \sum M_i / (\delta - \Delta)$, где M_i – модуль твердого стока (т с км² за единицу времени), δ – плотность вещества, Δ – плотность среды, ρ – безразмерный коэффициент учитывающий уклон поверхности, растительный покров, площадь и мощность рыхлых отложений. Модуль твердого стока M_i определяется через расход воды за единицу времени (Q_i), и среднюю концентрацию ВВ в единицу времени (P_i): $M_i = \sum Q_i P_i$.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОТОКОВ

Особенности водотоков и их русел

Большинство водотоков Карельского побережья представляют собой болотно-озерно-речные (ручьевые) системы, питание которых в основном осуществляется атмосферными осадками. Часть малых водотоков (ручьев) пересекают только болотные массивы. Из двенадцати изученных водотоков шесть представляют собой болотно-ручьевые системы (ручьи Оленчик, Лисий Нос, Коровья Варака, ручьи, впадающие в губу Медвежья); остальные водотоки вытекают из озерных котловин (рр. Кереть и Летняя, ручьи Кривой, Лебяжий, Яжевников и Летний). Протяженность русел ручьев изменяется от первых километров (ручьи Кривой, Лебяжий и Коровья Варака) до 10 км, протяженность р. Кереть более 130 км, р. Летняя – около 30 км. Площадь водосборных бассейнов ручьев, впадающих в губу Медвежья, – 8–10 км² каждого, ручьев, впадающих в губу Чупа – от 3 км² (ручей Коровья Варака) до 15 км² (ручей Оленчик). Площадь водосборных бассейнов ручья Яжевников и ручья Летний – около 10 км². Площадь водосбора р. Кереть – около 250 км², р. Летняя – около 65 км².

Русла водотоков извилисты, глубина русел изменяется от 0.02 до 1.5 м, ширина от 0.4 до 4 м (кроме р. Кереть – ширина 30 м в меженный период). Русла выработаны в позднеплейстоцен-голоценовых рыхлых отложениях ледникового и морского генезиса мощностью 5–7 м, водоупорным горизонтом служат гранито-гнейсы Беломорского комплекса (Митяев, Герасимова, 2010; Система ..., 2010).

По характеру уклона русел ручьи относятся к равнинным водотокам с малой скоростью течения. Лишь в устьевых частях водотоков происходит увеличение уклона русла до 5–7 м/км. Средний уклон русел ручьев – 1–2 м/км. В замыкающем створе р. Летняя уклон достигает 10 м/км, р. Кереть – 14 м/км, ручья Кривого – 30 м/км. Наиболее характерен U-образный профиль русла. У ручьев, берущих начало в болотных массивах, в верхнем течении часто наблюдается не одно, а несколько русел. Каждое русло в пределах болотного массива представляет собой цепочку мочажин, на границе леса и болота мочажин формируют небольшую топь, откуда ручьи вытекают одним потоком. Часто в верховье ручья отдельные участки русла перекрыты болотной растительностью, отчего оно приобретает четковидный характер. Ручей Коровья Варака, самый небольшой водоток, представляет собой переходный тип водотоков, от временных (ephemeral stream) к постоянным. Наиболее характерен данный тип водотоков для островов, они часто функционируют

только в теплый период года, но в мягкие зимы могут функционировать круглый год.

Термический режим водотоков

Термический режим водотоков предопределен климатом и разделен на два этапа, примерно равных по продолжительности. Первый – зимний устойчивый ледостав, второй – летний прогрев воды. Зимний продолжается около пяти месяцев (с конца ноября до середины апреля), в это время температура воды в водотоках около 0°C (до 0.5°C). Русла ручьев нередко промерзают до дна (способствуя донной эрозии) и сток либо прекращается совсем, либо осуществляется по русловым бороздам (нередко формируемым в бортах русел, что усиливает боковую эрозию). Одно из главных явлений зимнего ледостава, влияющего на эрозию водосборов, – весеннее вскрытие льда и сопровождающий его паводок. Продолжительность весеннего паводка не превышает трех недель и сопровождается максимальной скоростью прогрева воды $0.29 \pm 0.02^\circ\text{C}$ в сутки.

В безледный период года, вплоть до начала августа, скорость прогрева воды не превышает 0.15°C в сутки (в июне – $0.12 \pm 0.02^\circ\text{C}$ в сутки, в июле – $0.07 \pm 0.01^\circ\text{C}$ в сутки), а к концу июля температура воды в водотоках поднимается до 16–20°C. Начиная с августа температура воды в водотоках начинает снижаться со средней скоростью $0.12 \pm 0.02^\circ\text{C}$ в сутки (в августе – $0.09 \pm 0.01^\circ\text{C}$ в сутки, в сентябре – $0.10 \pm 0.01^\circ\text{C}$ в сутки, в октябре – $0.12 \pm 0.03^\circ\text{C}$ в сутки, в ноябре – $0.15 \pm 0.02^\circ\text{C}$ в сутки), и к первым заморозкам (начало октября) опускается до 6–8°C, а к концу ноября не превышает 0.5°C. Необходимо отметить, что в июне-июле может фиксироваться снижение температуры воды в водотоках, а в сентябре–октябре повышение (в связи с изменениями температуры воздуха).

Изменения скорости течения воды в водотоках

Скорость течения воды в замыкающих створах водотоков в течение года изменяется в широких пределах, но максимально зафиксированные скорости не превышают 3 м/с, в ручьях среднегодовая скорость течения воды составляет 0.5 ± 0.15 м/с, в реках – 1.6 ± 0.09 м/с.

Самое медленное течение воды в водотоках наблюдается в зимнюю межень – в среднем 0.4 ± 0.06 м/с. В летнюю межень и осенний паводок средние скорости течения воды достоверно не отличаются (летом – 0.95 ± 0.09 м/с, осенью – 1.05 ± 0.12 м/с). Летом постоянно отмечаются кратковременные паводки, вызванные атмосферными осадками, при этом скорость течения воды меняется скачкообразно. Иногда наблюдаются длительные “засухи”, когда часть водотоков пересыхает.

