

Л.В. КУКСИНА

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия, ludmilakuksina@gmail.com

СТОК ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ РЕК КАМЧАТСКОГО КРАЯ

На основе методики, разработанной Н.И. Алексеевским для оценки транспорта влекомых наносов по перемещению пяти типов донных гряд в период половодья и межсезоний, выполнены расчеты стока влекомых наносов для замыкающих створов 60 рек, впадающих в Тихий океан, Берингово и Охотское моря на территории Камчатского края. Для 398 не изученных в гидрологическом отношении бассейнов сток влекомых наносов оценен по зависимости его модуля от площади водосбора. Определение модуля стока влекомых наносов для изученных рек показывает, что наибольшие значения величины характерны для рек с относительно небольшой площадью водосбора, часто имеющих горный или полугорный тип русла с галечно-валунным составом русловых отложений. Величина модуля стока влекомых наносов заметно снижается с ростом площади водосбора и с переходом от горных/полугорных к равнинным участкам рек. Установлено, что суммарный среднемноголетний сток влекомых наносов составляет около 18 млн т в год, что в 1,5 раза превышает сток взвешенных наносов. Установлено, что для бассейна р. Камчатки сток влекомых наносов выше для ее восточных притоков, дренирующих районы развития активного вулканизма. Исследование изменчивости стока влекомых наносов по длине р. Камчатки от истока к устью демонстрирует снижение его доли в суммарном стоке наносов при соответствующем переходе от горного к полугорному и равнинному типам русел. Показано, что для ряда горных рек, характеризующихся галечным и галечно-валунным составом отложений, доля влекомого материала в суммарном стоке наносов может приближаться к 100 %. Она снижается до 40–70 % в реках полугорного типа. Своих минимальных значений доля влекомых наносов в суммарном стоке достигает в больших равнинных реках и составляет 13–20 %.

Ключевые слова: влекомые наносы, сток, взвешенные наносы, методика Н.И. Алексеевского, соотношение, порядок реки.

L.V. KUKSINA

Lomonosov Moscow State University,
119991, Moscow, Leninskie gory, 1, Russia, ludmilakuksina@gmail.com

BED-LOAD YIELD OF THE RIVERS OF KAMCHATKA KRAI

Bed-load yield was estimated for 60 river cross-sections flowing into the Pacific Ocean, the Bering Sea and the Sea of Okhotsk in the Kamchatka krai territory on the basis of N.I. Alekseevskii method developed for bed-load transport assessment by the movement of five types of bottom ridges during floods and low-water periods. For 398 unstudied rivers bed load was assessed by the relationship between specific bed load yield and basin area. Estimates of the specific bed-load yield for the rivers studied show that the highest values are observed in rivers with a relatively small catchment area, often characterized by a mountainous or semi-mountainous type of channel with a pebble-boulder composition of channel sediments. Specific bed-load yield significantly decreases with increasing catchment area and with the transition from mountainous/semi-mountainous to plain sections of rivers. The total mean annual bed load yield is estimated at 18 mln t per year, and it exceeds suspended sediment yield by a factor of 1.5. A spatial analysis of bed load variability is made for the Kamchatka River basin. It was found that bed load is larger in eastern tributaries of the river draining areas of active volcanism in Kamchatka. Variability in bed load along the Kamchatka River shows a decrease in its proportion in the total sediment yield from the source to the mouth due to the channel changes from mountain to plain type. It has been demonstrated that for some mountain rivers with a pebble and pebble-boulder sediment composition, the share in the total sediment yield can approach 100 %. It decreases to 40–70 % in semi-mountain rivers. The share of bed-load material in the total sediment yield reaches its minimum values in large lowland rivers and is about 13–20 %.

Keywords: bed load, yield, suspended sediment, N.I. Alekseevskii method, ratio, river order

ВВЕДЕНИЕ

Современные исследования стока влекомых наносов указывают на большую вариабельность их доли в суммарном стоке наносов [1, 2]. Принято считать, что расход влекомых (G) наносов составля-

ет не более 1 % расхода взвешенных (R) при диаметре частиц менее 0,25 мм. В случае галечных и галечно-валунных отложений величина R/G возрастает до 5–10 % [3]. По данным З.Д. Копалиани [4], доля влекомых наносов в суммарном стоке речных наносов составляет 1–3 % для равнинных и 15–70 % для горных рек. Оценки последних десятилетий [5–7] показывают, что доля влекомых наносов изменяется в более широких пределах, сильно зависит от мутности речных вод и состава руслообразующих отложений.