Таблица 1. Сток воды в районе исследований, млн м³ г.⁻¹

Год	<i>n</i>	Речной	Суммарный ручьевой	Ручьев губы Чупа	Ручьев губы Медвежья
2005	15		35.1	19.7	5.8
2006	21		48.0	29.2	7.0
2007	25		56.6	35.8	7.7
2008	18		44.4	25.7	6.9
2009	32	1861	51.4	27.2	9.0
2010	39	545	29.8	15.8	5.1
2011	43	611	25.1	13.9	4.1
2012	45	2306	64.1	31.0	12.4
2013	25	917	29.2	13.8	5.8
2014	33	1421	20.9	12.4	3.1
2015	30	2148	44.5	19.6	8.1
2016	32	1230	39.8	21.9	6.6
2017	24	1947	68.8	42.5	9.7

Максимально высокие скорости течения воды фиксируются в весеннее половодье, в среднем 1.3 ± 0.25 м/с. В это время средняя скорость течения составляет 0.8 ± 0.2 м/с в ручьях и 2.2 ± 0.4 м/с в реках. При этом суточные изменения температур воздуха (заморозки, оттепели со снеготаянием) оказывают сильное влияние на уровень воды в водотоках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сток воды и его сезонное распределение

Пресный сток в губы Чупа и Медвежья не оказывает влияния на формирование морских поверхностных вод. Объем пресного стока в устьевую (восточную) часть губы Чупа изменяется от 12 до 36 млн м³ г.⁻¹ (в зависимости от водности года, табл. 1), что составляет 2–3% от объема морских вод в данной части губы и почти в 2 раза меньше, чем поступает морской воды в стадию прилива за сутки (Бурдыкина, 1949; Dolotov et al., 2002). В губу Медвежья поступает меньше пресных вод (3–12 млн м³ г.⁻¹), но объем пресного стока составляет 6–11% от объема морских вод и сопоставим с объемом морской воды, поступающей в губу в стадию прилива за сутки.

Иная ситуация наблюдается в губе Кереть (см. табл. 1), здесь пресный сток в среднем составляет 940 ± 50 млн м³ г.⁻¹, что в 50 раз больше, чем емкость губы. В сутки в губу в среднем поступает одинаковое количество пресных и морских вод. Поэтому в верхнем двухметровом слое воды соленость не превышает 7‰, и эти опресненные воды заполняют более 50% емкости губы (Долотов и др., 2005; Примаков и др., 2009; Dolotov et al., 2002). Речные воды оказывают влияние на формирова-

ние поверхностных вод и за пределами губы (в проливе Большой Керетский рейд), на западе пресные воды достигают губы Чупа, на востоке – острова Боршовец (S‰ поверхностных вод не превышает 20‰) (Dolotov et al., 2002).

Таким образом, суммарный сток р. Кереть превышает 95% от общего пресного стока в данной части Карельского побережья, но в губах Чупа и Медвежья пресные воды ручьевого происхождения.

Наименее детально изучена губа Летняя. Здесь годовой пресный сток на порядок больше емкости губы. В прилив соленость поверхностных вод в губе незначительно отличается от солености поверхностных вод в сопредельном проливе Глубокая Салма (около 26‰). Только во внутренней части губы (в месте впадения р. Летняя) распределение поверхностных вод достигает 10–17‰.

Внутригодовое распределение стока воды характеризуется следующими особенностями. Во-первых, во всех водотоках в зимнюю межень сток воды минимальный (не превышает 8% от стока за год, табл. 2), что характерно для речных систем водосбора Белого моря (Система ..., 2010). Во-вторых, на реках нет четко выраженного осеннего паводка, что также характерно для водотоков Белого моря (Система ..., 2010). В-третьих, в ручьях озерного питания (ручьи Кривой, Яжевников) нет четко выраженного летнего меженного периода – весной, летом и осенью происходит равномерный сток воды.

Часть небольших ручьев болотного питания (сток менее одного млн м³ г.⁻¹) на 2–3 зимних месяца перемерзают, а летом пересыхают и не функционируют как водотоки. Летние “засухи” отме-

Таблица 2. Внутригодовой расход воды водотоков Карельского побережья

Водоток	<i>n</i>	Годовой сток, м ³ × 10 ⁶	<i>n</i>	Зима, %	<i>n</i>	Весна, %	<i>n</i>	Лето, %	<i>n</i>	Осень, %
р. Кереть	25	942 ± 49	1	5	3	34–38	13	27–29	8	29–33
р. Летняя	8	68 ± 2	1	5	2	39	3	26–27	2	28–31
Ручьи										
Летний	8	7.21	1	4	2	41	3	23	2	32
Оленчик	50	7.08 ± 0.55	8	2–3	4	45–49	22	15–18	16	33–35
2-й Медвежий	60	2.32 ± 0.03	9	3–4	11	41–43	24	16–17	16	31–33
Кривой	51	1.68 ± 0.10	10	7–8	5	31–35	23	28–30	13	29–33
4-й Медвежий	63	1.18 ± 0.05	9	2–6	11	35–40	23	20–23	20	35–38
Яжевников	8	1.14	1	5	2	34	3	30	2	31
Лисий Нос	41	0.27 ± 0.04	6	5–8	2	29–36	21	24–29	12	31–37
Коровья Варака	46	0.06 ± 0.02	8	0–1	2	46–55	22	17–19	14	27–36
Лебяжий	8	0.12	1	0–1	2	43	3	22	2	34

чаются раз в 4–6 лет (длительностью до 30 сут), а зимнее промерзание — раз в два-три года.

Расход воды в весенне-летний период зависит от масштаба водотока, а в осенне-зимний период не зависит. Так в весеннее половодье в среднем выносятся 40 ± 2% от объема водной массы, выносимой за год. В крупных (расход воды 1–50 млн м³ г.⁻¹), малых и временных ручьях (расход воды <0.1 млн м³ г.⁻¹) этот показатель составляет 47 ± 2% (см. табл. 2). В ручьях среднего масштаба (расход воды 0.1–1 млн м³ г.⁻¹) и реках (расход воды >50 млн м³ г.⁻¹) — 36 ± 1.5% (см. табл. 2). В летнюю межень в среднем выносятся 23 ± 1% от объема водной массы, выносимой за год. В крупных, малых и временных ручьях этот показатель составляет 17 ± 0.5% (см. табл. 2), в ручьях среднего масштаба и реках — 26 ± 2.5% (см. табл. 2). Расход воды в осенний паводок в среднем составляет 33 ± 1% (максимально зафиксированный расход воды 38%, минимальный — 27%).