В настоящее время существует целый ряд подходов к оценке стока влекомых наносов [8], включающих эмпирические расчетные модели, статистический подход А. Эйнштейна и механический подход А. Калинского [9], оценку по смещению грядовых форм рельефа. Тем не менее ввиду сложности выполнения натурных измерений, а также недостатков и точности расчетных методик [10], их измерения и расчеты проводятся достаточно редко, не входят в программу стандартных наблюдений сети и, как правило, выполняются в рамках отдельных научных и инженерных работ [11]. Для рек Камчатского края подобные исследования прежде не выполнялись, однако разнообразие природных условий на территории региона, в том числе типов водного и руслового режима рек, позволяет сделать вывод, что величина среднемноголетнего стока влекомых наносов характеризуется значительной пространственной изменчивостью.

Выполненные оценки стока взвешенных наносов [12] позволяют определить суммарный вынос твердого материала реками края в Тихий океан, Берингово и Охотское моря, а также изучить соотношение стока взвешенных и влекомых наносов рек региона, характеризующихся различными условиями на водосборе, в том числе с учетом такого специфического природного фактора, как активная вулканическая деятельность. В связи с этим основными задачами данной работой являются: 1) оценка стока влекомых наносов рек Камчатского края, включая водосборы, не изученные в гидрологическом отношении; 2) оценка суммарного стока наносов рек Камчатского края; 3) определение соотношения стока взвешенных и влекомых наносов в суммарном стоке наносов с исследуемой территорией, а также для отдельных рек, отличающихся площадью водосборов, условиями протекания; 4) оценка пространственной изменчивости среднемноголетней величины стока влекомых наносов по территории Камчатского края.

Обзор различных способов оценки стока влекомых наносов рек [13], в том числе не изученных в гидрологическом отношении, показывает обоснованность применения расчетных подходов, опирающихся на наиболее доступную гидрологическую информацию [14]. Данному требованию наилучшим образом отвечает методика, разработанная Н.И. Алексеевским [15] и модифицированная для галечных и гравийных русел [16], которая показала свою адекватность при расчетах на крупных реках европейской территории России, Сибири и Дальнего Востока [13]. Информационной основой исследования послужили данные стационарного мониторинга на постах Камчатского УГМС за период гидрометрических наблюдений (с 1930 г.), а также сведения, опубликованные в [14].

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемая территория включает в себя речные водосборы на территории Камчатского края. Регион характеризуется большим разнообразием природных факторов, что, в свою очередь, влияет на формирование и изменчивость характеристик стока влекомых наносов. Больше половины территории приходится на горные хребты и нагорья. Основная часть региона характеризуется значительными уклонами местности (для равнинных областей колеблется в пределах 25–100 %, для горных районов — 120–500 %), что оказывает значительное воздействие на транспорт твердых частиц.

Характеристики стока влекомых наносов во многом определяются климатическими параметрами территории, включающими увлажненность, изменчивость температуры воздуха, наличие многолетне-мерзлых пород. Наиболее интенсивная циклоническая деятельность наблюдается в южных районах полуострова, что вместе с орографическими особенностями территории сказывается на перераспределении количества осадков, максимум (1600–1800 мм в год) которых выпадает в горных районах юго-восточных областей края, а минимум (300–400 мм в год) приходится на северо-западные районы [17, 18].

Важную роль играют также почвенно-растительный покров и литологические особенности пород. На территории Камчатского края, преимущественно в центральных и восточных районах, наиболее распространенными являются вулканические почвы, которые занимают около 40 % территории и характеризуются максимальными показателями эродируемости [17]. Средними и низкими показателями эродируемости отличаются представленные в прибрежных районах и на севере региона глеевые, подзолистые и торфянистые почвы, а также подбуры, суммарно покрывающие почти 50 % территории.

Роль растительного покрова заключается в механическом сцеплении грунта корнями и в предохранении почвенного покрова от размывающего воздействия водных потоков. В условиях природы края тип растительности не оказывает существенного воздействия на характеристики стока влекомых наносов: густой растительный покров (залесенность водосборов достигает 80 %) предохраняет склоны от развития эрозии. Исключение составляют районы проявления активной вулканической деятельности, где растительный покров может полностью отсутствовать.