При детальном изучении стока воды 10 водотоков района (2005–2017 гг.) было выявлено, что речной сток не превышает 2.5 км³ в год, а ручьевой — 45 млн м³ в год. Во всех водотоках расход воды в зимнюю межень не превышает 8% от годового стока. Во многих ручьях сток воды зимой осуществляется по бороздам на поверхности льда, в результате образуются наледи, в несколько раз превосходящие ширину русел водотоков, что способствует денудации пойменных и террасовых уровней. Максимальный суточный расход воды приходится на весеннее половодье (>100 м³ в час в ручьях и >100 тыс. м³ в час в реках). Расход воды в весеннее половодье не превышает 55% от годового стока, а >70% весеннего стока происходит в течение 10–15 дней. Повышение уровня воды осенью происходит плавно и растягивается на

несколько недель. Сток воды в осенний паводок не превышает 40% от годового стока и связан с количеством атмосферных осадков. В летнюю межень суммарный сток воды в среднем составляет 1/4 от годового стока. Во всех водотоках летом наблюдаются мини-паводки, когда в результате продолжительных дождей и ливней резко повышается уровень и скорость течения воды. Продолжительность таких явлений может достигать нескольких суток. В засушливые годы сток многих малых и даже средних по масштабу ручьев прекращается. Максимальная продолжительность “засухи” составила 24 дня в 2011 г. и 32 дня в 2013 г.

Необходимо отметить, что весной наблюдается большое количество временных водотоков (до 12 на погонный километр береговой линии). Водный сток временных ручьев не превышает 100 м³ сут⁻¹, но в отдельных случаях может достигать 1 тыс. м³ сут⁻¹ (Митяев, Герасимова, 2010).

Среднегодовая и сезонная концентрация взвешенного вещества

В целом для водотоков Карельского побережья характерно низкое содержание взвешенного вещества, редко превышающее 15 мг/л (Долотов и др., 2005; Лисицын и др., 2003; Система ..., 2013; Dolotov et al., 2002), что в 2–6 раз ниже средней концентрации ВВ в крупных реках Арктического побережья (Бурдыкина, 1949; Гордеев, 2012, 1983; Лисицын, Шевченко, 2008; Шевченко и др., 1996). Концентрация ВВ в водотоках, впадающих в губы Чупа, Медвежья, Кереть и Летняя Карельского побережья, сопоставима с концентрацией ВВ в реках других побережий Белого моря, но более чем на порядок выше, чем концентрация ВВ в

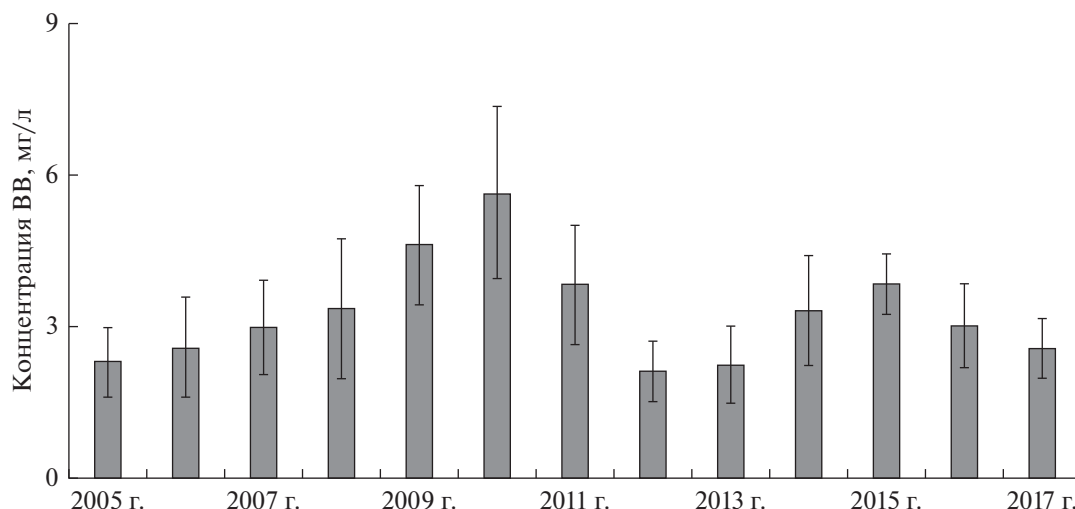


Рис. 2. Среднегодовые концентрации взвешенного вещества по всем изученным водотокам. Линиями показаны доверительные интервалы.

ультрачистых водотоках Мурманского побережья (Долотов и др., 2008, 2005; Лисицын и др., 2003; Лукашин и др., 2002; Митяев и др., 2005; Система ..., 2013; Dolotov et al., 2002; Koukina et al., 2001).

Концентрация взвешенного вещества в водотоках рассматриваемого района Карельского побережья в период 2005–2017 гг. изменялась от 0.12 до 46.82 мг/л, в среднем составляя 3.3 ± 0.95 мг/л (357 наблюдений (n) в 12 водотоках). При этом концентрации ВВ более 10 мг/л фиксировались 28 раз, менее 1 мг/л – 77 раз. Среднегодовые концентрации ВВ в водотоках постоянно изменялись, но никогда не наблюдались достоверные различия (рис. 2). Среднегодовая концентрация ВВ в районе исследования напрямую зависит от концентрации ВВ в ручьях ($r = 0.993$, по 7 водотокам за 13 лет). При этом изменение среднегодовых концентраций ВВ в конкретном водотоке ча-

сто происходит независимо от изменения концентрации ВВ в других водотоках (табл. 3).

Наиболее синхронно изменение среднегодовых концентраций ВВ происходило в ручьях Оленчик, Лисий Нос и Коровья Варака. Еще в двух водотоках (р. Кереть и 2-й Медвежий ручей) выявлена корреляционная связь в изменениях среднегодовых концентраций ВВ (см. табл. 3).

Менее значительны сезонные изменения концентрации ВВ в водотоках. Несмотря на то, что высокие концентрации ВВ могут наблюдаться в любой сезон года, только в весенний паводок они стабильно высокие, а средневесенние концентрации ВВ достоверно отличаются от других сезонов года (табл. 4). Зимой, летом и осенью среднесезонные концентрации ВВ достоверно не отличаются между собой (см. табл. 4). Минимально низкие концентрации ВВ наблюдаются во время дождей (лето–осень), это, вероятно, связано с

Таблица 3. Корреляционная матрица среднегодовых концентраций ВВ

	1	2	3	4	5	6	7	8	k	ρ	$r_{кр}$		
1		0.443	0.313	0.973	0.124	0.719	0.583	0.415	10	0.1	0.497		
2			-0.044	0.315	0.583	0.118	-0.244	0.712					
3				0.465	-0.384	0.158	0.256	0.001				0.05	0.576
4					0.078	0.576	0.435	0.406					
5						-0.082	-0.156	0.077				0.01	0.708
6							0.726	0.505					
7								-0.057				0.001	0.823
8													

Примечания. k – число степеней свободы; ρ – уровень значимости; $r_{кр}$ – критическое значение коэффициента корреляции Пирсона. 1 – среднегодовая концентрация ВВ в районе, 2–8 – среднегодовые концентрации ВВ в водотоках: 2 – руч. 2-й Медвежий, 3 – руч. 4-й Медвежий, 4 – руч. Оленчик, 5 – руч. Кривой, 6 – руч. Лисий Нос, 7 – руч. Коровья Варака, 8 – р. Кереть.