В регионе наиболее распространены (занимают около 40 % территории) вулканогенно-осадочные и эфузивные горные породы, характеризующиеся различной степенью устойчивости к размыву — от малой (неразмывающая скорость 0,3–2,0 м/с) до высокой (до 25 м/с).

Важным источником поступления материала для формирования стока наносов может служить развитие различных гравитационных процессов. Оползни, обвалы, осыпи на берегах рек являются источниками поступления в реки твердых частиц разного размера. Особенно велика их роль в формировании наносов в горных областях [16, 19]. На реках Камчатского края роль гравитационных процессов увеличивается на участках рек, где крутизна склонов долин достигает максимальных значений. Их развитие, в частности, характерно для верхнего и среднего течения рек вулканических территорий, борта которых сложены рыхлым и сыпучим материалом. Оползни часто сходят после выпадения продолжительных осадков. Наиболее ярко этот процесс выражен на реках вулканических территорий, на высотах от 1000 м, что связано с наличием здесь многолетних снежников и ледников. На Камчатке ледники и снежники покрыты чехлом из пирокластического материала, который при насыщении водой становится пластичным, что обеспечивает возможность его сползания по гладкой снежно-ледовой поверхности [19].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Систематические наблюдения за гидрологическими характеристиками на реках Камчатского края начались в 1930 г. Были открыты посты на реках Аваче (у г. Елизово) и Камчатке. Регулярные наблюдения за характеристиками стока наносов начались спустя десять лет, в 1940 г., когда были организованы измерения на постах р. Камчатка — пос. Ключи и р. Авача — Елизово, однако начатые исследования касались по большей части стока взвешенных наносов (по-прежнему проводятся на 20 постах). Согласно данным гидрологических ежегодников, систематические наблюдения за параметрами стока влекомых наносов на реках региона никогда не выполнялись. Эпизодические измерения расходов влекомых наносов проводились в течение нескольких лет (1940–1944 гг.) на ряде постов в среднем (пгт Козыревск, пос. Ключи) и нижнем (урочище Большие Щеки, с. Нижне-Камчатск) течении р. Камчатки, однако количество выполненных измерений, а также использованные методы определения не позволяют считать данную информацию надежной для расчетных целей.

Таким образом, оценка стока влекомых наносов рек Камчатского края проводилась по методике Н.И. Алексеевского [16]. Согласно данной методике, выделяется пять типов донных гряд (А, Б, В, Г, Д), перемещение которых в период половодья и межени и определяет транспорт влекомых наносов [16]. Наиболее крупные — гряды типа А, длина которых пропорциональна ширине русла, к ним относятся побочни. Гряды типа Д являются микроформами руслового рельефа, их длина сопоставима с глубиной потока. Гряды типов Б, В и Г занимают промежуточное положение и представляют собой мезоформы руслового рельефа. Обобщение данных о смещении этих гряд позволило выявить характер взаимосвязи их параметров с порядком реки (N_4), определяемым по методике Е.А. Черных [20], и установить, что в половодье в основном смещаются наиболее крупные гряды (А, Б, В), а в межень — гряды Г и Д. Определение высоты и скорости смещения гряд осуществляется в зависимости от порядка реки, средней скорости течения реки в данный гидрологический сезон, а также от эмпирических коэффициентов, обусловленных типом гряды и гидрологическим сезоном. Определение расхода влекомых наносов (G , кг/с), для каждого типа гряд в периоды половодья и межени производится по формуле:

$$G = kh_r C_r B\sigma,$$

где k — коэффициент формы гряды, равный 0,6; h_r — высота гряды, м; C_r — скорость ее смещения, м/с; B — активная ширина русла, м, в половодье равная меженной ширине русла B_m , а в межень — 0,8 ширины меженного русла; σ — плотность наносов, кг/м³, зависящая от состава русловых отложений.

Суммарный среднемноголетний сток влекомых наносов (W_G) за половодье и межень определяется по формуле:

$$W_G = W_{G_{\text{пол}}} + W_{G_{\text{меж}}} = T_{\text{пол}} \sum (kh_r C_r B_m \sigma b) + (365 - T_{\text{пол}}) \sum (kh_r C_r 0,8 B_m \sigma),$$

где $T_{\text{пол}}$ — продолжительность половодья, сут; b — коэффициент приведения, учитывающий соотношение между собственной и полной высотой гряды. Пример рассчитанных величин стока влекомых наносов приведен в табл. 1 для поста р. Камчатка — пос. Козыревск при следующих значениях параметров: $N_q = 8,28$, $B = 256$ м, средняя скорость течения реки в половодье составляет 0,71 м/с, в межень — 0,57 м/с, $\sigma = 1600$ кг/м³, $T_{\text{пол}} = 124$ сут.

Сведения для определения стока влекомых наносов были собраны для 60 створов на реках края (рис. 1). Расчет стока влекомых наносов для неизученных речных бассейнов на территории Камчатского края (398 бассейнов) производился по зависимости расхода влекомых наносов от площади водосбора (рис. 2) по формуле

$$G = 0,056 \lg F^{3,29},$$

где F — площадь водосбора, км². Коэффициент корреляции составил 0,75.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые для рек Камчатского края на основе методики Н.И. Алексеевского [16] были выполнены оценки стока влекомых наносов, что позволило оценить суммарное поступление твердого материала с территории региона, а также проанализировать соотношение R/G в суммарном стоке наносов.

Определение среднемноголетнего стока влекомых наносов в створе измерений осуществлялось в зависимости от состава руслового аллювия. В случае гравийно-галечных или валунных русел иерархическая структура содержит на один тип гряд меньше, чем песчаные русла. Также необходимо учитывать прекращение движения галечных гряд в период межени [15].

В табл. 2 приведены обобщенные сведения для крупнейших рек региона, впадающих в Тихий океан, Берингово и Охотское моря.

Анализ пространственного распределения модуля стока влекомых наносов для изученных рек показывает, что наибольшие значения его величины относятся к рекам со сравнительно небольшой площадью водосбора. Как правило, они характеризуются горным или полугорным типом русла с галечно-валунным составом русловых отложений. Величина модуля стока влекомых наносов заметно снижается с ростом площади водосбора и с переходом от горных/полугорных к равнинным участкам рек. Так, минимальные значения относятся к нижнему течению крупнейших рек региона — Камчатки (урочище Большие Щеки) и Пенжины (с. Каменское). Исключение составляют водотоки, дренирующие склоны и подножия действующих вулканов, где доля влекомого материала не превышает 40 %,

Таблица 1
Высоты, скорости смещения, расходы и сток влекомых наносов для различного типа гряд
(р. Камчатка — пос. Козыревск)

Характеристика	Фаза водного режима	Типы гряд				
		A	Б	В	Г	Д
h_r , м	Половодье	2,84	1,23	0,76	0,44	0,28
C_r , м/с		0,071	0,903	4,15	9,56	9,56
G , кг/с		49 400	274 000	778 000	1 040 000	652 000
$W_{G_{\text{пол}}}$, кг				262 000 000		
h_r , м	Межень	—	—	—	0,34	0,21
C_r , м/с		—	—	—	4,99	4,99
G , кг/с		—	—	—	336 000	202 000
$W_{G_{\text{меж}}}$, кг				130 000 000		
W , тыс. т				391		

Примечание. «—» — согласно методике Н.И. Алексеевского, в межень смещаются только гряды Г и Д.