разбавлением атмосферными осадками поверхностных вод (в основном болотных), что отражает высокий коэффициент корреляции концентрации ВВ с суточным расходом воды. У шести водотоков ранговый коэффициент корреляции Спирмана между концентрацией ВВ и суточным расходом воды отрицательный $r = -0.338 \pm 0.081$ ($k = 149$, $r_{кр} = 0.21$, $\rho = 0.01$), еще у трех водотоков корреляционная связь отсутствует ($r = 0.103 \pm 0.056$, $k = 118$, $r_{кр} = 0.18$, $\rho = 0.05$). У ручья Кривой выявлена достоверная положительная корреляционная связь концентрации ВВ с суточным расходом воды ($r = 0.381$, $k = 47$, $r_{кр} = 0.37$, $\rho = 0.01$). Таким образом, в периоды дождей в водотоках концентрация ВВ снижается, а при длительном отсутствии атмосферных осадков повышается, часто эти изменения резкие. Следовательно, после весеннего паводка концентрация ВВ в водотоках постепенно снижается и, в целом, до следующего весеннего паводка изменяется незначительно, хотя постоянно фиксируются короткопериодические ее изменения, неразрывно связанные с изменением метеосудовий.

Никакой цикличности в многолетнем изменении среднегодовых концентраций ВВ не наблюдается. Можно констатировать, что в течение 6 лет (2005–2010 гг.) наблюдалось увеличение среднегодовых концентраций ВВ в водотоках (в пределах доверительных интервалов). В 2009–2010 гг. регистрировались максимально высокие среднегодовые концентрации ВВ. Затем в течение двух лет происходило их снижение, и в 2012–2013 гг. отмечались максимально низкие среднегодовые концентрации ВВ, далее в течение двух лет они вновь увеличивались, а затем стали снижаться (см. рис. 2).

В течение года концентрация ВВ в водотоках значительно варьирует (рис. 3). Поэтому для водотоков одного масштаба водного стока для каждого периода года были определены фоновые концентрации ВВ. Для крупного ручья Оленчик летние фоновые концентрации ВВ находятся в диа-

Таблица 4. Среднесезонные концентрации ВВ в водотоках

	<i>n</i> (количество замеров)	Реки	<i>n</i>	Ручьи
Зима	2	2.46 ± 0.81	53	4.72 ± 0.32
Весна	5	3.89 ± 0.52	41	5.74 ± 0.65
Лето	18	2.14 ± 0.19	148	4.49 ± 0.27
Осень	12	2.50 ± 0.33	103	4.23 ± 0.43

пазоне 6.5–20.5 мг/л, в ручьях среднего масштаба водного стока (ручьи губы Медвежья, ручьи Лисий Нос, Летний, Яжевников) – 2.2–7.4 мг/л, в малых ручьях (ручей Коровья Варака, Лебяжий и ручей Кривой) – 0.45–1.85 мг/л. Для рек (рр. Кереть и Летняя) летний фоновый диапазон концентрации ВВ составляет 1.5–2.7 мг/л.

В осенний и зимний периоды во всех водотоках диапазон фоновых значений концентрации ВВ сужается: в ручье Оленчик – до 6.0–18.5 осенью и до 3.5–15.3 мг/л зимой; в ручьях среднего масштаба – до 1.5–6.4 и 1.85–6.65 мг/л; в ручье Кривом – до 0.50–1.05 и 0.55–1.75 мг/л соответственно. В р. Кереть интервал осенних фоновых концентраций составляет 1.5–3.5 мг/л.

Во всех водотоках в весенний паводок наблюдаются резкие изменения концентрации взвешенного вещества (рис. 4), поэтому определить фоновые концентрации для этого периода года невозможно.

Таким образом, по результатам изучения концентрации ВВ в замыкающих створах водотоков района установлено:

1) в крупных ручьях (независимо от сезона года) вероятность обнаружения концентрации ВВ 5–20 мг/л составляет 0.667 ($\rho = 0.01$, $k = 51$). Вероятность обнаружения концентрации ВВ более 27 мг/л – 0.101, менее 2 мг/л – 0.044;

2) в ручьях среднего и малого масштаба водного стока (независимо от сезона года) вероятность обна-

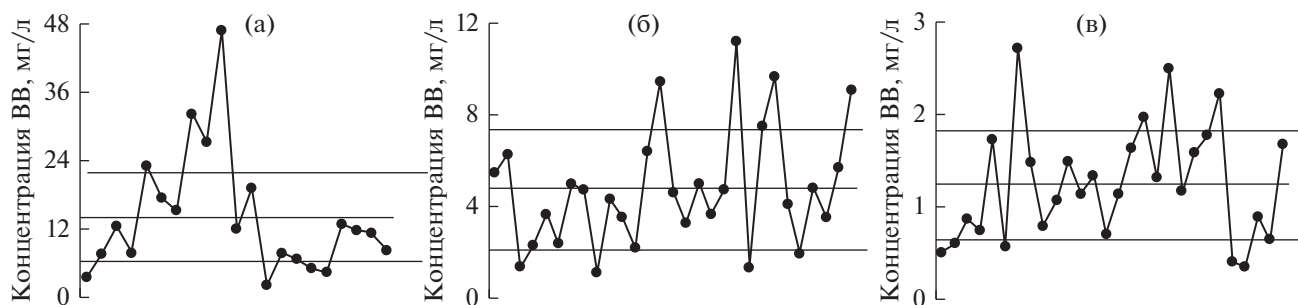


Рис. 3. Летние меженные концентрации взвешенного вещества в крупных (а), средних (б) и малых (в) ручьях. Средней линией обозначена средняя концентрация взвеси в водотоках указанных категорий; верхней и нижней горизонтальными линиями ограничены фоновые концентрации ВВ.