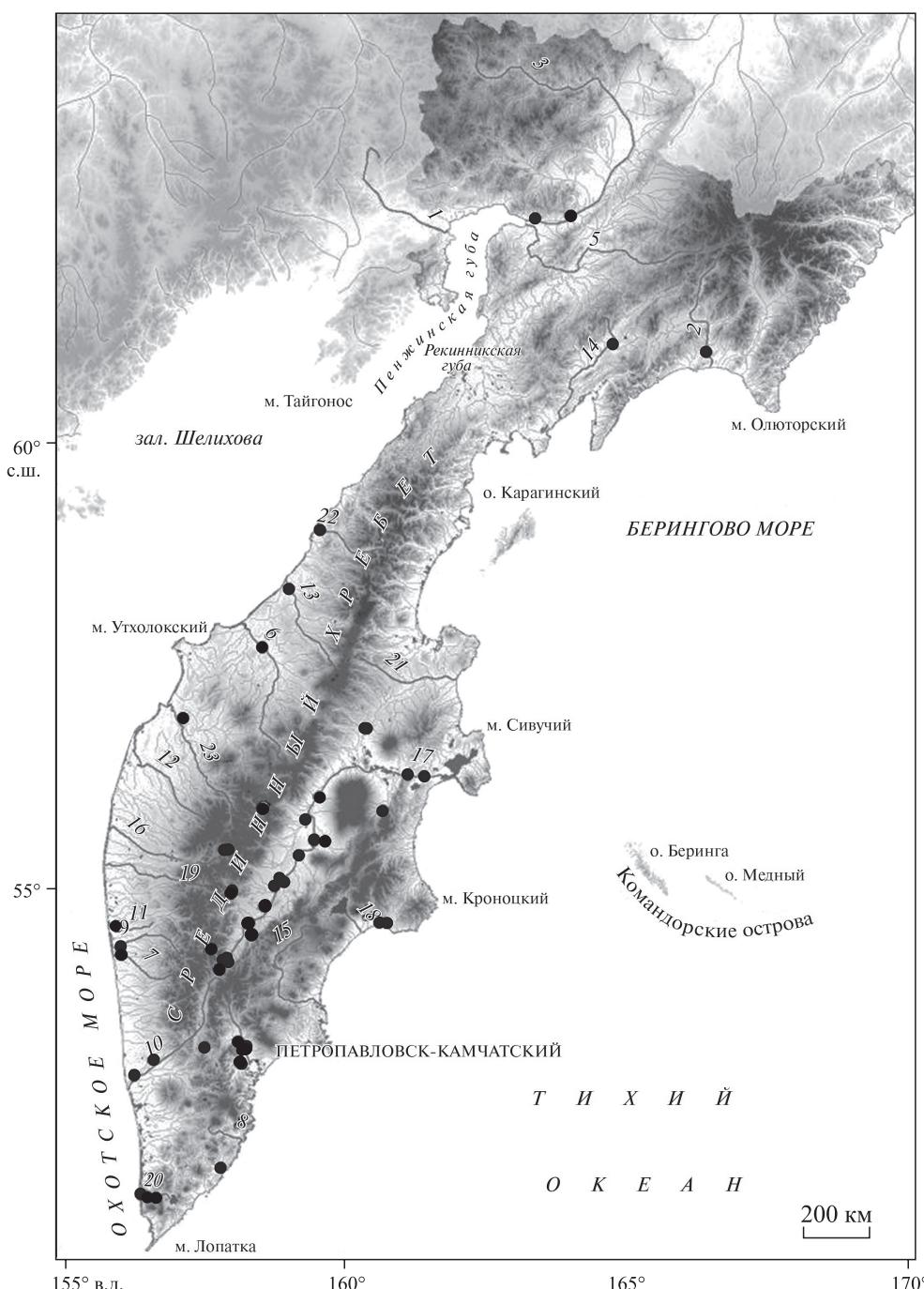


Рис. 1. Расположение створов (черные кружки) для расчета стока влекомых наносов на реках Камчатского края.

Реки: 1 — Парень, 2 — Пахача, 3 — Пенжина, 4 — Авача, 5 — Таловка, 6 — Тигиль, 7 — Удова, 8 — Асача, 9 — Большая Воровская, 10 — Большая (Быстрая), 11 — Брюмка, 12 — Фчун, 13 — Воямполка, 14 — Вывенка, 15 — Жупанова, 16 — Ича, 17 — Камчатка, 18 — Кроноцкая, 19 — Облуковина, 20 — Озёрная (западное побережье), 21 — Озёрная (восточное побережье), 22 — Палана, 23 — Хайрюзова.

что значительно меньше величин, характерных для рек, близких по размеру водосбора и протекающих в схожих условиях, но не испытывающих воздействия вулканических проявлений. Вероятно, это объясняется поступлением значительных объемов рыхлого вулканогенного материала, способного легко транспортироваться водными потоками во взвешенном состоянии.

Рис. 2. Зависимость расхода влекомых наносов от площади водосбора.

Анализ соотношения стока взвешенных и влекомых наносов позволил установить, что для ряда горных рек с галечным и галечно-валунным составом отложений доля влекомого материала в суммарном стоке наносов может приближаться к 100 %. Она снижается до 40–70 % в реках полугорного типа. Своих минимальных значений доля влекомых наносов в суммарном стоке наносов достигает в больших равнинных реках и составляет 13–20 %.