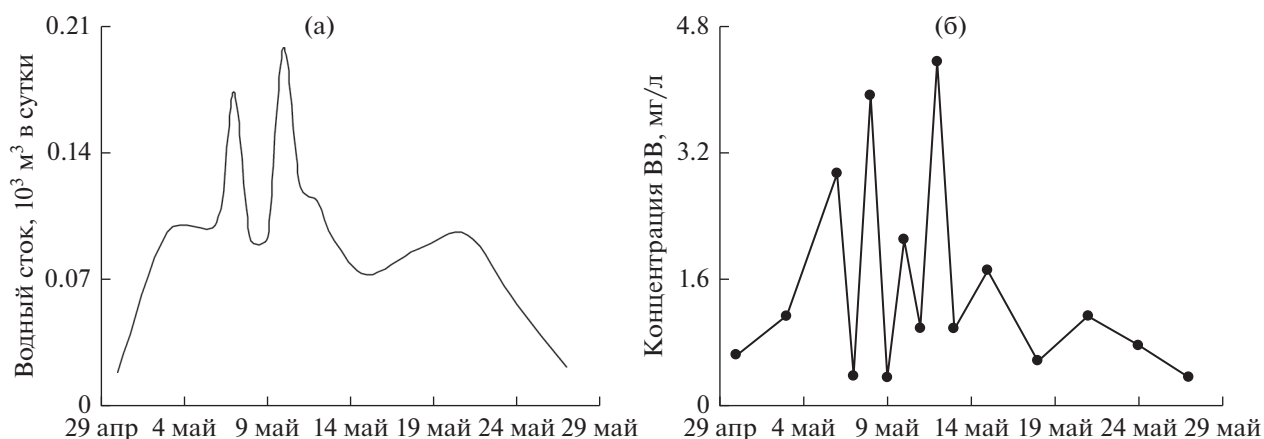


Рис. 4. Весеннее половодье 2012 г., руч. Кривой: (а) водный сток; (б) концентрация взвешенного вещества.

ружения концентрации ВВ 0.4–5.5 мг/л составляет 0.648–0.943 ($p = 0.01$, $k = 245$). Вероятность обнаружения концентрации ВВ более 7 мг/л – 0.043–0.121, более 10 мг/л – 0.019, менее 0.30 мг/л – 0.048–0.061;

3) в рр. Кереть и Летняя (независимо от сезона года) вероятность обнаружения концентрации ВВ 1.5–3.0 мг/л составляет 0.724 ($p = 0.01$, $k = 33$). Вероятность обнаружения концентрации ВВ более 4 мг/л – 0.051, менее 1 мг/л – 0.035.

Следовательно, по мутности водотоки Карельского побережья относятся к водотокам с чистой водной массой, так как концентрация ВВ в них на два порядка ниже, чем средняя концентрация ВВ в реках мира (Гордеев, 2012, 1983) и на порядок ниже, чем в крупных Сибирских реках (Бурдыкина, 1949; Шевченко и др., 1996), при этом она на порядок выше, чем в ультрачистых водотоках Мурманского побережья (Митяев и др., 2005; Митяев, Герасимова, 2018).

ВЫНОС ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА

Сток ВВ в бассейн седиментации определяется двумя показателями: расходом воды и концентрацией ВВ в водном потоке. Несмотря на это, ни суточный, ни годовой сток ВВ не имеет функциональной связи с концентрацией ВВ (коэффициент корреляции по 8 водотокам – 0.143 ± 0.10 ($r_{\text{сут}}$ – суточный) и 0.002 ± 0.21 ($r_{\text{год}}$ – годовой), при $p = 0.01$, $r_{\text{кр}} = 0.40$ и при $p = 0.05$, $r_{\text{кр}} = 0.31$), но у двух водотоков (р. Кереть и ручей 2-й Медвежий) выявляется слабая зависимость стока ВВ от концентрации ВВ в водотоках ($r_{\text{сут}} = 0.592$ ($k = 25$) и 0.478 ($k = 56$) и $r_{\text{год}} = 0.639$ и 0.769 ($k = 12$) соответственно). Таким образом, основное влияние на количество выносимого взвешенного вещества оказывает расход воды ($r_{\text{сут}} = 0.816 \pm 0.07$ и $r_{\text{год}} = 0.834 \pm 0.06$). Аналогичные зависимости были выявлены для водотоков Мурманского побе-

режья (Митяев и др., 2005; Митяев, Герасимова, 2018).

В год ручьи выносят от 100 до 490 т взвешенного вещества, в среднем 245 ± 32 т г.⁻¹. В это же время р. Кереть выносит от 1000 до 6300 т ВВ в год, в среднем 3050 ± 690 т г.⁻¹ (табл. 5), р. Летняя от 110 до 160 т ВВ в год, в среднем 130 ± 10 т г.⁻¹. Следовательно, ручьевой сток ВВ в среднем составляет 10% от общего твердого стока в районе, изменяясь от 5 до 20%.

В целом с 2005 по 2009 г. наблюдалось увеличение годового стока ВВ в ручьях, в 2009 г. был максимальный сток ВВ (493 т), далее происходило снижение твердого стока вплоть до 2014 г., в 2013–2014 гг. был минимальный твердый сток (104–108 т). Таким образом, выявляется некоторая цикличность стока ВВ, с периодом 5–6 лет. Подобная цикличность выявлена и для водотоков Мурманского побережья (Митяев, Герасимова, 2018). В р. Кереть минимальный твердый сток был в 2010–2011 гг. (1100–1150 т), а максимальный – в 2015 г. (6200 т) (см. табл. 5). Здесь также выявляется пятилетний цикл.

Очень четко в водотоках проявлен сезонный сток (табл. 6). В весеннее половодье и осенний паводок происходит сток 3/4 годового объема выносимого ВВ. Сток ВВ в летнюю межень не превышает 25%. Как уже отмечалось, минимальный сток ВВ происходит в зимнюю межень, что принципиально отличает водотоки района от водотоков Мурманского побережья, где зимний сток ВВ достигает 30% (Митяев, Герасимова, 2018).

Таким образом, сток ВВ в весенне-летний период года аналогичен стоку ВВ водотоками Мурманского побережья и северными реками России (Бурдыкина, 1949; Митяев, Герасимова, 2018). Сток ВВ в осенне-зимний период имеет принципиальные отличия.

Таблица 5. Сток ВВ в районе исследований, т г.⁻¹

Год	<i>n</i>	Речной	Суммарный ручьевой	Ручьи губы Чупа	Ручьи губы Медвежья
2005	15		227.6	203.9	5.5
2006	21		245.1	214.6	9.3
2007	25		345.8	290.2	17.9
2008	18		314.6	266.2	16.7
2009	32	3915	492.6	430.0	20.5
2010	39	1141	236.3	203.5	13.7
2011	43	1115	209.8	180.5	7.2
2012	45	4797	183.7	121.6	22.5
2013	25	1658	104.1	77.4	11.0
2014	33	2775	107.9	87.0	7.7
2015	30	6192	252.1	199.7	18.7
2016	32	2752	222.7	179.4	13.6
2017	24	3051	259.6	180.4	17.4

Можно выделить две особенности твердого стока взвешенного вещества в районе исследования:

1) минимальный среднесуточный сток ВВ происходит в зимнюю межень, которая продолжается с середины ноября до начала мая;

2) максимальный среднесуточный сток ВВ приходится на весеннее половодье (май). Во всех водотоках весной выносятся более 40% от годового стока ВВ.

ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные являются объективным показателем модуля твердого стока с водосборных пространств (Гордеев, 2012; Бурдыкина, 1949; Страхов, 1954). Модуль стока ВВ с водосборов изученного района изменяется от 0.05 до 23 т км⁻² г.⁻¹, в среднем составляя $1.98 \pm \pm 0.31$ т км⁻² г.⁻¹ ($n = 217$). На водосборных пространствах рр. Кереть и Летняя модуль стока ВВ в среднем составляет 1.29 ± 0.17 т км⁻² г.⁻¹. На водосборных пространствах крупных ручьев Оленчик и Летний модуль стока ВВ в среднем $6.98 \pm \pm 1.06$ т км⁻² г.⁻¹, при этом у ручья Оленчик отмечается максимальный для всего района модуль твердого стока. На водосборных пространствах ручьев среднего масштаба водного стока модуль твердого стока – 0.7 ± 0.13 т км⁻² г.⁻¹. Минимальный модуль твердого стока фиксируется у малых и временных ручьев, в среднем $0.05 \pm \pm 0.01$ т км⁻² г.⁻¹. Таким образом, у ручьев наблюдается увеличение модуля стока ВВ с увеличением масштаба водотока примерно на порядок (1 : 10 : 100). Модуль твердого стока рр. Кереть и Летняя сопоставим с модулем стока ВВ внутрен-

них водотоков Мурманского побережья (Митяев, Герасимова, 2018).

Модуль твердого стока непосредственно связан со скоростью понижения водосборных пространств. Исходя из полученных данных, скорость понижения водосборов изученного района оценивается в 0.01–12 микрон в год (мкм г.⁻¹), в среднем 1.1 ± 0.17 мкм г.⁻¹. Максимальная скорость наблюдается на водосборах крупных ручьев (до 12 мкм г.⁻¹), минимальная – на водосборах малых и временных ручьев (менее 0.1 мкм г.⁻¹). Скорость понижения водосборов рек (Кереть, Летняя) – 1.55 ± 0.46 мкм г.⁻¹, водосборов ручьев среднего масштаба – 0.47 ± 0.07 мкм г.⁻¹. Такие скорости понижения водосборов района сопоставимы со скоростью понижения водосборов Мурманского побережья (Митяев, Герасимова, 2018).

В целом низкая скорость понижения водосборных пространств исследованного участка Карельского побережья [средняя скорость понижения водосбора Белого моря – 5–6 мкм г.⁻¹ (Гордеев, 2012; Страхов, 1954)] предопределена геолого-геоморфологическим строением территории: компетентные к эрозии коренные горные породы, небольшая мощность и грубообломоч-

Таблица 6. Сезонный сток ВВ водотоков Карельского побережья, %

	<i>n</i>	Реки	<i>n</i>	Ручьи
Зима	2	7 ± 2	53	5 ± 1
Весна	5	41 ± 1	41	46 ± 3
Лето	16	23 ± 1	145	20 ± 1
Осень	10	29 ± 3	97	28 ± 2

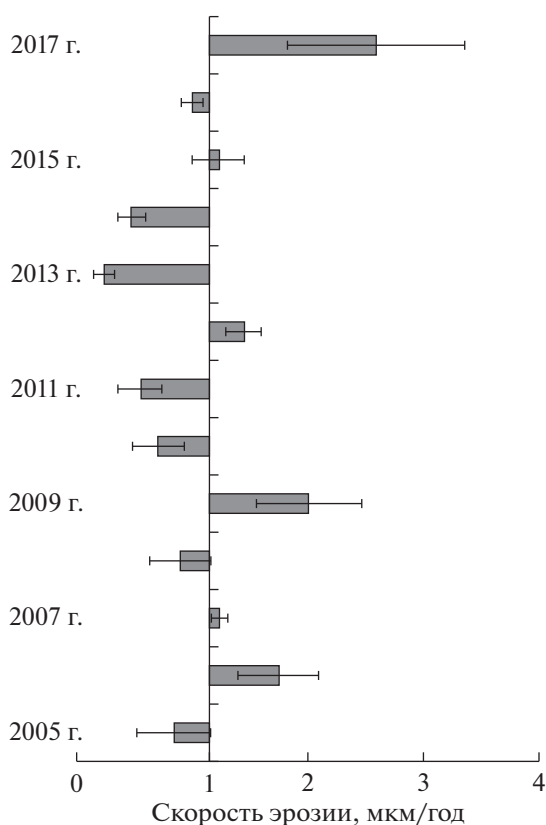


Рис. 5. Среднегодовые скорости эрозии водосбора рек и ручьев Карельского побережья. Линиями показаны доверительные интервалы.

ный состав рыхлых отложений, небольшие уклоны и слабая расчлененность рельефа (Система ..., 2010). Влияет также географическое положение региона, определяющее его климатические особенности [в первую очередь продолжительный зимний период (Климат ..., 2004; Система ..., 2010; Филатов и др., 2012)], когда эрозионная деятельность водотоков резко сокращена.

В изменение среднегодовой скорости понижения водосборных пространств выявляется одна закономерность: каждые три–пять лет фиксируется высокая скорость эрозии, достоверно отличающаяся от соседних годов (рис. 5). Так, высокие скорости понижения водосборов наблюдались четыре раза в 2006, 2009, 2012 и 2017 гг. Если до 2012 г. после усиления эрозионных процессов на водосборах происходило плавное снижение скорости эрозии, то в 2013 г. произошло ее резкое снижение, и наблюдалась минимально низкая за весь период наблюдения средняя скорость понижения водосборов (0.23 ± 0.03 мкм г.⁻¹). В последующий период (2013–2017 гг.) в целом наблюдалось постепенное усиление эрозионных процессов на водосборах, что не фиксировалось до этого.