Наиболее изучен в отношении условий формирования стока влекомых наносов бассейн р. Камчатки, где представляется возможным проследить пространственную изменчивость стока влекомых наносов по длине реки. Расход влекомых наносов по длине р. Камчатки закономерно увеличивается от 3 до 14 кг/с. На рис. 3 видно, что с ростом площади водосбора происходит снижение модулей стока воды и влекомых наносов, в то время как модуль стока взвешенных наносов постепенно возрастает, причем наиболее резкое увеличение поступления взвешенных частиц наблюдается в районе Ключевской группы вулканов. Доля влекомого материала в суммарном стоке твердого вещества снижается от истока (98 %) к устью (15 %). Выполненные оценки для относительно крупных притоков Камчатки (рек Кавыча, Кирганик, Большая Кимитина, Китильгина, Щапина, Толбачик, Быстрая, Еловка) указывают на существенно большую величину модуля стока влекомых наносов восточных притоков ($42-163 \text{ т}/\text{км}^2$ в год) по сравнению с западными ($17,3-87,3 \text{ т}/\text{км}^2$ в год).

Расчет стока влекомых наносов для неизученных речных бассейнов на территории Камчатского края (398 бассейнов) производился по зависимости расхода влекомых наносов от площади водосбора. Согласно выполненным оценкам, суммарный сток влекомых наносов с территории Камчатского края составил $18,0 \times 10^6 \text{ т}/\text{год}$, что превышает сток взвешенных наносов с территории региона чуть более чем в 1,5 раза. Из них в Охотское море поступает около 47 %, в Берингово море — 32 %, в Тихий

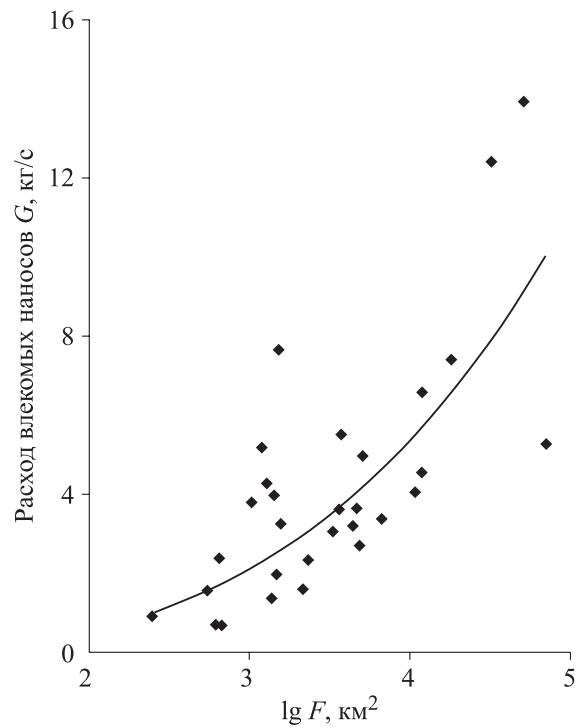


Таблица 2

Основные сведения о стоке наносов для крупнейших рек Камчатского края

Река – пост	$F, \text{км}^2$	N_q	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$R, \text{кг}/\text{с}$	$G, \text{кг}/\text{с}$	$(W_R + W_G), 10^3 \text{ т}/\text{год}$	$W_G/(W_R + W_G), \%$
Тихий океан							
Камчатка – Большие Щеки	51 600	9,04	913	94,3	13,9	2960	15
Камчатка – Козыревск	32 500	8,28	483	101	12,4	2310	17
Авача – Елизово	4750	5,81	134	7,49	3,61	286	40
Берингово море							
Пахача – Средние Пахачи	10 900	6,58	169	9,61	4,03	324	38
Охотское море							
Пенжина – Каменское	71 600	9,69	680	35,2	5,26	851	19
Хайрюзова – Хайрюзово	6680	6,32	115	2,08	3,36	158	67
Бол. Воровская – Соболево	3630	5,46	85,5	2,79	3,58	166	68
Озерная – Шумный	868	3,32	50,7	0,32	7,52	250	95

Примечание. F – площадь водосбора; Q – среднемноголетний расход воды; W_R – сток взвешенных наносов, тыс. т/год.

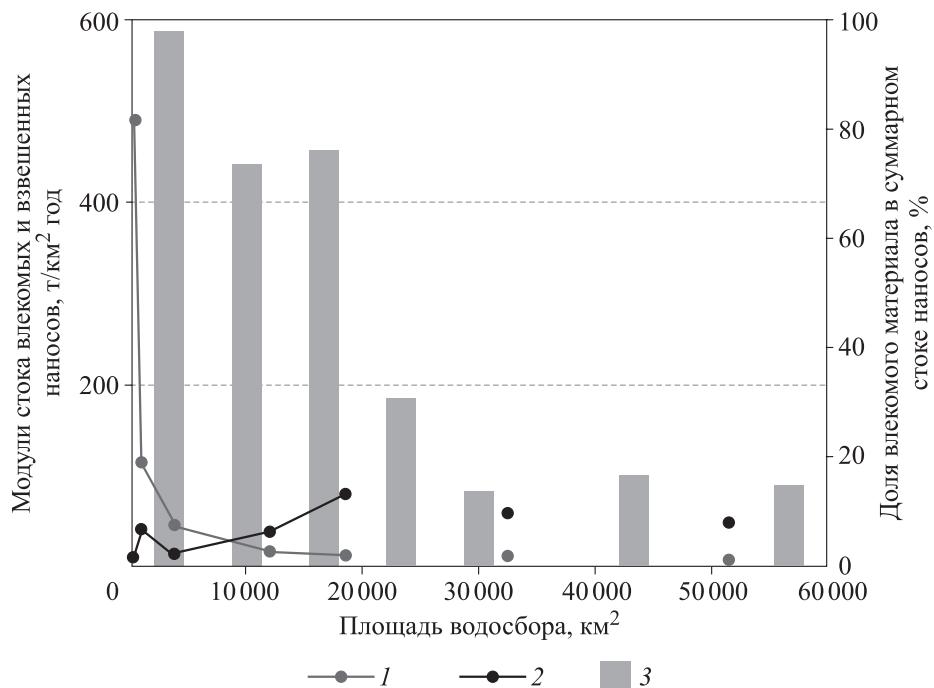


Рис. 3. Изменение по длине р. Камчатки модулей стока влекомых (1) и взвешенных (2) наносов, а также доли влекомого материала (3) в суммарном стоке наносов.

океан — 21 %. Стоит отметить, что распределение стока взвешенных наносов выглядит иначе: 74 % от этой величины транспортируется реками восточного побережья в Берингово море и Тихий океан; 26 % поступает в Охотское море со стоком рек западного побережья региона. Максимальное количество влекомого материала транспортируется со стоком р. Камчатки, однако вклад в суммарный сток не превышает 3 %.

Выполненные исследования составляющих речного стока на территории Камчатского края позволяют определить роль исследуемого региона в суммарном стоке твердого вещества в Мировой океан. Согласно оценкам [21], суммарный вынос наносов в Мировой океан не превышает 15 млрд т в год, из них 13,5 млрд т приходится на взвешенные наносы, 1,5 млрд т — на влекомые. Таким образом, вклад Камчатского края в суммарный сток наносов в Мировой океан составляет всего 0,02 %, в сток взвешенных наносов — 0,08 %, влекомых — 1,2 %. Суммарное поступление взвешенных наносов со стоком рек региона сопоставимо с аналогичными среднемноголетними величинами для рек Северная Двина (Абрамково), Обь (Новосибирск), Индигирка [1, 22, 23], а также р. Нил после значительного антропогенного изменения стока [24]. Величина среднего многолетнего поступления влекомого материала с территории края соответствует подобным значениям для рек Лена (с. Кюсюр) и Хуанхэ (уезд Лицзинь) [1, 13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе методики, разработанной Н.И. Алексеевским, был рассчитан сток влекомых наносов для 60 замыкающих створов на территории Камчатского края. С учетом зависимости модуля стока влекомых наносов от площади водосбора величина была оценена для 398 бассейнов рек, не изученных в гидрологическом отношении. Согласно полученным оценкам, суммарный среднемноголетний сток влекомых наносов рек с территории Камчатского края в Тихий океан, Берингово и Охотское моря составил около 18 млн т/год, что превышает сток взвешенных наносов примерно в 1,5 раза.

Анализ изменчивости характеристик стока влекомых наносов по длине р. Камчатки показывает, что с ростом площади водосбора наблюдается снижение доли влекомого материала в суммарном стоке наносов. Это соответствует переходу типов русла от горного к полугорному и равнинному, которые характеризуются максимальным (около 100 %), средним (30–70 %) и минимальным (около 20 %) содержанием влекомых наносов в суммарном стоке твердого вещества соответственно.