ВЫВОДЫ

Подводя итог изучения гидрологического режима, концентраций и выноса взвешенного вещества водотоками, а также интенсивности эрозионных процессов на водосборных пространствах губ Чупа, Медвежья, Кереть и Летняя выделим главное:

- суммарный ручьевого сток воды не превышает 45 млн м³ г.⁻¹, речной сток не превышает 2.5 км³ г.⁻¹;
- максимальный сток воды происходит в весенний паводок и достигает 55% от годового стока;
- в крупных ручьях вероятность обнаружения концентрации взвешенного вещества 5–20 мг/л составляет 0.667;
- в средних и малых ручьях вероятность обнаружения концентрации взвешенного вещества 0.4–5.5 мг/л составляет 0.648–0.943;
- в реках вероятность обнаружения концентрации взвешенного вещества 1.5–3.0 мг/л составляет 0.724;
- отмечается высокая частота встречаемости концентрации взвешенного вещества более 27 мг/л (0.101);
- суммарный ручьевого сток взвешенного вещества в районе не превышает 500 т г.⁻¹, речной сток — 6500 т г.⁻¹;
- модуль твердого стока в водотоках не превышает 25 т км⁻² г.⁻¹ и в среднем составляет 2 т км⁻² г.⁻¹;
- скорость понижения водосборов не превышает 12 мкм г.⁻¹ (в среднем около 1 мкм г.⁻¹). Низкая скорость эрозии предопределена геолого-геоморфологическим строением территории и географическим положением региона (в первую очередь продолжительным зимним периодом).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят зав. ББС “Картеш” к. б. н. А.А. Сухотина, д. б. н. В.Я. Бергера, Е.И. Лихареву за помощь в выполнении работ.

FUNDING

The work was carried out within the framework of the state task of the Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the head of the White Sea Biological Station “Kartesh” Candidate of Biological Sciences A.A. Sukhotin, Doctor of Biological Science V.Ya. Berger, E.I. Likhareva for help in carrying out the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М.: И.П. Матушкина И.И., 2012. 452 с.
- Гордеев В.В. Речной сток в океане и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
- Бурдыкина А.П. Твердый сток рек Советской Арктики. Л., фонды ААНИИ, 1949. Т. 1. 160 с.
- Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П., Петров М.П., Толстиков А.В., Здорovenнов 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.
- 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., Здорovenнов Р.Э., Ратькова Т.Н., Сергеева О.М., Новигатский А.Н., Паутова Л.А., Филипьева К.В. Мониторинг приливоотливных обстановок в эстуариях Карельского побережья Белого моря // *Водные ресурсы*. 2005. Т. 32. № 6. С. 670–688.
- Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы / под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: Изд. КарНЦ РАН, 2004. 224 с.
- Кукал З. Скорость геологических процессов. М.: Мир, 1987. 246 с.
- 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. Лавров. М.: Наука, 2003. С. 556–607.
- Лисицын А.П., Шевченко В.П. Проект “Система Белого моря” – четырехмерное изучение морей // *Природа*. 2008. № 11. С. 81–82.
- Лукашин В.Н., Шевченко В.П., Клювиткин 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: Материалы междунар. конф. Архангельск: Ин-т экол. проблем Севера УрО РАН, 2002. Т. 2. С. 453–457.

- 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.
- Митяев М.В., Герасимова М.В. Современные экзогенные процессы. Карельский берег Кандалакшского залива Белого моря. Апатиты: Изд. Кольского науч. центра РАН, 2010. 102 с.
- Митяев М.В., Герасимова М.В. Сток воды, взвешенных веществ и интенсивность эрозии на Мурманском побережье // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2018. № 1. С. 111–128.
- Примаков И.М., Иванова Н.А., Ласовецкая О.А., Чернова Е.П. Исследования морского зоопланктона в Керетской губе // *Вестн. СПб. ун-та*. 2009. Сер. 3. Вып. 3. С. 135–145.
- Система Белого моря (природная среда водосбора Белого моря). М.: Научный мир, 2010. Т. I. 480 с.
- Система Белого моря (рассеянный осадочный материал, потоки вещества, микробные процессы и загрязнения атмосферы). М.: Научный мир, 2013. Т. III. 784 с.
- Страхов Н.М. Основные черты питания современных внутриконтинентальных водоемов осадочным материалом // *Образование осадков в современных водоемах*. М.: АН СССР, 1954. С. 35–80.
- Филатов Н.Н., Назарова Л.Е., Георгиев А.П., Семенов А.В., Анциферова А.Р., Ожигина В.Н., Богдан М.И. Изменения и изменчивость климата европейского Севера России и их влияние на водные объекты // *Арктика*. 2012. № 2 (6). С. 80–94.
- 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.
- Dolotov Yu.S., Kovalenko V.N., Lifshits V.Kh., Petrov M.P., Platonov A.V., Prego P., Rat'kova M.P., Filatov N.N., 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.
- Koukina S.E., Calafat-Frau A., Hummel H., Palerud R. Trace metals in suspended particulate matter and sediments from the Severnaya Dvina estuary, Russian Arctic // *Polar Record*. 2001. № 37 (202). P. 249–256.

Flow Waters, Suspended Matter and Speed of Erosion of Karelian Coast

M. V. Mityaev^{1,*} and M. V. Gerasimova¹

¹Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

*e-mail: mityaev@mmbi.info

To determine the rate of decline in the drainage areas of the Karelian Coast, in the 2005–2017 period year-round observations of watercourses flowing into the Chupa, Medvezhya, Keret and Letnaya bays of the White Sea were carried out. In rivers and streams, seasonal and annual changes in water discharge and suspended matter concentrations were studied. It was revealed that the river water runoff does not exceed 2.5 km³, and

the stream runoff does not exceed 45 mln m³ per year. The annual water runoff is distributed as follows: on average, 40 ± 2% is carried out during the spring flood, 33 ± 1% during the autumn flood, and 23 ± 1% during the summer low water. Despite the length of the winter period, the winter water runoff never exceeds 8% of the annual runoff. According to the suspended matter concentration, the watercourses of the Karelian Coast are classified as watercourses with a pure water mass, since the long-term average concentration of suspended matter in them is 3.30 ± 0.95 mg/L. It was revealed that the total river runoff of suspended matter is 6.5 thous. t per year; streams carry out less than 500 t of suspended matter per year. Based on the data obtained, an assessment was made of the module of suspended matter runoff and the rate of erosion of watersheds. The mean long-term modulus of suspended matter runoff averages 1.98 ± 0.31 t km⁻² per year, the erosion rate is 1.1 ± 0.17 μm per year (*n* = 382). The low runoff modulus and the slow rate of decline in the catchment areas are due to the geographical location and geological and geomorphologic structure of the Karelian Coast.

Keywords: Karelian Coast, suspended matter, module suspended matter yield, speed of erosion

REFERENCES

- Burdykina A.P. *Tverdyi stok rek Sovetskoi Arktiki* [Solid Runoff of the Soviet Arctic Rivers]. Leningrad: Funds of AANII, 1949, vol. 1. 160 p.
- Dolotov Yu.S., Filatov N.N., Shevchenko V.P., Petrov M.P., Tolstikov A.V., Zdorovenov R.E.H., Platonov A.V., Filippov A.S., Bushuev K.L., Kutcheva I.P., Denisenko N.V., Shtajin R., Zaukel' K. Comprehensive studies in the Onega Bay of the White Sea and the estuary of the Onega River in the summer. *Okeanologiya*, 2008, vol. 48, no. 2, pp. 276–289. (In Russ.).
- Dolotov Yu.S., Filatov N.N., Shevchenko V.P., Nemova N.N., Rimskij-Korsakov N.A., Denisenko N.V., Kutcheva I.P., Boyarinov P.M., Petrov M.P., Lifshits V.Kh., Platonov A.V., Demina L.L., Kukharev V.I., Kovalenko V.N., Zdorovenov R.E., Rat'kova T.N., Sergeeva O.M., Novigatskii A.N., Pautova L.A., Filipieva K.V., Nothig E.-M., Lorozzen C. Monitoring Tidal Conditions in Estuaries of the Karelian Coast of the White Sea. *Water Resour.*, 2005, vol. 32, no. 6, pp. 611–628.
- Dolotov Yu. S., Kovalenko V.N., Lifshits V.Kh., Petrov M.P., Platonov A.V., Prego P., Rat'kova M.P., Filatov N.N., Shevchenko V.P. On the dynamics of water and suspension in the Keret' River estuary (the Karelian Coast of the White Sea). *Okeanologiya*, 2002, vol. 42, no. 5, pp. 731–740. (In Russ.).
- Gordeev V.V. *Geokhimiya sistemy reka-more* [Geochemistry of the River-Sea System]. Moscow: MATUSHKINA I.I. Publ., 2012. 452 p.
- Gordeev V.V. *Rechnoi stok v okeane i cherty ego geokhimii* [River Runoff in the Ocean and Features of Its Geochemistry]. Moscow: Nauka Publ., 1983. 160 p.
- Filatov N.N., Nazarova L.E., Georgiev A.P., Semenov A.V., Anciferova A.R., Ozhigina V.N., Bogdan M.I. Changes and variability of the climate of the European North of Russia and their impact on water bodies. *Arktika*, 2012, no. 2 (6), pp. 80–94. (In Russ.).
- Klimat Karelii: izmenchivost' i vliyanie na vodnye ob'ekty i vodosbory* [Climate of Karelia: Variability and Impact on Water Bodies and Watersheds]. Filatov N.N., Ed. Petrozavodsk: KarSC RAS Publ., 2004. 224 p.
- Koukina S.E., Calafat-Frau A., Hummel H., and Palerud R. Trace metals in suspended particulate matter and sediments from the Severnaya Dvina estuary, Russian Arctic. *Polar Record*, 2001, no. 37 (202), pp. 249–256.
- Kukul Z. *Skorost' geologicheskikh protsessov* [Speed of Geological Processes]. Moscow: World Publ., 1987. 246 p.
- Lisitsyn A.P. Suspended matter and hydrooptics of the White Sea – new patterns of quantitative distribution and granulometry. In *Aktual'nye problemy okeanologii: Vzves' i gidrooptika Belogo morya – novye zakonomernosti kolichestvennogo raspredeleniya i granulometrii* [Actual Problems of Oceanology]. Shevchenko V.P., Burenkov V.I., Kopelevich O.V., Vasil'ev L.Yu., Laverov N.P., Eds. Moscow: Nauka Publ., 2003, pp. 556–607. (In Russ.).
- Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P. Project “White Sea System” – four-dimensional study of the seas. *Priroda*, 2008, no. 11, pp. 81–82. (In Russ.).
- Lukashin V.N. Suspended matter and fluxes in the Kandalaksha Bay of the White Sea. In *Ekologiya severnykh territorii Rossii. Problemy, prognoz situatsii, puti razvitiya, resheniya: Vzvesi i potoki veshchestva v Kandalakshskom zalive Belogo morya* [Ecology of the Northern Territories of Russia Problems, Forecast of the Situation, Ways of Development, Solutions]. Shevchenko V.P., Klyuvitkin A.A., Novigatskii A.N., Prego R., Eds. Arkhangel'sk: Institute of Ecological Problems of the North, UB RAS Publ., 2002, vol. 2, pp. 453–457. (In Russ.).
- Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Druzhkov N.V. Transport of Suspended Material in Streams of the Murmansk Coastal Area. *Water Resour.*, 2005, vol. 32, no. 3, pp. 270–275.
- Mityaev M.V., Gerasimova M.V. *Sovremennye ekzogennye protsessy. Karel'skii bereg Kandalakshskogo zaliva Belogo morya* [Modern Exogenous Processes. Karelian Coast of the Kandalaksha Bay of the White Sea]. Apatity: KSC RAS Publ., 2010. 102 p.
- Mityaev M.V., Gerasimova M.V. Runoff of water, suspended solids and erosion intensity on the Murmansk coast. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2018, no. 1, pp. 111–128. (In Russ.).
- Primakov I.M., Ivanova N.A., Lasoveckaya O.A., Chernova E.P. Research of marine zooplankton in the Keret Bay. *Vestn. St. Petersburg. Univ. Ser. 3*, 2009, ed. 3, pp. 135–145. (In Russ.).
- Sistema Belogo morya (prirodnaya sreda vodosbora Belogo morya)* [White Sea System (Natural Environment of the White Sea Watershed)]. Moscow: Nauchnyi Mir Publ., 2010, vol. I. 480 p.

- Sistema Belogo morya (rasseyannyi osadochnyi material, potoki veshchestva, mikrobnye protsessy i zagryazneniya atmosfery)* [The White Sea System (Dispersed Sedimentary Material, Matter Flows, Microbial Processes and Atmospheric Pollution)]. Moscow: Nauchnyi Mir Publ., 2013, vol. III. 784 p.
- Strakhov N.M. The main features of the nutrition of modern inland water bodies with sedimentary material. In *Obrazovanie osadkov v sovremennykh vodoemakh: Os-
novnye cherty pitaniya sovremennykh vnutrikontinental'nykh vodoemov osadochnym materialom* [Precipitation Formation in Modern Reservoirs]. Moscow: Akad Nauk SSSR, 1954, pp. 35–80. (In Russ.).
- Shevchenko V.P., Severina O.V., Majorova N.G., Ivanov G.I. Quantitative Distribution and Composition of Suspended Matter in the Ob and Yenisei Estuaries. *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Geol., Ser. 4*, 1996, no. 3, pp. 81–86. (In Russ.).