Согласно пространственной изменчивости модуля стока влекомых наносов в бассейне р. Камчатки, его величина существенно выше для восточных притоков, дренирующих склоны и подножия вулканов Ключевской группы и вулкана Шивелуч, по сравнению с западными.

Работа выполнена в рамках государственного задания научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (121051200166-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. — М.: Изд-во ЛКИ, 2007. — 608 с.
2. Pourhosein M., Afzalimehr H., Singh V.P., Dehghani A. A. Evaluation of bed load in a gravel-bed river // Intern. Journ. of Hydraulic Engineering — 2015. — Vol. 4 (3). — P. 70–79. — DOI: 10.5923/j.ijhe.20150403.03
3. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. — Л.: Гидрометеоиздат, 1975. — 288 с.
4. Копалиани З.Д. О соотношении расходов донных и взвешенных наносов в реках // Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах: Докл. конференции (19–23 нояб. 1984 г.). — М.: Наука, 1985. — С. 143–147.
5. Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Беркович К.М. Транспорт наносов в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС // Труды Зап.-Сиб. науч.-исслед. гидрометеор. ин-та. — 1992. — Вып. 98. — С. 79–82.
6. Алексеевский Н.И., Зайцев А.А., Чалов Р.С. Баланс наносов, русловые деформации и возможности регулирования разветвленного русла крупнейшей реки (на примере р. Лены у г. Якутска) // Труды Акад. водохоз. наук. — 1996. — Вып. 3. — С. 90–108.
7. Русловые процессы на реках Алтайского региона / Под ред. Р.С. Чалова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. — 243 с.
8. Ancey C. Bedload transport: a walk between randomness and determinism. Part 1: The state of the art // Journ. of Hydraulic Research. — 2020. — Vol. 58, N 1. — P. 1–17.
9. Kalinske A.A. Movement of sediment as bed load in rivers // Transactions. American Geosciences Union. — 1947. — N 28. — P. 615–620.
10. Самохвалова О.А., Чеботарев А.С. Расчеты расхода донных наносов на горных реках при бесструктурной форме их перемещения // Водные пути и русловые процессы. — 2015. — Вып. 2 — С. 120–128.
11. Schneider J.M., Rickenmann D., Turowski J.M., Schmid B., Kirchner J.W. Bed load transport in a very steep mountain stream (Riedbach, Switzerland): Measurement and prediction // Water Resources Research. — 2016. — Vol. 52 — P. 9522–9541. — DOI:10.1002/2016WR019308
12. Куксина Л.В., Алексеевский Н.И. Сток взвешенных наносов рек Камчатского края в Тихий океан, Берингово и Охотское моря // Водные ресурсы. — 2018. — Т. 45, № 5. — С. 471–482. — DOI: 10.1134/S0321059618040144
13. Тананаев Н.И., Анисимова Л.А. Оценка годового стока влекомых наносов рек севера Сибири и Дальнего Востока // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 1. — С. 148–156.
14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 20: Камчатка / Под ред. Н.Д. Шека. — Л.: Гидрометеоиздат, 1966. — 258 с.
15. Алексеевский Н.И., Мельник О.В. Структура и особенности развития рельефа гравийно-галечных и валунных русел // Геоморфология. — 1991. — № 3. — С. 59–65.
16. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. — 203 с.
17. Куксина Л.В., Алексеевский Н.И. Сток взвешенных наносов рек Камчатского края. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2015. — 216 с.
18. Шкаберда О.А. Современные тенденции изменения климата Камчатки: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Казань, 2015. — 22 с.
19. Виноградов В.Н. Современное оледенение районов активного вулканизма. — М.: Наука, 1975. — 103 с.
20. Черных Е.А. Гидрография и гидроморфометрический метод исследования рек: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Пермь, 1971. — 18 с.
21. Milliman J.D., Meade R.H. World-wide delivery of river sediment to the oceans // Journ. of Geology. — 1983. — Vol. 91. — P. 1–21.
22. Русловой режим рек Северной Евразии. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. — 336 с.
23. Тананаев Н.И. Оценка годового стока взвешенных наносов рек севера Сибири и Дальнего Востока // Океанология. — 2014. — Т. 54, № 5. — С. 697–703.
24. Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология: учебник для вузов. — М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. — 752 с.

Поступила в редакцию 25.10.2023

После доработки 06.12.2023

Принята к публикации 07.05.2024